

Abschlussbericht

Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung (**KlimaBeHageN**)

Ein Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
(AZ 35728/01)

Projektlaufzeit: 01.06.2020 – 28.02.2023 (33 Monate)



Kirsten Adamczak, Michael Getta (Lippeverband) im Namen der Projektpartnerschaft
Essen, im Mai 2023

Herausgeber

Lippeverband
Kronprinzenstraße 24
45128 Essen
Tel.: 0201 104 0
E-Mail: info@eglv.de
www.eglv.de

Projektpartner und Bearbeitung

Lippeverband (LV)

Michael Getta, Kirsten Adamczak
Kronprinzenstraße 24
45128 Essen
Tel.: 0201 104 2491
E-Mail: getta.michael@eglv.de
adamczak.kirsten@eglv.de

Lippe Wassertechnik GmbH (LW)

Dr. Johannes Meßer, Dr. Florian Werner
Brunnenstr. 37
45128 Essen
Tel.: 0201 3610 400,
E-Mail: messer@ewlw.de
werner@ewlw.de

Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach (WBV)

Nina Schneider
Börster Weg 20
45657 Recklinghausen
02361 103524
E-Mail: n.schneider@aud.nrw

Hochschule Ruhr West (HRW) Mülheim

FB Wirtschaft, Wasser- und
Energieökonomik
Prof. Dr. Mark Oelmann, Sven Hery
Duisburger Straße 100
45479 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 88254 358
E-Mail: mark.oelmann@hs-ruhrwest.de
sven.hery@hs-ruhrwest.de

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Landwirtschaftskammer (LWK)

Melanie Wilmer-Jahn
Bezirksstelle für Agrarstruktur Münsterland
Borkener Straße 25
48653 Coesfeld
Tel.: 02541 910 263
E-Mail: melanie.wilmer-jahn@lwk.nrw.de

Landwirtschaftlicher Kreisverband Recklinghausen e.V. (WLV)

Wolfgang König
Börster Weg 20
45657 Recklinghausen
02361 10350
E-Mail: wolfgang.koenig@wlv.de

Rheinisch-Westfälische Wasserwerks- gesellschaft mbH (RWW)

Dr. Axel Bergmann, Theresa Pöhling
Am Schloß Broich 1-3
45479 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 4433 401
E-Mail: axel.bergmann@rww.de
theresa.poehling@rww.de

Universität Kassel (UK)

Fachgebiet Agrartechnik
Michael Hesse
Nordbahnhofstraße 1a
37213 Witzenhausen
Tel. 05542 98 1605
michael.hesse@uni-kassel.de

Titelfoto

Emschergenossenschaft, Jochen Durchleuchter

Layout, Redaktion und Lektorat

Kirsten Adamczak

Herstellung

Lippeverband

Redaktionelle Hinweise:

Die Partnerschaft *KlimaBeHageN* hat sich einvernehmlich dafür entschieden, den vorliegenden Bericht der Lesbarkeit wegen nicht in gegenderter Form abzufassen (Aufzählungen, das Gendersternchen, das Binnen-I oder der Unterstrich in Substantiven). Das verallgemeinernde generische Maskulinum halten die Verfasser in einem Projektabschlussbericht zu diesem Thema für angemessen.

Bereits der Projektantrag an die DBU war in nicht gegenderter Form verfasst und auch Zwischenberichte und Publikationen wurden sprachlich in diesem Sinne gehalten.

Die Projektpartnerorganisationen sind im Text jeweils mit ihrer Abkürzung verwendet (siehe Bearbeitung).

***KlimaBeHageN* – unsere Ziele:**

- a) Ermittlung des Wasserbedarfs der Landwirtschaft
- b) Kooperation und Beratung für eine ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung und sozialökologische Aspekte von Maßnahmen
- c) Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung von Wasser aus Überschussbereichen, um das Grundwasserdargebot zu stützen
- d) Rückhaltemaßnahmen im Deutener Moor: Wasser in der Fläche halten
- e) Modelle zur Organisationsstruktur und Finanzierung der Bewässerung

Zusammenfassung

Das Projektgebiet liegt in NRW im südwestlichen Münsterland und Übergang zum nördlichen Ruhrgebiet. Im Rahmen eines 2019 abgeschlossenen DBU-Vorläuferprojektes wurde ein integriertes Maßnahmenkonzept unter Beteiligung der wasserwirtschaftlich relevanten Akteure im Raum Dorsten zu den Bereichen Trinkwassergewinnung, Landwirtschaft und Naturschutz erstellt, das nun konkretisiert und teilweise umgesetzt werden sollte. Die vielfältigen Nutzungsansprüche an das Grundwasser überschneiden sich und in Jahren mit Niederschlagsmangel fallen oberirdische Gewässer heute schon zeitweise trocken. Im Zusammenhang mit dem erwarteten fortschreitenden Klimawandel kann sich diese Situation noch verschärfen.

Der Raum ist für die Trinkwassergewinnung von hoher Bedeutung. Rund 350.000 Menschen im Bereich des nördlichen Ruhrgebietes/südlichen Münsterlandes werden vom RWW-Wasserwerk Holsterhausen aus mit Trinkwasser versorgt. Die „Münsterländer Parklandschaft“ ist überdies eine von Mooren und Feuchtgebieten einerseits und intensiver landwirtschaftlicher Nutzung andererseits geprägte Kulturlandschaft. In Trockenjahren ist bereits heute nicht genug Wasser verfügbar, um die vorhandenen landwirtschaftlichen Nutzungen aufrecht zu erhalten. Auch andere Nutzungen im Landschaftsraum sind z.T. von Trockenheit betroffen.

Der mittlerweile nicht mehr aktive Steinkohle-Bergbau hat in den zurückliegenden Jahrzehnten zu Oberflächenveränderungen geführt, die auch im Wasserregime als „Ewigkeitslasten“ zu bewirtschaften sind.

Die Aufrechterhaltung des mengenmäßig guten Zustands des Grundwasserkörpers im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist von erheblicher umweltpolitischer Relevanz. In der Summe dieser Nutzungs- und Bewirtschaftungsansprüche wird deutlich, dass die Anspruchs- und Akteursgruppen nur gemeinsam zu Lösungen kommen. Die vorliegenden Probleme und Nutzungskonkurrenzen bestehen durchaus auch in anderen Regionen, so dass auch Lösungsansätze im Idealfall übertragbar wären.

Innerhalb des Projektes arbeiteten unterschiedliche Akteure zusammen an diesen Lösungen: Neben dem Projektleiter Lippeverband (als regionaler Wasserwirtschaftsverband für die Gewässerunterhaltung, Regulierung der Bergbaufolgen, Grundwasserbewirtschaftung und Abwasserbeseitigung zuständig) sind als unterstützende Partner die RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (als regionaler Wasserversorger), der Landwirtschaftliche Kreisverband Recklinghausen und der Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach sowie die Landwirtschaftskammer NRW beteiligt. Als wissenschaftlich-technische Partner haben die Lippe Wassertechnik GmbH (Ingenieurdienstleistungen), die Universität Kassel mit dem Fachgebiet Agrartechnik und die Fachhochschule Ruhr-West mit dem Fachbereich Wirtschaft, Wasser- und Energieökonomik) am Projekt mitgewirkt. Weitere beteiligte Akteure wie Behörden, Landes- und Kommunalpolitik, Naturschutz und Bürger wurden zum Thema unterstützt, sensibilisiert und „mitgenommen“.

Erarbeitet wurden nun

- eine Studie zur Umsetzbarkeit der zuvor erarbeiteten Maßnahmenvorschläge zur Erhöhung des Grundwasserdargebotes mit einer Kostenannahme,
- die konkrete Umsetzung von Maßnahmen zum Wasserrückhalt im Deutener Moor mit Wirkung bis in die benachbarten Feuchtgebiete,
- die Ermittlung eines konkreten landwirtschaftlichen Wasserbedarfs zur Bewässerung in Trockenzeiten sowie sozialökologische Aspekte möglicher Maßnahmen,
- Maßnahmen zur Minimierung des Bewässerungsbedarfs,
- Modelle zur Organisation und Finanzierung der Bewässerung sowie
- die Weiterentwicklung der bereits in der 1. Projektphase erstellten Entscheidungshilfen für die Behörden.

Das Fazit der dreijährigen Zusammenarbeit und ein Ausblick auf das weitere Vorgehen, bzw. die Handlungsnotwendigkeiten wurden formuliert (siehe Kap. 5). Die wesentliche Erkenntnis ist, dass die erarbeiteten und umsetzbaren Lösungen nur durch ein gemeinschaftliches und solidarisches Handeln aller Akteure zu realisieren sind.

Praktisch hat sich aus der Projektbearbeitung *KlimaBeHageN* ergeben, dass eine Stabilisierung des Grundwasserkörpers im Interesse aller Nutzungsanforderungen nur mithilfe infrastruktureller Maßnahmen gedeckt werden kann, die jedoch nicht allein von einer Seite finanziert werden können. Der erarbeitete Lösungsvorschlag zur Anreicherung des Grundwassers ist ingenieurtechnisch machbar und aus Sicht der Partnerschaft zur Deckung des erwarteten Wasserbedarfs wünschenswert. Da eine Umsetzung jedoch noch einen erheblichen zeitlichen Vorlauf erfordert (Trägerschaftsstruktur, Finanzierung, ggf. weitere Gutachten z.B. zur Wasserqualität, Planung, Genehmigung, Bau, Inbetriebnahme) und die Problemlage zeitnahes Handeln erfordert, wurden eine Reihe von „no regret“-Maßnahmen identifiziert:

Dazu gehören Schulungs- und Beratungsangebote für die Landwirtschaft, die Identifikation von Gräben/Drainagen und die Ermittlung von besonders abflusswirksam bewirtschafteten Flächen, um dort Rückhaltemaßnahmen in der Landschaft umzusetzen. Des Weiteren wird die Erarbeitung einer Studie zur Abkopplung befestigter Flächen von der Mischwasserkanalisation (insbesondere in den nordwestlichen Stadtgebieten von Dorsten) als ein weiterer praktischer Schritt gesehen.

Weitere wichtige Aspekte sind die verbesserte Datengrundlage und Steuerungsinstrumente für die Wasserwirtschaftsbehörden. Hier ist die Politik gefordert, Ressourcen bereitzustellen.

Im Ergebnis können bis zur Realisierung einer Grundwasseranreicherung die genannten „no-regret“-Maßnahmen sowie die Entwicklung und schrittweise Umsetzung eines regionalen Wassermanagements zu einer geringeren Belastung des Grundwasserhaushaltes beitragen – die *KlimaBeHageN*-Partner wollen Lösungen konsequent verfolgen und unterstützen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Glossar	2
1 Einleitung	3
1.1 Projektgebiet und Aufgabenstellung	3
1.2 Partnerschaft, Arbeitsteilung und Motivation	7
2 Projektgenese	9
2.1 Methodik	9
2.2 Vorgehensweise	10
2.3 Projektablauf	12
2.4 Struktur und Entwicklung der Einzelbeiträge im Anhang	13
3 Projektergebnisse	16
3.1 Fachbeitrag zum Wasserbedarf der Landwirtschaft im Hammbachgebiet	16
3.2 Fachbeitrag zur ressourcenschonenden landwirtschaftlichen Bewässerung sowie Berücksichtigung sozialökologischer Aspekte	19
3.3 Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung von Wasser	24
3.4 Fachbeitrag zu Organisationsstrukturen und Finanzierungsmodellen	28
3.5 Beiträge weiteren Projektpartner	34
4 Öffentlichkeitsarbeit	37
5 Fazit und Ausblick	39
6. Input der Abschlusskonferenz 27. Februar 2023	47
7. Anhang [separate Dokumente]	51
7.0 Nachgereichtes Statement der Bezirksregierung Münster vom 17.05.2023	
7.1 Fachbeitrag Landwirtschaft zur Beregnung im Hammbachgebiet	
7.2 Fachbeitrag und Machbarkeitsstudie Wasserwirtschaft im Hammbachgebiet	
7.3 Fachbeitrag Bewässerungsmethoden und Pflanzenauswahl	
7.4 Fachbeitrag zu Organisationsstrukturen und Finanzierungsmodellen	
7.5 Exkursionsbericht „Beispiel Hessisches Ried“	

Quellen sind in den Anhang-Dokumenten gelistet

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektgebiet KlimaBeHageN innerhalb des Feldblockkatasters mit den Standorten landwirtschaftlicher Betriebe und der Darstellung der naturräumlichen Haupteinheiten (Quelle LWK NRW)	5
Abbildung 2: Darstellung des Projektablaufs und Aufbau der Arbeitspakete aufeinander	12
Abbildung 3: Hauptanbaukulturen 2020/2021 im Projektgebiet in Hektar (Quelle LWK NRW-Coesfeld)	20
Abbildung 4: Bewässerungsbedarfsprognose historisch und für 3 Klimaszenarien (Quelle Uni Kassel)	22
Abbildung 5: Verdämmungen im Deutener Moor haben zur dauerhaften Erhöhung des Wasserspiegels geführt. (Foto: Meßer, LW)	28
Abbildung 6: Aufgabenteilung bei Aufgabentrennung von Bewässerungsverband und Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/ Wienbach (Quelle Eigene Darstellung HRW)	30
Abbildung 7: Statische Tarifmodelle bei Kostenträgerschaft durch Landwirte (Quelle: Eigene Darstellung HRW)	33

Glossar

HRW	Hochschule Ruhr West
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LV	Lippeverband
LW	Lippe Wassertechnik
LWK	Landwirtschaftskammer
no regret	Maßnahmen und Strategien, die ökonomisch, ökologisch und sozial in jedem Falle sinnvoll sind (unabhängig vom primären Projektziel/-inhalt)
NRW	Nordrhein-Westfalen
RVR	Regionalverband Ruhrgebiet
RWW	Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
UK	Universität Kassel
UNB	Untere Naturschutzbehörde
UWB	Untere Wasserbehörde
WBV	Wasser- und Bodenverband
WLV	Westfälisch-Lippischer Landwirtschaftsverband e.V. Kreisverband Recklinghausen

1 Einleitung

Im Projekt *KlimaBeHageN* (Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung) haben von Juni 2020 bis Februar 2023 Wissenschaftler, Ökonomen, wasserwirtschaftliche Ver- und Entsorger und landwirtschaftliche Interessensvertretungen gemeinsam versucht, übertragbare Lösungen zur Entschärfung von Wasserkonkurrenz durch den Klimawandel im Hammbach-Einzugsgebiet in Dorsten zu finden.

1.1 Projektgebiet und Problemstellung

Im Raum Dorsten-Haltern befindet sich mit den Halterner Sanden eines der größten nutzbaren Grundwasservorkommen Nordrhein-Westfalens. Das Projektgebiet liegt am nördlichen Rand des Ruhrgebietes am Übergang zum südlichen Münsterland und berührt Teile der Kreise Wesel, Recklinghausen und Borken im Regierungsbezirk Münster.

Es sind zwei naturräumliche Haupteinheiten (siehe Abb. 1) zu finden – die Niederrheinische Sandplatte (NR – 578; Großlandschaft: Niederrheinisches Tiefland) und das Westmünsterland (NR 544; Großlandschaft: Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland).

Das Projektgebiet weist Höhenlagen zwischen 27 m (Lippeaue), 33 m (Dorsten) und 122 m (Galgenberg, Hohe Mark) über NN auf. Das Gebiet ist eiszeitlich geprägt und wird untergliedert durch Bachläufe mit fluviatilen Ablagerungen. Teilweise tritt in diesen Talauen Niedermoorbildung auf.

Das Hammbachsystem gliedert sich in drei Teilsysteme mit insgesamt über 128 km Gewässerstrecke und einem Einzugsgebiet von ca. 148 km². Die wesentlichen Gewässer sind:

1. der namensgebende Hammbach (im Oberlauf auch Rhader Mühlenbach genannt, mit den Zuläufen Schafsbach, Kalter Bach, Rhader Bach) mit rund 21,5 km Gewässerlänge (hier liegt auch das rund 208,6 Hektar große Naturschutzgebiet Rhader Wiesen);
 2. der in den Hammbach einmündende Wienbach (im Oberlauf auch Lembecker Wiesenbach genannt) mit rund 13,5 km Länge und
 3. der Midlicher Mühlenbach mit rund 15 km Länge
- sowie eine Vielzahl von kleinen Zuläufen und Gräben.

Das Hammbachsystem entspringt in mehreren Quellen etwa 60 Meter über NN auf der Linie Raesfeld-Rhade-Lembeck-Klein Reken und mündet auf etwa 30 Metern über NN als Hammbach in die Lippe bei Dorsten-Holsterhausen. Im Einzugsgebiet finden sich eine Vielzahl von kleineren Mooren und Feuchtgebieten; es ist insbesondere im südlich gelegenen Abschnitt von der Siedlungsentwicklung Dorstens geprägt.

Die überwiegende Windrichtung ist mit West bis Südwest ausgewiesen. Die mittlere Jahreslufttemperatur beträgt 11,6 °C, wobei in der Hauptvegetationszeit eine mittlere Jahreslufttemperatur von 14 bis 18 °C vorliegt.

In diesen Mittelwerten sind die Extremsommer der Jahre **2018** bis **2022** nicht enthalten.

Die Jahresniederschlagsmenge betrug für die Jahre **2015** bis **2017** ca. 770 bis 835 mm, im 3-Jahres Mittel/Summe 803 mm Niederschlag bei den N-Stationen Lembeck und Harsewinkel. Davon fielen 200 bis 220 mm während der Hauptvegetationszeit. Demgegenüber fielen in den Folgejahren **2018** bis **2021** mit **488** bis **778 mm** (Messstation Harsewinkel) deutlich geringere Niederschläge.

Das Projektgebiet liegt im Grenzraum zu ehemaligen Bergbauaktivitäten. Ab 1906 begann mit der Zeche Baldur in Dorsten-Holsterhausen die Kohleförderung nördlich der Lippe, die 1931 an die bis 2001 kohlefördernde Anlage Bergwerk Fürst Leopold angeschlossen wurde (ab 1998 im Verbund-Bergwerk Lippe). Durch den untertägigen Steinkohleabbau bedingt kam es insbesondere im südlichen Hammbach-Einzugsgebiet zu Bergsenkungen mit entsprechenden Vorflutstörungen der Fließgewässer. Der Bergbau ist seit 2010 nicht mehr in Dorsten aktiv, so dass keine weiteren wasserwirtschaftlich relevanten Veränderungen zu erwarten sind.

Die wasserwirtschaftlichen Aufgaben im Einzugsgebiet sind auf vier Akteure verteilt:

Für die Oberläufe der Lippezuflüsse und deren kleinere zufließende Gewässer im landwirtschaftlich geprägten Raum ist der Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach zuständig.

Als ein weiterer wasserwirtschaftlicher Akteur ist die RWW Rheinisch-Westfälische Wasserversorgungsgesellschaft mbH tätig, die neben der regionalen Trinkwasserversorgung (aus Brunnengalerien in den Halterner Sanden) auch das Betriebswasserwerk Blauer See nahe der Dorstener Innenstadt betreiben. Der Blaue See ist mit dem Hammbach wasserwirtschaftlich über ein Pumpwerk verbunden.

Innerhalb des Siedlungsraumes verantwortet als dritter Akteur die Stadt Dorsten die Sammlung und Ableitung von Schmutz- und Oberflächenwasser.

Als vierter Akteur übernimmt der Wasserwirtschaftsverband Lippeverband das Schmutzwasser aus dem Siedlungsraum und leitet es seiner Kläranlage Dorsten zu, die seit 2001 die zusammengeführten Abwässer mehrerer kleiner Anlagen reinigt. Der Lippeverband hat auch die Zuständigkeit für die Unterhaltung derjenigen Fließgewässer im Einzugsgebiet, die bergbaubedingt ertüchtigt werden mussten (zumeist die Unterläufe von Gewässern, die im Oberlauf vom Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach verantwortet werden).

Dazu gehört insbesondere der Hammbach, dessen Unterlauf zweimal verlegt werden musste, erstmals 1953/54, weil das Bachgefälle gestört war und dann 1969 in Verbindung mit dem Bau des Lippedeichs.

Die Region erhält ihr Trinkwasser aus den Brunnengalerien Holsterhausen und Üfter Mark des Wasserversorgers RWW, der Grundwasser aus den Halterner Sanden fördert. Neben der Stadt Dorsten, kleinen Mooren, Feuchtgebieten und Waldbereichen finden sich im Projektgebiet zahlreiche landwirtschaftliche Betriebe mit unterschiedlichen Nutzungsstrukturen (z.B. Mais, Getreide, Gemüse, Obst, Viehwirtschaft) in der Produktion wie auch in der Weiterverarbeitung (Standorte der Lebensmittelindustrie). In dem Gebiet liegen 7.550 Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche mit rund 380 landwirtschaftlichen Betrieben (siehe Abb.1). Durch konkurrierende Nutzungen ist der Grundwasserleiter im Gebiet stark beansprucht.

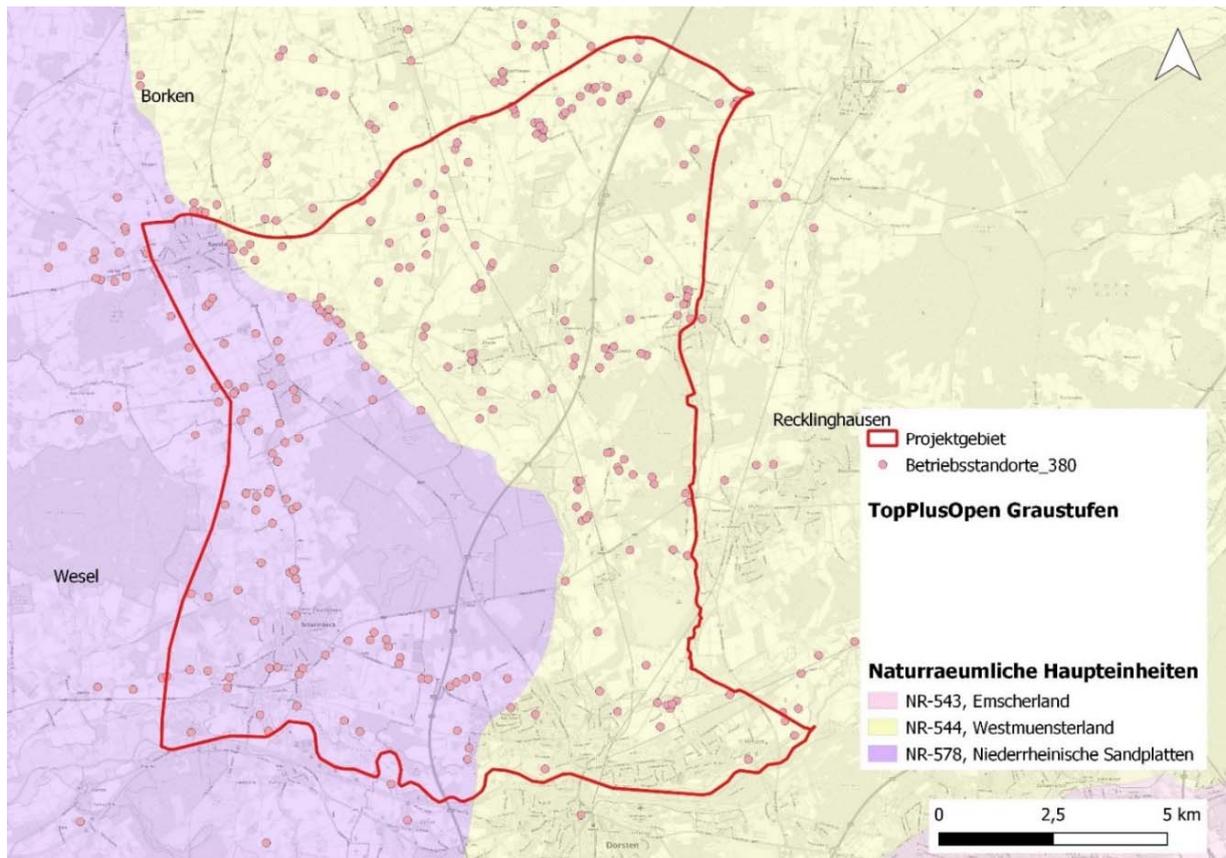


Abb. 1 Projektgebiet KlimaBeHagenN innerhalb des Feldblockkatasters mit den Standorten landwirtschaftlicher Betriebe und der Darstellung der naturräumlichen Haupteinheiten (LWK NRW 2021)

Der LV und die RWW hatten sich bereits 2009 bis 2014 über das BMBF-geförderte Projekt „dynamiklim“ mit Klimaprognosen und Folgen für die Wasserwirtschaft intensiv befasst. Ergebnis hier war u.a., dass sich die Grundwasserneubildungsperiode von heute Oktober-April auf November-März verschieben kann.

Das heißt, der Zeitraum, in dem der Grundwasserspeicher entleert wird, verlängert sich und negative Auswirkungen auf Bäche und Feuchtgebiete sowie die verschiedenen Nutzungen können verstärkt entstehen.

Mit einem Grundwasserströmungsmodell wurden am Beispiel der Üfter Mark stationäre Simulationen der Grundwassersituation für die nahe (2021-2050) und ferne (2071-2100) Zukunft

durchgeführt und mit dem Ist-Zustand (1961-1990) verglichen. Als instationäre Randbedingung für die Simulationen wurde die Grundwasserneubildung insbesondere in Abhängigkeit von den sich ändernden Niederschlägen und potenziellen Verdunstungen berechnet.

Ebenso wurde der sich verändernde Bewässerungsbedarf mit Hilfe von klimatischen Bodenwasserbilanzen ermittelt und in der Grundwassermodellierung berücksichtigt. Da der Bewässerungsbedarf auf den Ackerflächen gegenüber dem Ist-Zustand deutlich steigt (trockene Sommer), kann ein Defizit beim Grundwasserdargebot von ca. 20 % entstehen.

In der Folge würden die Grundwasserstände signifikant absinken. Dies würde zur Vergrößerung der Einzugsgebiete der Brunnengalerien und zu einem geringeren grundwasserbürtigen Abfluss in den Fließgewässern führen.

Die Simulationsergebnisse verdeutlichten, dass durch die konkurrierenden Nutzungen von Grund- und Oberflächengewässern, insbesondere im Zeichen des Klimawandels, erhebliche Probleme entstehen bzw. bereits bestehende weiter verschärft werden können. Dies zeigte sich u.a. durch absinkende Wasserspiegel in den Moor- und Feuchtgebieten.

Höhere Wasserentnahmen können nicht durch eine Vergrößerung des Einzugsgebietes ausgeglichen werden, sondern gehen zulasten der Fließgewässer (Folge: ökologische Beeinträchtigungen) oder verursachen örtlich und temporär stark sinkende Grundwasserstände (Folge: landwirtschaftliche Ertragsverluste in den nicht bewässerten Regionen, trockenfallende Moore und Feuchtgebiete, Schäden in Waldgebieten) sowie eine defizitäre Grundwasserbilanz.

Die weitere Bewilligung von Grundwasserentnahmen – so die damalige Empfehlung – sollte daher nur nach kritischer Analyse der hydraulischen Potenziale und sorgfältiger Abwägung der bestehenden Interessen erfolgen, um bereits bestehende Nutzungskonflikte nicht weiter zu verschärfen. Die Jahre 2018 bis 2020 sowie 2022 gingen vor Ort schon mit Ertragseinbußen einher.

Bereits vorlaufend wurde durch die DBU das beschriebene Maßnahmenkonzept gefördert, um Nutzungskonkurrenzen, auch verschärft durch den Klimawandel, zukünftig minimieren zu können.

Im Rahmen dieses 2019 abgeschlossenen DBU-Vorhabens „Maßnahmenkonzept für konkurrierende Grundwassernutzungen im Einzugsgebiet des Hammbachs in Dorsten“ wurde unter Beteiligung der wasserwirtschaftlich relevanten Akteure im Einzugsgebiet des Hammbachs das grundlegende Konzept erstellt und abgestimmt.

Die Aufgabenstellung im Folgeprojekt *KlimaBeHageN* lautete deshalb, dieses Konzept weiter zu konkretisieren.

1.2 Partnerschaft, Arbeitsteilung und Motivation

Die erkannten Handlungsnotwendigkeiten haben zu einem gemeinsamen Förderantrag der acht Projektpartner (siehe Vorblatt Projektpartner und Bearbeitung) an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) geführt. Ziel war eine interdisziplinäre, ganzheitliche Betrachtung der Problemlage zur Erarbeitung tragfähiger, realisierbarer und ökonomisch tragfähiger Lösungsansätze. Diese umfassen die nachfolgenden Bausteine und sind im vorliegenden Bericht dokumentiert:

- die Ermittlung eines konkreten landwirtschaftlichen Wasserbedarfs zur ressourcenschonenden Bewässerung in Trockenzeiten und Maßnahmen zur messbaren Minimierung des Bewässerungsbedarfs unter Einbindung landwirtschaftlicher Betriebe und den Partner Universität Kassel (UK) durch den Partner Landwirtschaftskammer (LW);
- basierend auf der Bedarfsermittlung die Erstellung einer Studie zur (technischen) Umsetzbarkeit der im Vorläuferprojekt erarbeiteten Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Wasserdargebotes im Raum mit einer Kostenannahme durch den Partner Lippe Wassertechnik (LW);
- die konkrete Umsetzung von Wasserrückhaltmaßnahmen im Deutener Moor mit Wirkung bis in die benachbarten Feuchtgebiete mit sicht- und messbaren Veränderungen der Oberflächengewässer durch den Partner LW;
- die Erarbeitung von Modellen zur Organisation und Finanzierung der Bewässerung, rechtliche Fragen und Zuständigkeiten vor dem Hintergrund der speziellen Situation NRW (Erarbeitung eines statischen Finanzierungsmodells und die Eruierung von Möglichkeiten eines dynamischen Preismodells) durch den Partner Hochschule Ruhr West (HRW);
- die Kommunikation des Prozesses gegenüber Politik, Behörden, Landwirtschaft, Stakeholdern, Naturschutz und Bürgerschaft durch alle acht Partnerinstitutionen und
- die kooperative Weiterentwicklung von Entscheidungshilfen für die Behörden unter aktiver Einbindung der bereits involvierten Wasserbehörden (bezüglich Datenbasis, Instrumenten, Struktur der Wassernutzer, Politik- und Rechtsrahmen).

Das Projektmanagement oblag dem Lippeverband (LV).

Ziel aller Beteiligten ist die Stützung des regionalen Grundwasserdargebotes und die Dämpfung von Verbrauchsspitzen in kritischen Phasen (d. h. in Trockenmonaten) sowie die Reduzierung bzw. künftige Vermeidung trockenheitsbedingter Schäden im Naturhaushalt.

Die Zusammenarbeit in *KlimaBeHageN* startete nach zwei extremen Trockenjahren (2018, 2019) und verlief während zweier weiterer Trockenjahre (2020, 2022), die die Notwendigkeit von Lösungen vor Augen führten. Die Vernetzung der Partner innerhalb NRWs und darüber hinaus zeigte, dass großes Interesse an Lösungsansätzen, aber auch an der Analyse von Projekt-

hindernissen besteht. Bundesweit gibt es vergleichbare Probleme wie im Projektgebiet. Strategien und das Handeln der Wasserwirtschaftsverwaltungen oder deren (rechtliche wie fiskalische) Steuerungsinstrumente sind jedoch in den Bundesländern insgesamt sehr uneinheitlich geregelt.

2 Projektgenese

Der Projektantrag *KlimaBeHageN* war – mit Revision – Stand 29.05.2020 eingereicht und am 23.09.2020 förmlich bewilligt worden (mit förderunschädlichem Beginn zum 01.06.2020).

Zum Verlauf des Projektes muss vorausgeschickt werden, dass der Großteil der Bearbeitungszeit in die ersten Jahre der Corona-Pandemie fiel und somit Präsenztermine, Events und Austausche den jeweiligen gesetzlichen bzw. arbeitgeberbedingten Beschränkungen unterlagen sowie auch durch Erkrankungen beeinträchtigt wurden.

Eine weitere Hürde stellte die nordrhein-westfälische Landtagswahl im Mai 2022 dar, die durch den folgenden Regierungswechsel und die Umorganisation von Ministerien mit Wirkung für nachgeordnete Ebenen zu einer verzögerten Kommunikation und Entscheidungsfindung beitrug.

Entsprechend musste zweimal die Verlängerung der Projektlaufzeit beim Fördermittelgeber beantragt werden und wurde in beiden Fällen von der DBU bewilligt. Der ursprünglich Endtermin 30.07.2022 verschob sich damit auf den 28.02.2023.

Im Folgenden werden die im Projektverlauf durchgeführten Arbeitsschritte zunächst strukturell erläutert, bevor in Kapitel 3 die Ergebnisse zusammengefasst werden.

2.1 Methodik

Die Arbeitspakete der Partner wurden im Wesentlichen bei der Förderantragstellung skizziert. Vier der beteiligten Partner (LV, LW, UK, HRW) erhielten von der DBU Fördermittel und mussten dementsprechend Nachweise über ihre Leistungen führen. Durch Zuschüsse weiterer Partner (RWW, WLW, WBV) wurde der verbleibende Eigenanteil finanziert. Jenseits der zuwendungsfähigen Arbeiten wurden von den Partnern auch viele weitere Leistungen erbracht, die sich im Fördergerüst naturgemäß nicht widerspiegeln.

Die inhaltliche Abstimmung in der Gesamtpartnerschaft erfolgte im monatlichen „jour fixe“, der überwiegend digital stattfand. Daneben war ein nach Arbeitsfortschritt einberufener „projektbegleitender Arbeitskreis“ gebildet worden, in dem über den Projektstand informiert und insbesondere genehmigungsrechtliche Sachverhalte diskutiert und abgestimmt wurden.

An diesem Arbeitskreis waren rund 30 Externe aus Behörden, Naturschutz, Landwirtschaft, Bergbau, Kommunalverwaltung und als Waldbesitzer der Regionalverband Ruhrgebiet beteiligt; über die Projektlaufzeit wurden dreimal Zwischenergebnisse vorgestellt und diskutiert. Darüber hinaus fanden viele Einzeltermine vor Ort statt.

Im Verlaufe des Projektes waren Vorhaben Dritter über Planverfahren bekannt geworden, die eine potenzielle Bündelung von Infrastrukturbaumaßnahmen möglich scheinen ließen. Da die Vorhabenträger die Verfahren jedoch einstellten, wurden diese Optionen nicht weiter verfolgt.

Da die Partner mit umfangreichen, thematisch in sich geschlossenen Arbeitspaketen zum Gelingen des Gesamtvorhabens beitragen, hat der Fördergeber zugestimmt, die Berichte zu den einzelnen Arbeitspaketen jeweils als eigenständige Dokumentation innerhalb dieses Berichtes wiederzugeben (siehe Anhang).

2.2 Vorgehensweise

Zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes wurde im Rahmen einer ersten konkreten Umsetzung bereits im Herbst 2020 mit den baulichen Rückhaltemaßnahmen im Deutener Moor begonnen, die in den Folgemonaten evaluiert und als erfolgreich bewertet wurden.

Parallel im Herbst 2020 erfolgte die Strukturierung und Vorbereitung einer Befragung der im Projektgebiet gelegenen 380 landwirtschaftlichen Betriebe; der Fragebogen wurde Anfang 2021 verschickt, im Verlauf des Jahres 2021 ausgewertet und mündete in einen Fachbeitrag, der diesem Bericht auch als Anhang 7.1 beigefügt ist. In Summe konnten rund $\frac{2}{3}$ der landwirtschaftlichen Flächen erfasst und die Bewässerungsmengen somit abgeschätzt bzw. hochgerechnet werden als Grundlage der wasserwirtschaftlichen Analysen und Planungen.

Unter Zuhilfenahme dieser Erkenntnisse wurde die wasserwirtschaftliche Studie entwickelt, die mit Wassermengen, Technik, Standorten, Kosten etc. und in Abstimmung mit den Behörden zu einem realistischen Planungskonzept verdichtet wurde.

Mit den so ermittelten Kosten und organisatorischen Leitplanken konnten im weiteren Projektverlauf Modelle zur „verursachergerechten Wasserpreisbildung“ bearbeitet werden, um sowohl Bau als auch Betrieb und Instandhaltung zu kostendeckenden Preisen und unter Berücksichtigung einer potenziellen Landesförderung abzubilden.

Die ermittelten Sachverhalte wurden auch mit Projektverantwortlichen anderer Bundesländer reflektiert, um politische Rahmenbedingungen, Genehmigungs- und Finanzierungsfragen oder Akzeptanz auf Seiten der Landwirtschaft, Öffentlichkeit oder des Naturschutzes zu berücksichtigen.

Neben der wasserwirtschaftlichen Konzeption wurden für Pilotmaßnahmen mit ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben Bewässerungsmethoden und die Pflanzenauswahl thematisiert, um Vorschläge für eine dauerhaft ressourcenschonende und betriebswirtschaftlich funktionsfähige Landwirtschaft zu entwickeln.

Die projektbegleitenden Behördengespräche haben jenseits erforderlicher Entscheidungshilfen zum Thema Erlaubnisse/Entnahmerechte offenbart, dass essenzielle Defizite in der Erfassung

und Bewertung von Grundlagendaten bestehen und hier – jenseits von *KlimaBeHageN* – landesweit und dringend Handlungsbedarf besteht.

Mit Neukonstituierung der Landespolitik wurden im 2. Halbjahr 2022 Gespräche aufgenommen und werden in 2023 fortgeführt, die in Entscheidungen über eine Unterstützung bis hin zu Finanzierungshilfen für die Projektumsetzung vor Ort münden sollen.

2.3 Projektablauf

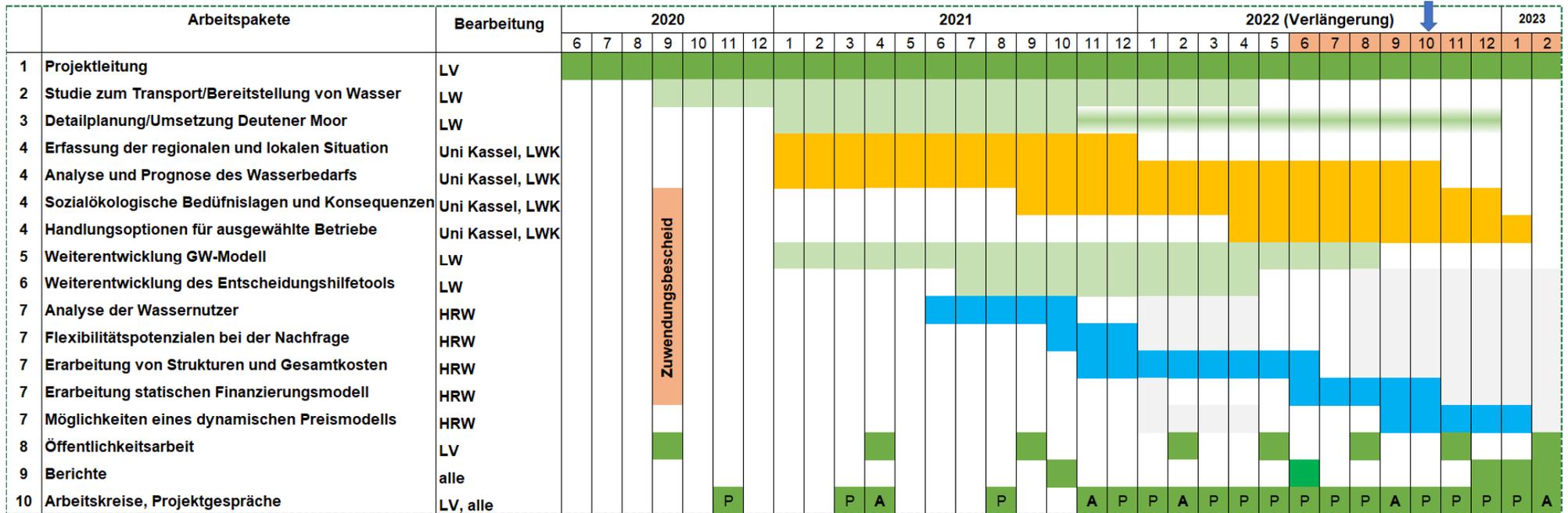


Abbildung 2: Darstellung des Projektablaufs und Aufbau der Arbeitspakete aufeinander

2.4 Struktur und Entwicklung der Einzelbeiträge im Anhang

Die Beiträge sind sowohl von ihrem Finanzvolumen als auch der Bearbeitungsdauer bzw. Zeitpunkten sehr verschieden, stellen aber in ihrer Gesamtheit die Säulen des Projektes dar. Sie wurden aus unterschiedlichen Blickwinkeln erarbeitet und bauen aufeinander auf. In Kapitel 3 sind Zusammenfassungen der im Anhang (7.1 bis 7.4) vollständig enthaltenen Beiträge dargestellt.

Fachbeitrag zum Wasserbedarf der Landwirtschaft im Hammbachgebiet (Anlage 7.1)

Grundlegende Fragestellungen zu Projektbeginn betrafen aus Sicht der Landwirtschaftskammer LWK und des Landwirtschaftlichen Kreisverbandes / Westfälisch-Lippischen Landwirtschaftsverbandes e.V. WLV die Aufrechterhaltung und Stärkung der landwirtschaftlichen Betriebe und Produktionsgrundlagen im Projektgebiet.

Für den Fachbeitrag der LWK wurde in Zusammenarbeit mit der Uni Kassel ab Herbst 2020 ein Fragebogen für die Betriebe erarbeitet. Nach Versand und Rückfragemöglichkeiten wurde die Auswertung der Fragebögen bis November 2021 zum abgestimmten Fachbeitrag verdichtet.

Trotz coronabedingter Kommunikationsbeschränkungen erfuhr die LWK zum Projekt viel positive Resonanz durch die landwirtschaftlichen Betriebe, die sich der Existenzbedrohung durch die Verknappung und Nutzungskonkurrenzen sehr bewusst sind.

Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung von Wasser (Anlage 7.2)

Die Fragestellungen der Lippe Wassertechnik LW zu Projektbeginn galten vor allem den wasserwirtschaftlichen Lösungsansätzen, um dauerhaft die Nutzung des Grundwasserdargebots für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserwirtschaft in Einklang zu bringen. Dazu war schon im Vorgängerprojekt deutlich geworden, dass eine signifikante Verbesserung des Dargebotes nur durch den Import von Wasser aus dem Unterlauf des Hammbachs zu erreichen ist. Dazu stellen sich die Fragen: Ist eine zentrale Versickerung von Oberflächenwasser vorteilhafter als die Einrichtung von Leitungsnetzen mit dezentralen Wasserzapfstellen? Welche Anforderungen werden von weiteren Akteuren an ein solches System gestellt? Was ist aus wasserwirtschaftlichen und Naturschutzgründen zu beachten? Welcher Trassenverlauf ist für einen Wassertransport denkbar? Das im Vorgängerprojekt erstellte Grundwassermodell wurde weiterentwickelt, aktualisiert und Simulationen für zahlreiche Szenarien einschließlich der Standortoptimierung zur Versickerung durchgeführt.

Die Bearbeitung begann mit den konkreten Maßnahmen und dem Monitoring im Deutener Moor (ab November 2020) und schloss mit der Machbarkeitsstudie im Januar 2023 ab.

Wenngleich die Landwirtschaft die „treibende Kraft“ bei der Suche nach Lösungsmöglichkeiten war, so sind doch die naturräumlichen Anforderungen die Leitplanken der Arbeit: Moore, Wälder und die Vermeidung von Staunässe sind Teil der ganzheitlichen Betrachtung.

Darüber hinaus wurden die Grundlegendaten ergänzt und die methodischen Instrumente für die behördliche Arbeit verbessert.

Fachbeitrag zur ressourcenschonenden landwirtschaftlichen Bewässerung und sozial-ökologischen Aspekten (Anlage 7.3)

Neben der Kooperation mit der LWK bei der Erarbeitung des o.g. Fragebogens lag ein Schwerpunkt der Uni Kassel auf Fragestellungen zur Angemessenheit der Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Flächen im Projektgebiet: Wie ist die Ausstattung der Betriebe mit Bewässerungstechnik hinsichtlich Effizienz, Bewässerungsart, Energieverbrauch etc.? Sind die angebauten Kulturen zukunftsfähig unter dem Aspekt des Klimawandels? Welche Entwicklungsmöglichkeiten jenseits von Technik sind wegweisend – Sensibilisierung, Schulung, Testanwendungen? Die Projektbearbeitung erfolgte zunächst parallel mit der LWK und im eigenen Beitrag bis Januar 2023. Ergänzend wurden die sozialökologischen Bedürfnislagen betrachtet.

Fachbeitrag zu Organisationsstrukturen und Finanzierungsmodellen (Anlage 7.4)

Die Bearbeitung dieses Themas setzte erst nach Vorliegen erster Erkenntnisse und Erfahrungen der vorlaufenden Partnerbausteine ein.

Fragestellungen zu Projektbeginn fokussierten auf infolge künftig veränderter Wassernutzung bzw. -verteilung erforderlich werdende Modelle zu Organisationsformen und Finanzierung in Abhängigkeit der Struktur der Wassernutzer: Flexibilitätspotenziale und Nachfragespitzen, unterschiedliche Qualitätsanforderungen, rechtliche Fragen sowie Zuständigkeiten sind differenziert zu betrachten. Die Finanzierung von Wasserdienstleistungen soll grundsätzlich verursachergerecht und zugleich sozialverträglich gestaltet werden. Wasserknappheit und geänderte „Zuteilung“ oder ggf. qualitative Unterschiede je nach Nachfragegruppe erfordern u.U. eine Revision des bisherigen Systems mit neuen Fragestellungen zu Recht, Administration, Kosten, Qualität, Gesundheit, Ökosystemverträglichkeit, Priorisierung bis hin zur Vergabe neuer Wasserrechte u.v.m. Da es keine vergleichbaren Erfahrungswerte gibt, müssen grundlegende Betrachtungen neu angestellt und letztlich von Behörden und Politik verantwortet werden. Wie kann die künftige Organisation der Wasserbereitstellung im Raum aussehen, wie werden die Kosten dieser Aufgaben bestimmt und welche Anreize z.B. in der verursachergerechten Bepreisung können wirksam werden? Die modellhafte Entwicklung wird in Interaktion mit den Versorgern und den Nachfragern unter Beteiligung der Behörden umgesetzt.

Besonderheiten im rheinisch-westfälischen Ballungsraum und damit in NRW betreffen das ganze Spektrum von Wassergewinnung, -verteilung, -entsorgung sowie Bewirtschaftung von Gewässern: Sie haben sich historisch anders entwickelt als in den restlichen Bundesländern, z.B. gibt es nur im Saarland und in NRW Wasserwirtschaftsverbände (überall jedoch Wasser-

und Bodenverbände). Alleinstellungsmerkmal dieser Region ist, dass aufgrund massiver bergbaubedingter Geländeabsenkungen große Gebiete im südlichen Lippeverbandsgebiet durch Pumpwerke dauerhaft entwässert werden müssen, um großflächige Überschwemmungen zu vermeiden und die Flächennutzungen zu gewährleisten („Ewigkeitslasten“ des Steinkohle-Bergbaus).

Exkursionsbericht „Beispiel Hessisches Ried“ (Anlage 7.5)

Die Projektpartnerschaft hat am 02.11.2022 eine Exkursion zum zuvor bereits mehrfach kontaktierten Wasserverband Hessisches Ried unternommen, da hier im vergleichbaren Volumen wie bei den *KlimaBeHageN*-Szenarien Oberflächenwasser entnommen (hier aus dem Rhein), aufbereitet und über ein Rohrleitungssystem ins Grundwasser infiltriert wird, um an anderer Stelle wieder (in diesem Fall über Trinkwasserbrunnen) gefördert zu werden.

Ein Teil des aufbereiteten Oberflächenwassers wird direkt über ein Zapfstellennetz der Landwirtschaft als Brauchwasser mit nahezu Trinkwasserqualität zur Bewässerung bereitgestellt.

Für diese Serviceleistungen werden Entgelte erhoben (fixe und variable Kosten). Die landwirtschaftliche Grundwasserentnahme ist ansonsten in Hessen auch entgeltfrei möglich; hier im Hessischen Ried werden jedoch keine Entnahmerechte erteilt und die Landwirte sind auf eine Kooperation innerhalb des hierfür gegründeten Beregnungsverbandes angewiesen.

Trotz struktureller Unterschiede ist das Projekt im Hessischen Ried als Beispiel für *KlimaBeHageN* interessant, weil es eine „gelebte“ Partnerschaft seit rund 30 Jahren ist und im Zusammenwirken der Trink- und Brauchwasserversorgung in öffentlich-rechtlicher Organisationsform funktioniert.

Der Exkursionsbericht ist auch dem „projektbegleitenden Arbeitskreis“ zur Verfügung gestellt worden, da Diskussionspunkte wie Rechtsrahmen, Entgelthöhe, Organisationsstruktur oder auch naturschutzfachliche Belange für den Arbeitskreis interessant sind.

3 Projektergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der vier Fachbeiträge (vollständige Fassungen in den Anhängen 7.1 bis 7.4) zusammengefasst.

3.1 Fachbeitrag zum Wasserbedarf der Landwirtschaft im Hammbachgebiet

Insgesamt umfasst das Projektgebiet eine Fläche von 15.946 Hektar. Davon bewirtschaften etwa 380 Betriebe eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 7.550 Hektar (LWK NRW, 2021). Dies entspricht rund 47 % der Projektgebietsfläche. Siedlungs-/Verkehrsflächen, Gewässer sowie Wald und Gehölze nehmen entsprechend 53 % der Fläche in Anspruch.

Im Bericht der Landwirtschaftskammer (siehe Anhang 7.1) sind die Daten und Ergebnisse der im Rahmen des Projektes durchgeführten Betriebsbefragung unter den landwirtschaftlichen Betrieben des Projektgebietes ausgewertet worden. 165 von 380 Erhebungsbögen wurden zurückgesandt und flossen mit einer flächenmäßigen Abdeckung von etwa 70 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ein. Enthalten sind:

- Strukturdaten der wirtschaftenden Betriebe / der bewirtschafteten Fläche und der bewässerungswürdigen Kulturen im Versuchsgebiet,
- Ermittlung des mengenmäßigen Wasserbedarfs und
- Ermittlung der landwirtschaftlichen Betriebe, die künftig potenziell im Versuchsgebiet an langfristiger, ressourcenschonender Bewässerung Interesse haben.

Auf den **erhobenen bewässerten Flächen** wird vor allem Mais angebaut mit 371 Hektar bzw. 42 %. Gemüse (182 ha), Spargel (103 ha) und Kartoffeln (73,5 ha) machen zusammen 358,5 ha (40 %) bewässerter Fläche aus. Zusätzlich wurden Bewässerungsmengen erhoben.

Gegenüber dem Mais ist die Bewässerungsintensität z.B. bei Gemüse und Spargel aus Qualitäts- und Quantitätsgründen höher. Ohne eine Bewässerung wäre der Anbau von Sonderkulturen nicht möglich und zu risikoreich. Die Berechnung von Mais ist in den bisherigen Trockenjahren vor allem durchgeführt worden, um eine ausreichende Bereitstellung an Futtermitteln in dieser vom Futterbau geprägten Region sicherzustellen.

Ergänzend zu den erhobenen Daten wurde der maximal in der Region auftretende Bewässerungsbedarf hochgerechnet und auch Dauergrünland einkalkuliert. Zusätzlich zu den 29 erhobenen Bewässerungsbetrieben wollen von den Befragten nach eigenen Angaben 20 weitere zukünftig – gerne ressourcenschonend – in die Bewässerung einsteigen. Diese wurden kalkulatorisch berücksichtigt.

Ergänzend zu den Bewässerungsbedarfsdaten aus der Erhebung wird ein kalkulatorischer Ansatz über alle bewirtschaftenden Betriebe und angebauten Kulturen in der Projektregion aufgestellt, um den maximal in der Region auftretenden Bewässerungsbedarf hochzurechnen. Denn

es kann durchaus sein, dass über die Erhebung nicht alle Bewässerungsbetriebe erfasst bzw. erreicht wurden. Der kalkulatorische Ansatz legt zum einen alle **Hauptanbaukulturen für einen Bewässerungsbedarf** zugrunde, der sich auf eine **Bewässerungsmenge** von insgesamt **5.466.000 m³/a** beläuft. Wird zum anderen im Ansatz die **Dauergrünlandfläche** von insgesamt 1.785 ha mitebezogen, so erhöht sich die Bewässerungsmenge dafür um **2.677.500 m³/a**.

Somit ist für das Projektgebiet insgesamt ein **Bewässerungsbedarf** von **8.143.500 m³/a** zu kalkulieren bzw. zu prognostizieren. Dies entspricht durchschnittlich 110 mm/ha/a.

Im Vordergrund des Projektes stehen vor allem Effizienzfragen, um das knappe und knapper werdende nutzbare Dargebot von Bewässerungswasser im Projektgebiet sinnvoll und ressourcenschonend einzusetzen. Mögliche Maßnahmen zur Anpassung an Klimawandel und Klimafolgen sind zur Effizienzsteigerung der Wassernutzung vor allem die Minderung von Wasserverlusten und/oder die bessere Ausnutzung vorhandenen Wassers. Anpassungs-/ Optimierungsmöglichkeiten bestehen bei der Kulturauswahl und Kulturführung sowie im technischen Bereich der Bewässerung. In diesem Zusammenhang wurde eine Maßnahmenübersicht aufgestellt. Aus dieser Übersicht können die landwirtschaftlichen Betriebe für sich geeignete Maßnahmen auswählen und im Betrieb zielgerichtet umsetzen.

Zum Thema Bewässerungstechnik und -steuerung sowie Sensor- und Softwarenutzung von Bewässerung hat die Universität Kassel in einer Masterarbeit eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt (theoretischer Teil). Klimaszenarien wurden für die Projektregion erarbeitet, Analysen von fünf kooperierenden Praxisbetrieben durchgeführt und abgeleitete Maßnahmen dargestellt.

Auf Grundlage der vor Ort gesammelten Erfahrungen und Informationen beschäftigte sich die Hochschule Ruhr West (HRW) Mülheim mit der Analyse der Wassernutzer, Flexibilitätspotentialen bei der Nachfrage, Erarbeitung von Strukturen und Gesamtkosten und statischen Finanzierungsmodellen sowie Möglichkeiten eines dynamischen Preismodells. In diese Betrachtungen fließt die mögliche Übertragung der Aufgaben auf einen Bewässerungsverband mit ein.

Bei der Betrachtung des Projektgebietes sind folgende Aspekte aus Sicht der Agrarstruktur als wesentlich herauszustellen und mit zu beachten:

- Die Land- und Forstwirtschaft erhält die natürlichen Lebensgrundlagen und sichert die Ernährung unserer und künftiger Generationen.
- Durch Versiegelung gehen nicht nur wertvolle landwirtschaftliche Flächen für die Nahrungsmittelerzeugung verloren, sondern auch Flächen für Biodiversität der Flora und Fauna, Grundwasserneubildung, die Kaltluftbildung und das Regionalklima auf dem

Lande sowie im urbanen Bereich. Landwirtschaftliche Flächen tragen zur Verringerung der städtischen Sommertemperaturen durch ihr Bodenkühlungspotential bei.

- Die landwirtschaftlichen Flächen dienen dem Wasserrückhalt für Starkregenereignisse und stehen bei Hochwassersituationen als Auffangbereiche zur Verfügung.

Landwirtschaftliche Flächen erfüllen gleichzeitig mehrere Funktionen, die in ihrer Vielfalt und hinsichtlich ihrer Wechselbeziehung mit anderen Nutzergruppen beachtet und abgewogen werden müssen. Nutzungskonkurrenzen und -konflikte sind sorgfältig und zukunftsgerichtet einer gesamtgesellschaftlich akzeptablen Lösung zuzuführen.

Insofern bestehen die Erwartungshaltung und die Motivation der Landwirtschaft an diesem Projekt in den folgenden Punkten:

- Der Bewässerungsbedarf von **8,1 Mio. m³/a** (prognostizierter Bedarf) sollte in Zukunft als Grundlage weiterer Wasserrechte dienen.
- Das Wasser, welches bisher über Oberflächengewässer abfließt und im Süden am Pumpwerk Hammbach in die Lippe gepumpt wird, sollte über dezentralen Rückhalt in den Oberlaufgebieten (z.B. Moore) und technische Maßnahmen **möglichst in Höhe von 8,1 Mio. m³/a dem Grundwasserleiter zugeführt** werden.
- Der **Grundwasserleiter ist der beste Wasserspeicher!** Es herrschen kaum Verdunstungsverluste, eine hohe Flexibilität aller Nutzer ist gegeben und entspricht den rechtlichen Anforderungen eines **sparsamen Wasser- und Flächenumgangs**.
- **Erlaubnisse zur Grundwasserentnahme** sollten auch in Zukunft ermöglicht werden
 - a) für Betriebe, die bereits bewässern und einen höheren Bedarf haben,
 - b) für Betriebe, die in WSG und NSG liegen und
 - c) Betriebe, die aufgrund von Klimafolgen neu in die Bewässerung einsteigen müssen.

Darüber hinaus sollte der Einfluss bestehender Brunnen und Leitungen ermittelt werden, um ein **Bewässerungsnetzwerk aufzubauen in Kooperation mit der Landwirtschaft**.

Im Siedlungsraum bestehen nach Kenntnis der Stadtverwaltung Dorsten eine Reihe privater Entnahmestellen, deren Einfluss auf das Grundwasserdargebot nicht quantifizierbar ist und die innerhalb des Projektes nicht erfasst oder berücksichtigt wurden.

3.2 Fachbeitrag zur ressourcenschonenden landwirtschaftlichen Bewässerung sowie Berücksichtigung sozialökologischer Aspekte

Das Fachgebiet Agrartechnik des Fachbereichs 11 der Universität Kassel (Ökologische Agrarwissenschaften) in Witzenhausen hat im Rahmen von *KlimaBeHageN* die Aufgabe übernommen, einerseits ein Konzept für eine ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung unter Berücksichtigung des aktuellen Standes technischer Einsparmöglichkeiten zu entwickeln und außerdem die sozioökologischen Aspekte einer absehbaren Verknappung der Ressource Wasser darzustellen.

Die Erfahrungen der letzten Jahre mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen und langanhaltenden Trockenperioden weisen darauf hin, dass die unbegrenzte Verfügbarkeit von Wasser nicht mehr selbstverständlich ist und ein sorgsamerer Umgang mit der Ressource dringend geboten ist. Der Projektpartner hat aus landwirtschaftlichem Blickwinkel die Möglichkeiten von **Wassereinsparungen bei gleichzeitiger Beibehaltung der Produktivität** untersucht.

Basierend auf der Umfrage der LWK unter den landwirtschaftlichen Betrieben des Projektgebietes, von denen 29 (der antwortenden 165) Betriebe Bewässerungsmaßnahmen durchführen, wurden drei durch ein möglichst repräsentatives Anbauspektrum und unterschiedliche Bewässerungsmethoden charakterisierte Akteure identifiziert, die sich als **Beispielbetriebe** für eine Studie zur Verfügung stellten.

Bei diesen wurden im Rahmen mehrerer Betriebsbesuche Details zur verwendeten Technik und Mengenangaben zum Wasserverbrauch erfasst, wobei sich herausstellte, dass hinsichtlich der ausgebrachten Bewässerungsmengen nur Schätzwerte vorlagen. Genaue **Zeit- und Mengenangaben** zum gepumpten und ausgebrachten Wasser waren von keinem der beteiligten Betriebe zu erhalten, da eine präzise Erfassung fehlte. Dementsprechend war es auch nur unzulänglich möglich, die Angemessenheit der durchgeführten Bewässerungsmaßnahmen zu beurteilen.

Für das Projektgebiet ist generell festzustellen, dass es bis zum jetzigen Zeitpunkt **keine verlässliche Dokumentation der zur Beregnung genutzten, bewilligten Wassermengen** gibt und somit auch die Grundlage fehlt, durch technische Optimierung erreichbare verbrauchsbezogene Einsparungen konkret zu beziffern.

Als Ansatz für die **Prognostizierung** des sich im Rahmen des Klimawandels verändernden Bewässerungsbedarfes wurde das Kulturspektrum und der Anbauumfang der Jahre 2020/2021 zugrunde gelegt (siehe Abb. 3). Auf Basis von Daten für Niederschläge und Temperatur des Deutschen Wetterdienstes sowie unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit wurde eine **klimatische Wasserbilanz** nach dem Geisenheimer Modell erstellt und für jede Kultur der im jeweiligen Wachstumsstadium benötigte optimale Bewässerungsbedarf berechnet.

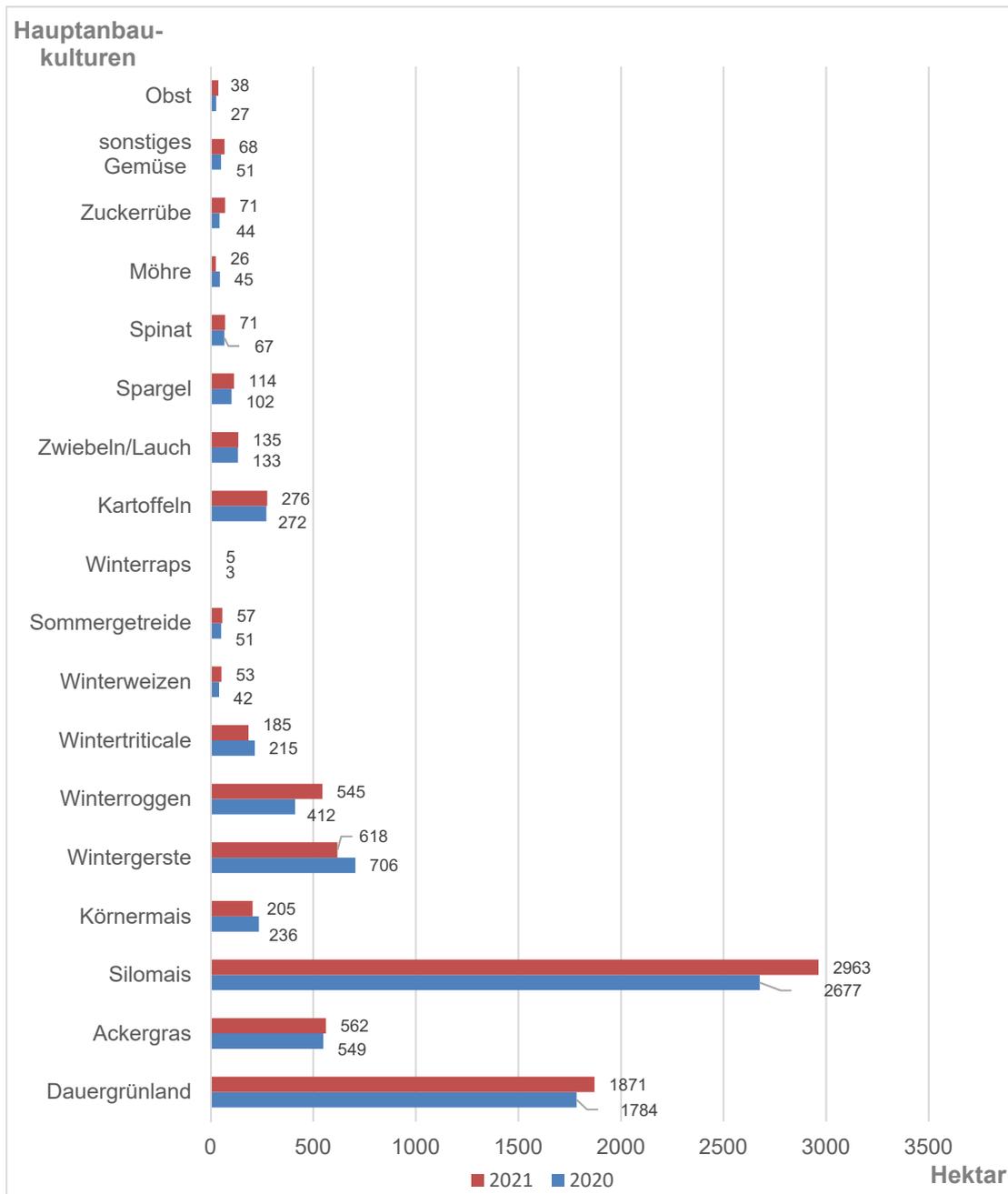


Abbildung 3: Hauptanbaukulturen 2020/2021 im Projektgebiet in Hektar (Quelle LWK NRW-Coesfeld)

Um die Differenz zwischen Pflanzenbedarf und von der Bewässerungstechnik abhängigen Verlustmengen (z.B. durch Verdunstung und nicht zielgenaue Applikation) kalkulieren zu können, werden je nach genutzter Technik unterschiedliche Aufschlagsfaktoren berücksichtigt, wodurch sich die in der Praxis benötigte Wassermenge entsprechend erhöht.

2021 bearbeiteten im Projektgebiet 380 Betriebe (252 > 5 ha und 128 < 5 ha) 7.550 ha Fläche (Sand bis lehmiger Sand) für Futteranbau (3.512 ha, 43 %), Getreide (1.662 ha, 22 %), Grünland (1871 ha, 24 %), Gemüse (760 ha, 9,7 %) und Obst (38 ha, 0,5 %). Zur optimalen Versorgung der angebauten Kulturen wäre nach einer Bewässerungsempfehlung auf Basis von Daten

des Deutschen Wetterdienstes ein Bewässerungsbedarf von **4.837 287 m³** notwendig gewesen. Die zur Kalkulation der LWK auftretende Differenz bezüglich des zusätzlichen Wasserbedarfes ergibt sich aus dem Unterschied der Ermittlungsmethode: Während die LWK mit einer durchschnittlichen Wassermenge pro Hektar Anbaufläche kalkulierte, wurden vom Fachgebiet Agrartechnik der Uni Kassel tagesgenaue Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes sowie pflanzenspezifische Kennzahlen zur Bestimmung des Bedarfs der angebauten Kulturen benutzt.

Unter Berücksichtigung durchschnittlicher Ausbringungsverluste müsste 2021 für die optimale Wasserversorgung aller Kulturen ein Gesamtbedarf von etwa 6 Mio. m³ Bewässerung zugrunde gelegt werden. Dagegen hätte im wesentlich trockeneren Vorjahr 2020 der Bewässerungsbedarf für eine optimale Versorgung aller Flächen über 10 Mio. m³ betragen.

Laut eigener Aussage führten 29 von 165 an der Umfrage teilnehmenden Betrieben Bewässerungsmaßnahmen mit einer Verbrauchsmenge von 665.000 m³/a durch, wobei in 27 Fällen Trommelsysteme mit Großregnern, außerdem eine Kreisberegnung und fünf Tropfbewässerungsanlagen zum Einsatz kamen. 15 der 29 Betriebe wünschen sich eine Erhöhung um 222.000 m³/a und 20 zusätzliche Betriebe wollen zukünftig mit 2.000.000 m³/a in die Bewässerung einsteigen, wodurch sich ein Gesamtbedarf von ca. 3 Mio. m³ ergeben würde. Die Diskrepanz dieser Angaben zu dem oben genannten rechnerischen Bedarf von 4.837 287 m³ kann verschiedene Gründe haben. Erstens decken die Aussagen der Fragebögen nur 165 der 380 Betriebe im Projektgebiet ab, von 215 liegen keinerlei Aussagen vor. Unter diesen finden sich wahrscheinlich ebenfalls noch einige, die Bewässerung betreiben. Weiterhin geht der rechnerische Bedarf von einer optimalen Versorgung aller Kulturen aus, die in der Praxis kaum einmal realisiert wird. Neben der Möglichkeit, dass sich außerdem wegen fehlender Wasserzähler der Verbrauch nicht exakt bestimmen lässt und daher ausgebrachte Mengen falsch eingeschätzt werden, ist auch anzunehmen, dass aufgrund limitierter Wasserrechte nicht alle Kulturen im empfohlenen Umfang bewässert werden.

Prognosen für zukünftigen Bewässerungsbedarf und Handlungsempfehlungen

Zur Kalkulation eines durch den Klimawandel sich verändernden Bewässerungsbedarfes wurden auf Basis der Representative Concentration Pathways (RCPs) drei Optionen berechnet. Die Prognosen für den durchschnittlichen Zusatzwasserbedarf bis 2050 unter den drei zugrunde gelegten Klimaszenarien betragen (bezogen sich auf den Bedarf bei unverändertem Kulturspektrum) bei RCP 2.6 = 7.131 785 m³, bei RCP 4.5 = 7.691 465 m³ und bei RCP 8.5 = 6.582 678 m³ (siehe Abbildung 4)

Das bedeutet, dass je nach Szenario sowohl bei geringen als auch bei erheblichen klimatischen Veränderungen hinsichtlich der Jahresbilanz kein ins Gewicht fallender erhöhter Bedarf zu prognostizieren ist, wenn alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft sowie Kulturführung und Bewässerung optimal gemanagt werden.

Dies setzt auch voraus, dass eine für die jeweilige Kultur geeignete Bewässerungstechnik mit möglichst geringem Energieaufwand zur Anwendung kommt und für Zeitpunkt und Menge der Wassergaben angemessene Entscheidungen getroffen werden. Zusätzliches Einsparpotenzial ergibt sich durch den Einsatz trockenheitstoleranter Sorten und eine frühere Aussaat, Verdunstungsminimierung durch angepasste Anbau- und Bearbeitungsmethoden, Mulchsaatverfahren, hohe Bestandsdichten, Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte.

Grundsätzlich gilt: Für effiziente Maßnahmen ist spezifisches Wissen und Erfahrung der Betriebsleiter und eine gute fachliche Praxis notwendig; zusammengefasst:

Genauere Kenntnis der Bedarfsfaktoren (Pflanzenart, Entwicklungsstadium, Bodenart, Kleinklima, aktuelles Defizit),

Verdunstung reduzieren und Wasser halten (Zeitpunkt der Bewässerung, zielgenaue Gabe, Bodenbearbeitung und -verbesserung, Mulchen, Oberflächenabfluss vermeiden),

Passgenaue Technik (Ausbringung, Energiebedarf, Nutzerfreundlichkeit).

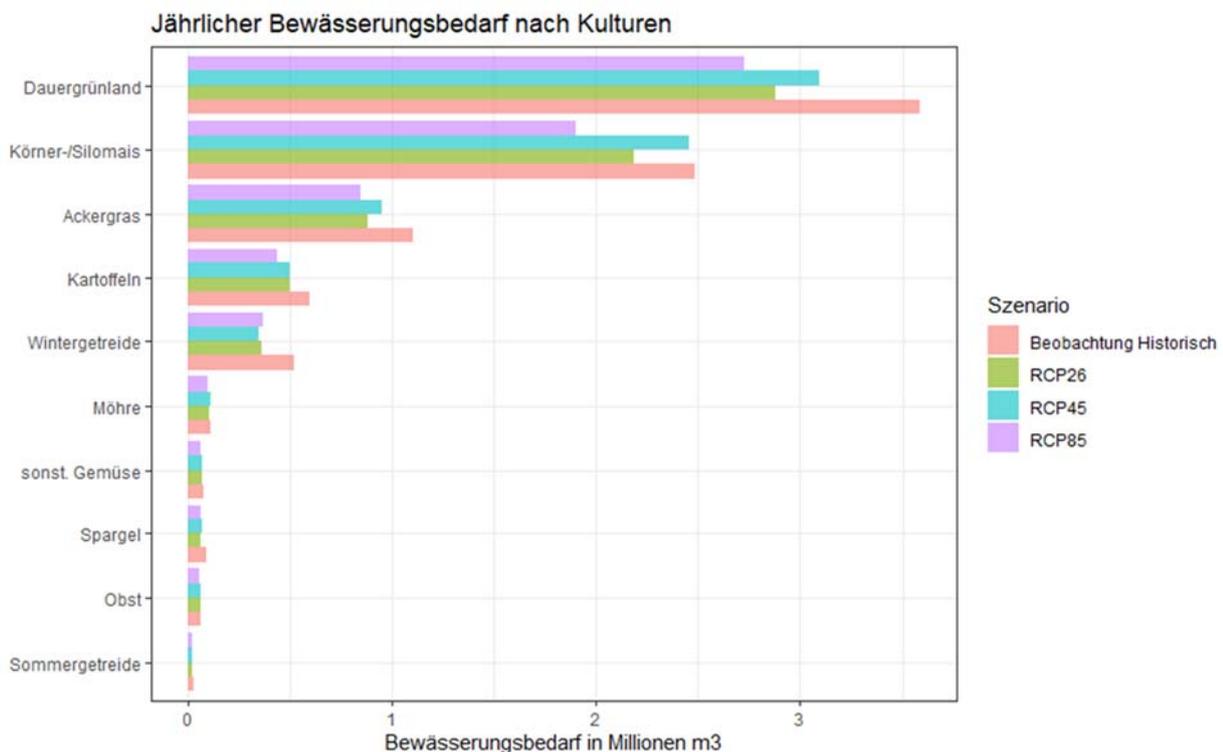


Abbildung 4: Bewässerungsbedarfsprognose historisch und für 3 Klimaszenarien (Quelle Uni Kassel)

Zu den im Projekt zu berücksichtigenden Fragen der **Sozialökologie** hätten idealerweise sozialwissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen einer Masterarbeit stattgefunden, die jedoch nur in Ansätzen bearbeitet werden konnten. Als **Sozioökologische Systeme** bezeichnet man miteinander verbundene und voneinander abhängige Systeme, die sich auf Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur in verschiedenen Zusammenhängen beziehen. Demzufolge sind Menschen Teil von Ökosystemen und formen diese von der lokalen bis auf die globale Ebene, während sie gleichzeitig grundlegend von der Fähigkeit dieser Systeme abhängen, Ökosystemdienstleistungen für das menschliche Wohlbefinden und die gesellschaftliche Entwicklung bereitzustellen. Sozioökologische Interaktionen spielen sich vor dem Hintergrund globalen Wandels und anderer zeitlicher Dynamiken ab.

Aufgrund der prognostizierten Klimaveränderungen sind im Kontext der Wasserproblematik erhebliche sozioökologische Auswirkungen und daraus resultierende Folgen für die beteiligten Akteure zu erwarten.

Darüber hinaus sind neben einer jahreszeitliche Umverteilung von Niederschlägen die Zunahme von Risiken durch Überschwemmungen, Starkregenereignisse sowie Hitzeperioden zu erwarten. Als Folgen könnten unter anderem vermehrt Niedrigwasserstände und Temperaturanstiege im Wasser entstehen, die z.B. zu sinkenden Sauerstoffgehalten und höheren Konzentrationen von Nährstoffen führen können.

Trockenheit und ansteigende Temperaturen bringen außerdem Probleme im Bereich der Abwasserableitung in Form von Geruchsbelästigung und einen Anstieg des Korrosionsrisikos für Leitungen mit sich.

Durch die zu erwartende eingeschränkte Verfügbarkeit ist eine Nutzungskonkurrenz um die Ressource Wasser zu befürchten. Neben einer zunehmenden Kritik von Seiten anderer Akteure (Privathaushalte, Industrie, Naturschutz) am Umfang des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs sind auch erhebliche Verwerfungen zwischen landwirtschaftlichen Nutzern zu befürchten, wenn es zu nachbarschaftlichen Konflikten über die den einzelnen Betrieben zustehenden Wassermengen kommt.

Bezüglich der Verknappung der Ressource sind in jüngerer Vergangenheit sowohl in allgemeinen medialen Veröffentlichungen als auch in der Fachpresse zunehmend Berichte zu finden, die sich bezüglich des Bedarfes für Bewässerungskontingente mit einer Priorisierung der Wertigkeit bestimmter Kulturen oder Nutzergruppen beschäftigen. Im Zusammenhang diesbezüglicher Diskussionen ist festzustellen, dass zur Einschätzung einer Bewässerungswürdigkeit nicht nur allgemein akzeptierte Faktoren herangezogen werden, sondern dass diese häufig auch von einer individuellen Interessenlage geprägt ist.

Um zur Entschärfung der angespannten Situation beizutragen, sollten die für eine Allokation zuständigen Stellen mit hoher Sensibilität sowie unter Anwendung transparent vermittelter objektiver Kriterien agieren und ihre Entscheidungen nachvollziehbar kommunizieren.

Um unnötigen Wasserverbrauch und die Auswaschung von Nährstoffen zu vermeiden, können von landwirtschaftlicher Seite folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- optimierte Bewässerungsstrategien,
- das Vermeiden von Verdunstung durch eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität,
- der Anbau von Zwischenfrüchten zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Erosionsminderung sowie
- eine exakt dem Pflanzenbedarf angepasste Düngung und Wasserversorgung.

Akzeptanz für die Notwendigkeit des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs lässt sich am ehesten erreichen, wenn es gelingt, die Bedeutung lokaler/regionaler Erzeugung von Nahrungsmitteln offensiv zu kommunizieren und notwendige Bewässerungsmaßnahmen ressourceneffizient zu managen.

Allerdings kann der für eine Optimierung der Bewässerung unerlässliche Investitionsbedarf die Existenz vieler landwirtschaftlicher Betriebe gefährden, wenn nicht gleichzeitig von institutioneller Seite angemessene Förderungskonzepte entwickelt werden.

3.3 Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung von Wasser

Im Rahmen des 2019 abgeschlossenen DBU-Vorhabens (1. Phase) wurde unter Beteiligung der wasserwirtschaftlich relevanten Akteure im Einzugsgebiet des Hambachs ein grundlegendes Konzept erstellt und abgestimmt. In der aktuellen 2. Phase wurde nun das Konzept weiter konkretisiert. Die von der Lippe Wassertechnik LW erarbeitete Machbarkeitsstudie zum Transport und zur Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung in der Landwirtschaft und die Umsetzung von Maßnahmen im Deutener Moor (siehe Anlage 7.2) sind dabei wesentliche Bausteine des Projektes.

Die erteilten Wasserrechte schöpfen derzeit das verfügbare Grundwasserdargebot aus. Es gibt keine Spielräume für größere weitere Entnahmen. Gleichwohl gilt der mengenmäßige Zustand gemäß Bewirtschaftungsplan des Landes NRW als „noch gut“.

Der Abfluss im Hambachsystem ist durch die Grundwasserentnahmen, die Auswirkungen des Klimawandels und Flächenentwässerungsmaßnahmen negativ beeinflusst, vor allem während der Vegetationsperiode. Im Rahmen von *KlimaBeHageN* wurden **mögliche Maßnahmen zur Erhöhung des Wasserdargebotes** mit den Akteuren erarbeitet und auf ihre Wirksamkeit geprüft.

In einem ersten Schritt wurden nach einer Aktualisierung der Grundlegendaten die Modelle zur Simulation von Grund- und Oberflächenwasser ertüchtigt und erweitert. Es erfolgte eine modellgestützte Überprüfung der Wirksamkeit konzipierter Maßnahmen. In Anbetracht des ermittelten **Wasserbedarfs zur Bewässerung** landwirtschaftlicher Nutzflächen in Höhe von rund **8 Mio. m³/a** verbleibt als Lösungsansatz vorrangig der Transport und die Versickerung von Wasser aus dem Bergsenkungstiefpunkt am Lippeverbands-Pumpwerk Hammbach (d.h. unmittelbar vor der Lippe) über eine Zwischenspeicherung im Blauen See in das oberhalb gelegene Einzugsgebiet, um die Wasserbilanz soweit zu verbessern, dass **dauerhaft Wasserrechte für die Landwirtschaft** möglich sind. Voraussetzung ist, dass das versickerte Wasser nicht zum Hammbach zurückströmt, um das Wasser nicht im Kreis zu pumpen.

Als weiterer Schritt wurden die verfügbaren Wassermengen am Hammbach ermittelt. Das potenziell für die Versickerung nutzbare Wasser steht überwiegend im Winterhalbjahr zur Verfügung.

Am Betriebswasserwerk Blauer See der Rheinisch-Westfälischen Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW) stehen 5 Mio. m³/a realistisch zur Verfügung. Enthalten ist Grundwasser aus dem Pumpwerk Marienviertel des Lippeverbands, das in den Blauen See eingeleitet wird. Weitere 3 Mio. m³/a stehen am Lippeverbands-Pumpwerk Hammbach zur Verfügung.

Zur Nutzbarmachung für die Landwirtschaft kommt nur die Versickerung und Speicherung des Wassers im Grundwasserleiter (insbesondere im Winterhalbjahr) und die dezentrale Wiederentnahme durch Brunnen (in der Vegetationsperiode) in Frage, da im Sommer (in Zeiten des Bewässerungsbedarfs) das Wasser für eine direkte, leitungsgebundene Verteilung an die Landwirtschaft (aus Reservoirs o.ä.) nicht zur Verfügung steht.

Zur Wasserbereitstellung wurden verschiedene Varianten mit und ohne den Blauen See als Zwischenspeicher bzw. eine Direktentnahme aus dem Hammbach und am Lippeverbands-Pumpwerk Hammbach untersucht.

Sinnvollerweise kann der Blaue See als Zwischenspeicher vor dem Transport (über eine Druckrohrleitung) zum potenziellen Versickerungsstandort genutzt werden, zumal die Infrastruktur (RWW-Betriebswasserwerk Blauer See) vorhanden ist. So kann sowohl die Transportmenge als auch die Beschaffenheit des Wassers vergleichmässigt werden. Die wasserrechtliche Erlaubnis zur Wasserentnahme aus dem Blauen See ist bereits vorhanden und nutzbar, lediglich der Zweck muss angepasst werden.

Auch bei der **Wahl des geeigneten Versickerungsstandortes** wurden zahlreiche Varianten geprüft. Zur Bewertung wurden die geologisch-hydrogeologischen Bedingungen (ausreichende Durchlässigkeiten und Flurabstände, außerhalb der Rhader Mergelscholle, außerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes des Hammbachs), naturschutzrechtliche Aspekte (außerhalb von Naturschutzgebieten und geschützten Landschaftsbestandteilen, möglichst außerhalb von

Waldflächen, Rekultivierungsfestsetzungen/Kompensationsbindungen) und weitere Randbedingungen (Entfernung zu den Trinkwasserbrunnen, Altlastenverdachtsflächen, Siedlungsgebiete) einbezogen. Entgegen Empfehlung aus der 1. Projektphase wurde in Abstimmung mit allen Beteiligten eine Versickerung im Anstrom des Deutener Moores und die Einleitung von Wasser in den Schafsbach (Rhader Wiesen) nicht mehr betrachtet.

Als beste Möglichkeit hat sich nunmehr ein Standort in der Bakeler Heide herausgestellt.

Wegen der zu hohen Grundwasseranstiege musste allerdings auf einen Bereich innerhalb des Waldgebietes (kein Naturschutzgebiet) ausgewichen werden. Hier könnte das Wasser **sowohl über Sickerrigolen als auch über Brunnen** versickert werden. Entweder sind acht Brunnen mit je mindestens 40 m Tiefe oder eine bzw. mehrere Versickerungsrigolen bis zu einer Gesamtlänge von 900 m und ca. 5 m Tiefe erforderlich. Versickerungsbecken sind keine Option, da sie sehr flächen- und wartungsintensiv sind.

Infolge der Versickerung bei gleichzeitiger Grundwasserentnahme durch die Landwirtschaft kommt es in einem größeren Bereich um den Versickerungsstandort zu deutlichen Grundwasseranstiegen, allerdings sind die Flurabstände hier relativ hoch. Die lokale Betroffenheit von Gebäuden, landwirtschaftlichen Nutzflächen und Waldflächen (Vernässungsgefahr) kann nicht ausgeschlossen werden und ist im weiteren Planungsprozess zu berücksichtigen. Die Dargebotserhöhung und die Flurabstandsverringerung haben positive Effekte für bereits geschädigte Feuchtlebensräume (Deutener Moor, Rhader Wiesen) und stützen den Wasserbedarf landwirtschaftlicher Nutzflächen sowie das Dargebot für die Trinkwassergewinnung.

Die **Wasserqualität** des zu versickernden Wassers wurde geprüft. Auch wenn ubiquitäre Hintergrundbelastungen im Wasser des Blauen Sees vorhanden sind, werden die Grenzwerte von Stoffen, die in der Trinkwasserverordnung reguliert sind, eingehalten. Die Möglichkeit einer Vorbehandlung des zu versickernden Wassers ist bei Sickerrigolen technisch besser gegeben als bei Brunnen.

Demgegenüber sind Platzbedarf und Sichtbarkeit von Brunnen in der Landschaft geringer.

Auch für die **Transportleitung** vom Betriebswasserwerk Blauer See zum Versickerungsstandort wurden verschiedene Trassen geprüft.

Die **günstigste Trasse** ist 7,1 km lang, verläuft ausschließlich im Stadtgebiet von Dorsten und auf bzw. an Wegen (3,4 km Straßen, 2,4 km befestigte und 1,2 km unbefestigte Wege) außerhalb von Schutzgebieten. Die B58 und A31 müssen durch einen unterirdischen Vortrieb gequert werden. Für die zu transportierenden Wassermengen ist ein Außendurchmesser der Leitungen von 710 mm erforderlich. Daraus ergibt sich eine Arbeitsbreite bei der Verlegung von 2,8 m und eine Tiefe der Baugrube von 1,8 m. Das Wasser muss 25 m bis 30 m hochgepumpt werden. Zur Erreichung dieser Förderleistung müssen die Pumpen im Betriebswasserwerk Blauer See ertüchtigt werden.

Ohne Wasseraufbereitungsmaßnahmen und Kosten für einen Flächenkauf beläuft sich die **Kostenannahme** (Stand 2021) auf 28,4 Mio. € (Brunnenvariante) bzw. 29,4 Mio. € (Sickerrigolenvariante). Ebenfalls nicht enthalten in der Kostenannahme ist die Ertüchtigung des RWW-Betriebswasserwerks Blauer See, die Profilerfüchtigung der Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs sowie besondere Erschwernisse bei der Leitungsverlegung (z.B. Leitungsquerungen).

Zu den Investitionskosten kommen noch die **Betriebskosten**, vor allem der Energieverbrauch der Anlage. Es wird einerseits die Pumpleistung am LV-Pumpwerk Hammbach reduziert, aber andererseits muss das Wasser nach Norden zur Versickerungsanlage gepumpt werden. Dafür ergibt sich ein rechnerischer Energiebedarf von rund 970 MWh, der allerdings idealerweise durch regenerative Energieerzeugung (z.B. Windrad) bereitgestellt werden könnte.

Durch die Versickerung von Wasser in den Grundwasserleiter wird der Wasserhaushalt stabilisiert, der gerade in Trockenperioden stark beansprucht wird. Mit der Vergrößerung des Grundwasserdargebots können der Landschaftswasserhaushalt gestützt, die landwirtschaftliche Produktion im Gebiet stabilisiert und zukünftige Nutzungskonkurrenzen minimiert werden.

Der **Nutzen der Anreicherung** lässt sich in dieser Hinsicht aktuell nicht finanziell beziffern, er trägt aber zur Konkurrenzvermeidung zwischen Wasserversorgung, Landwirtschaft und der Ökologie sowie zur Daseinsvorsorge bei.

Neben den wirtschaftlichen Aspekten ist der **ökologische Nutzen** der Maßnahme zu bewerten. Durch die Versickerung zur Stabilisierung des Wasserhaushalts wird einem periodischen bis dauerhaften Trockenfallen der Fließgewässer (Artensterben durch Sauerstoffmangel und Lebensraumverlust) aktiv entgegengesteuert. Dies trägt in einem sehr hohen Maß zum Erhalt der Biodiversität in den Naturschutzgebieten und zur Stärkung der Klimaresilienz bei.

Durch die Versickerung von Wasser würde außerdem eine ökologische Aufwertung der Feuchtgebiete erfolgen.

Eine naturwissenschaftlich-technische Ermittlung eines Begünstigungsanteils kann nicht durchgeführt werden. Die Verrechnung der gewünschten (Wieder-) Vernässung von Feuchtgebieten gegen die auskömmliche Ertragsstruktur in der Landwirtschaft und dem nachhaltigen Betrieb der Trinkwassergewinnung ist im Rahmen von *KlimaBeHageN* nicht möglich.

Als wichtiger Beitrag zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushaltes und damit der ökologischen Verbesserung eines Feuchtgebietes wurden im Projekt **Grabeneinstau** (siehe Abb. 5) im Brosthausener Wiesenmoor (Deutener Moor) umgesetzt und durch ein **Monitoring** die Auswirkungen ermittelt. Es wurden zwei Dämme mit Überlaufschwellen (Graben 1.23) und zwei ohne Überlaufschwellen (Graben 1.21) sowie weitere Nebenverschlüsse (Graben 1.21 und 1.20) im November 2020 mit Sandsäcken errichtet. Die Maßnahmen wurden dem Kreis Recklinghausen nach Abstimmung angezeigt. Mit Hilfe dieser Maßnahmen lässt sich das Grabensys-

tem um 0,2 m bis 0,4 m einstauen, so dass im Winter das Grundwasser oberflächennah ansteht. Die Flurabstände können damit im Frühjahr länger geringgehalten werden. Dies ist allerdings auch vom Witterungsverlauf im Frühjahr abhängig. Im ersten Jahr nach der Umsetzung der Maßnahme 2021 war der Niederschlag „normal“ und im zweiten Jahr 2022 gab es ein ausgesprochen trockenes Frühjahr. Letzteres hat gezeigt, dass das Absinken der Grundwasserstände zwar verzögert, aber klimatische Einflüsse damit nicht kompensiert werden können. Hilfreich wäre in Zukunft eine Reduzierung des Bestockungsgrades der Gehölze, um die Verdunstung im Frühjahr und Sommer zu minimieren.



Abbildung 5
Verdämmungen
im Deutener
Moor haben zur
dauerhaften Er-
höhung des
Wasserspiegels
geführt. (Foto:
Meßer, LW)

Im Rahmen der Weiterentwicklung von Entscheidungshilfen für die Behörden wurde unter aktiver Einbindung der bereits involvierten Wasserbehörden für zukünftige **wasserbehördliche Fragestellungen** das vorhandene Grundwassermodell für die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und oberirdischen Gewässern verbessert und bietet nun die Möglichkeit, diesbezüglichen Fragestellungen nachzugehen.

Die Entnahmerechte im Gebiet wurden von den Behörden (hier: Untere Wasserbehörde Kreis Recklinghausen) in der Vergangenheit oft über lange Jahre vergeben und basierten auf Schätzungen zur Grundwasserneubildung; die entnommene Grundwassermenge sollte dabei für eine ausgeglichene Bilanz nicht höher sein als die natürliche Neubildungsrate. Neben der Aktualisierung der Gesamt-Wasserhaushaltsbilanz hat *KlimaBeHageN* mit dem verbesserten Grundwassermodell den **Behörden eine verbesserte Entscheidungshilfe für Wasserrechtsverfahren** gegeben. Zudem ist das Modell ein wichtiges Werkzeug für zukünftige Aufgaben des regionalen Grundwassermanagements, die insbesondere mit der Umsetzung von Bewässerungsmaßnahmen notwendig würden.

3.4 Fachbeitrag zu Organisationsstrukturen und Finanzierungsmodellen

Die Hochschule Ruhr West (HRW) in Mülheim an der Ruhr hat auf der Grundlage der Vorarbeiten der LWK und der LW Vorschläge erarbeitet, um zu einer verbandlich organisatorischen Ausgestaltung der geplanten Maßnahmen zur Stützung des Grundwasserhaushalts, organisatorischen Fragen zu Trägerschaft und entstehenden Kosten (statische und dynamische Preismodelle) und zur potenziellen Finanzierung durch Dritte Lösungsansätze zu finden.

Organisation

In einer Analyse zu den Akteuren in der Projektregion, zu deren bestehenden Rollen und Kompetenzen sowie deren Bedürfnissen und Wünschen in Bezug auf das Projektvorhaben von *KlimaBeHageN* zeigt sich, dass die vielseitigen notwendigen Fähigkeiten zur Bewältigung der geplanten Aufgaben bereits bei den verschiedenen Projektpartnern vorliegen.

Kerntätigkeiten, wie etwa **Planung** und **Bau** sowie **Betrieb** und **Instandhaltung** von technischen Anlagen und Infiltrationsmanagement, können mit den bestehenden Kompetenzen durch den LV und die RWW erbracht werden. Ebenfalls von Beginn an zwingend notwendige Aufgaben, wie etwa eine **Mitgliederverwaltung** für Landwirte mit der entsprechenden Abrechnung auf Grundlage von Entnahmemengen, können durch den bestehenden WBV Rhader Bach/Wienbach übernommen werden. Der WBV stellt eine der vielseitigen Organisationen der selbstverwalteten und ehren- wie hauptamtlich engagierten landwirtschaftlichen Akteure in der Region dar.

Die benannten Organisationen eint ein gemeinsames berechtigtes Interesse an einer gesamtheitlichen Stärkung der Wasserbilanz des Grundwasserleiters, um Entnahmen für Wasserversorgung, Landwirtschaft und Industrie langfristig und nachhaltig vor dem Hintergrund von Klimawandelfolgen absichern zu können.

Eine erweiterte Betrachtung von großen Bewässerungsverbänden in Deutschland (Vorderpfalz, Hessisches Ried und Uelzen) lässt einen Rückschluss auf eine anzustrebende konkrete Organisationsform zu. Bei einer alleinigen Projektumsetzung durch landwirtschaftliche Akteure wären besonders die organisatorischen Modelle aus der Vorderpfalz oder Uelzen in Betracht zu ziehen. Die als Wasser- und Bodenverbände organisierten Bewässerungsverbände sind hier nach dem Prinzip der landwirtschaftlichen Selbstverwaltung aufgebaut und bilden die Bereitstellung von Bewässerungswasser hauptsächlich netzgebunden ab. Effizienzgründe in Bezug auf die fachliche Aufteilung verschiedener Kernaufgaben und das gemeinsame Interesse sowie der gemeinsame Nutzen aus der Stärkung der Grundwasserbilanz lassen allerdings eine gemeinschaftliche Lastenteilung ableiten.

Vor diesem Hintergrund kann insbesondere auf die langjährige Erfahrung zur Entwicklung des „Wasserverbands Hessisches Ried“ zurückgegriffen werden. Im Kern werden von diesem seit

1979 die Aufgaben Grundwasserbewirtschaftung und landwirtschaftliche Beregnung wahrgenommen und seit 2014 von zwei verschiedenen Wasser- und Bodenverbänden verantwortet, die per Satzung, Pachtverträgen und über konkrete Aktivitäten eng miteinander verbunden sind.

Gleichzeitig wird so eine genauere und verursachergerechte Zuordnung von Kosten möglich, die in der späteren Tarifikalkulation für Endnutzer notwendig und von Aufsichtsorganen gefordert ist.

Damit empfiehlt sich bei einer Projektumsetzung der Aufbau einer neuen Organisation als Wasser- und Bodenverband nach WVG und damit als Körperschaft des öffentlichen Rechts, zuständig für die Grundwasserbewirtschaftung sowie Bau und Betrieb der Infrastruktur und das entsprechende Rechnungswesen, und die Weiterentwicklung des WBV Rhader Bach/Wienbach hin zu einem Bewässerungsverband, der insb. die organisatorische Schnittstelle zu teilhabenden Landwirten ist. Die Trägerschaft des Vorhabens sollte in Abhängigkeit der bei einer Projektumsetzung tatsächlich forcierten Fördermöglichkeit bei einem der Verbände liegen (s. Abb. 6).

Zusätzlich empfiehlt sich für diesen landwirtschaftlichen Bewässerungsverband der Aufbau eines erweiterten **Dienstleistungsportfolios** für Landwirte. Dieses sollte im engen Austausch mit den bereits bestehenden Angeboten der Landwirtschaftskammer erfolgen.

Hervorzuheben sind an dieser Stelle die Empfehlungen der Universität Kassel bezüglich der Weiterentwicklung der gesamtheitlichen Beratungsleistung zu Bewässerung, Bodenbearbeitung, Kulturauswahl und Fördermöglichkeiten sowie der Bereitstellung von Bewässerungssoftware im Zusammenhang mit einem gemeinschaftlichen Sensornetz.

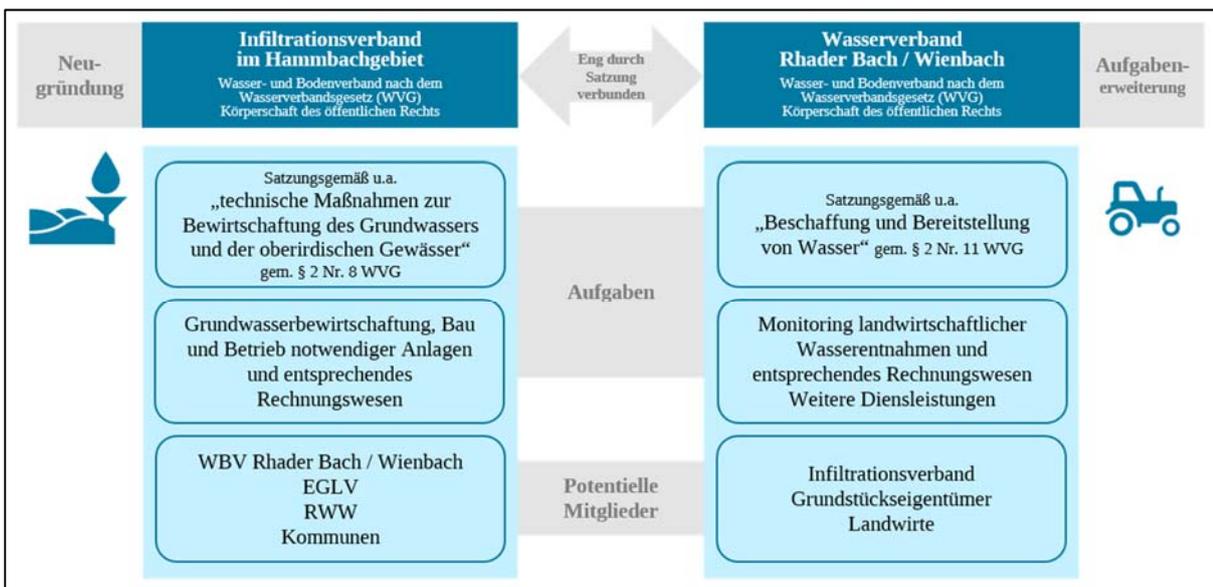


Abb. 6: Aufgabenteilung bei Aufgabentrennung von Bewässerungsverband und Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/ Wienbach; Quelle: Eigene Darstellung HRW

Eine besondere Herausforderung resultiert im Status Quo aus der fehlenden **Erfassung von landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen** aus eigenen Brunnen. Aktuell fehlen entweder die Wasserzähler oder deren Ablesung ist nicht ausreichend sichergestellt. Eine Einrichtung eines solchen Zählerwesens wäre sowohl zum Zwecke des **Monitorings** notwendig als auch die Grundbedingung für eine verursachergerechte Bepreisung und Abrechnung.

Gleichzeitig ergäben sich Entlastungen und Synergieeffekte insbesondere der Unteren Wasserbehörde. Hinsichtlich des Zählerwesens ist die relevante Expertise sowohl bei RWW als auch bei anderen Bewässerungsverbänden vorhanden.

In der Essenz sollte das **Trägerschaftsmodell Wasser- und Bodenverband** mit einer klaren Zuordnung der identifizierten Kernaufgaben frühzeitig installiert werden, während weitere Dienstleistungen und potentielle Nebentätigkeiten in einem kurz-, mittel- und langfristigen organischen Wachstum erfolgen können.

Eine Aufnahme dieser weiteren Dienstleistungen darf gleichzeitig in keinem Fall als rein optional verstanden werden. Neben dem Kostenanreiz sollten zur Förderung wassereffizienter Nutzung auch digitale Lösungen zur nachhaltigeren Bewässerung Eingang in die landwirtschaftliche Bewässerungspraxis finden. Die weitere Ausarbeitung der verbandlichen Organisation sollte in jedem Fall durch juristische Beratung begleitet werden, um die Ausgestaltungen rechtsicher im Interesse der Beteiligten durchzuführen bzw. den bestehenden WBV auf Grundlage der bestehenden Satzung weiterzuentwickeln.

Kosten und Finanzierung

Als Grundlage zur Modellierung eines statischen Finanzierungsmodells wurden die anfallenden Kosten in drei Gruppen unterteilt: **Entwicklungskosten**, **Investitions-** und **Kapitalkosten** sowie **Betriebskosten**. Die Entwicklungs- und Investitionskosten wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie durch die LW kalkuliert. Die Kapital- und Betriebskosten wurden mit Konsortialpartnern und Experten aus verschiedenen Branchen aus Erfahrungs- und Vergleichswerten ermittelt. Während die Kostenannahmen damit durch die verschiedenen Recherchen als belastbar anzunehmen sind, ist bspw. trotzdem das volatile Umfeld mit Blick etwa auf die Inflation zum Zeitpunkt von Vertragsschließungen in einer möglichen Umsetzungsphase, Herausforderungen in Lieferketten, Anpassungen von Zinssätzen u. ä. bei einer möglichen Projektrealisierung nach dem entsprechend aktuellen Stand zu bewerten.

Zur **Finanzierung** kommen grundsätzlich Projektfinanzierungen und/oder Kommunaldarlehen in Frage.

Durch das aus Großinvestoren-Sicht relativ geringe Investitionsvolumen sowie den innovativen Charakter des Vorhabens und dem damit verbundenen Fehlen von ähnlichen Projekterfahrungen, die für private Geldgeber als Blaupause und Informationsquelle zur Risikoabwägung für

den Kapitaleinsatz und die erwarteten Renditen genutzt werden können, gilt eine Projektfinanzierung als kaum umsetzbar.

Insofern wäre grundsätzlich eine Finanzierung durch Kommunaldarlehen anzustreben, womit, bei einer Eigenkapitalquote von rd. 10 – 20 %, eine Fremdkapitalfinanzierung durch Banken tendenziell in Frage käme.

Im Abgleich mit der Finanzierung von Anfangsinvestitionen anderer Bewässerungsverbände und potenzieller öffentlicher Fördermöglichkeiten der jüngeren Vergangenheit scheint eine staatliche Förderung des Projektvorhabens von größter Bedeutung. Der Anteil an einzubringendem Eigen- und Fremdkapital würde durch eine entsprechende Förderung zwar sinken. Im Sinne einer nachhaltigen Finanzierung sähen die Kalkulationen gleichwohl unverändert Abschreibungen in Höhe der Wiederbeschaffungswerte vor, um in der Zukunft auch für Ersatzinvestitionen gewappnet zu sein.

Die Kosten, die mit oder ohne eine Förderung des Vorhabens entstehen, sind so hoch, dass sie nicht alleine durch die aktuell bewässernden und auch nicht die perspektivisch bewässernden Landwirte zu tragen sein werden (s. Abb. 6). Bei der Kostenaufteilung zwischen Grund- und Mengenpreis wurde u.a. der Kostendeckungsgrundsatz berücksichtigt, sodass die fixen und variablen Erlöse in einem Verhältnis von 70 % zu 30 % denen der Kostenstruktur entsprechen. Diese Deckungsgleichheit von Erlös- und Kostenfunktion ist deshalb so bedeutend, weil zwischen den Jahren die Wassernachfrage seitens der bewässernden Landwirte in Abhängigkeit der Witterungsverhältnisse variieren wird. Wären hier die Wasserpreise rein variabel ausgestaltet, würde der Wasserverband in einem „Nassjahr“ Mindererlöse, in einem „Trockenjahr“ Überschüsse erzielen.

Im Abgleich mit landwirtschaftlichen Referenzzahlen zu den Kosten einer Bereitstellung für Bewässerungswasser (Literaturrecherche) bleibt es gleichwohl dabei: Die potenziellen Kosten für die Inanspruchnahme von infiltriertem Grundwasser übersteigen für einen einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb selbst im günstigsten Szenario die branchenüblichen Referenzzahlen. Die in Abbildung 7 dargestellten Zahlen beschreiben diese Kosten exklusive der auf dem Hof anfallenden Kosten für die Bewässerung

Dementsprechend ist es zu begrüßen, dass sich im Rahmen der Projektarbeit in der Partnerschaft nicht nur eine Lastenteilung im Bereich der fachlichen und technischen Aufgaben abzeichnete, sondern auch die Bereitschaft zu einer finanziellen Lastenteilung besprochen wurde.

Vom Grundwasserdargebot partizipieren nicht nur die teilhabenden Landwirte, sondern weitere Wassernutzer wie beispielsweise noch nicht bewässernde Landwirte, die Waldwirtschaft sowie Natur- und Biodiversitätsflächen im Projektgebiet. Inwieweit die Vorhalteleistung weiteren potenziellen Nutznießern in Rechnung gestellt wird, ist noch zu diskutieren.

Partizipieren Nutzenhabende von Beginn an der finanziellen Lastenteilung des Vorhabens, können sich auch die Beiträge von bewässernden Landwirten in leistbare Größenordnungen entwickeln. Einer Heranziehung von potentiellen Nutznießern durch positive externe Effekte sollte durch Dialog und Verhandlung erfolgen. Das Wasserrecht hält juristische Lösungsansätze bereit, wobei sich entsprechende Verfahren über lange Zeiträume erstrecken und weniger zielführend sein können.

	Szenario 1: Mindestbewässerung 1.722 ha 1.994.000 m ³ /a	Szenario 2: 4.840 ha 5.230.500 m ³ /a	Szenario 3: Maximalbewässerung 7.380 ha 8.143.500 m ³ /a
OHNE FÖRDERUNG	Grundpreis: 1.520 €/ha Mengenpreis: 57 ct/m ³	Grundpreis: 541 €/ha Mengenpreis: 21 ct/m ³	Grundpreis: 355 €/ha Mengenpreis: 14 ct/m ³
MIT FÖRDERUNG	Grundpreis: 1405 €/ha Mengenpreis: 52 ct/m ³	Grundpreis: 500 €/ha Mengenpreis: 20 ct/m ³	Grundpreis: 328 €/ha Mengenpreis: 13 ct/m ³

Abbildung 7 Statische Tarifmodelle bei Kostenträgerschaft durch Landwirte; Quelle: Eigene Darstellung HRW

Grundsätzlich führt eine statische Bepreisung der Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung zu Effizienzbestrebungen bei bewässernden Landwirten, da das Wasser, neben den schon bestehenden Energie-, Geräte- und Arbeitskosten, zunehmend zu einem ökonomischen Faktor in der Produktionsplanung von Landwirten wird.

Gleichzeitig scheint diese Veränderung noch nicht dem Ausmaß an Veränderungsdruck durch Klimawandelfolgen gerecht zu werden. Es ist zu erwarten, dass in Trockenjahren zwingend auf eine effiziente Wassernutzung zu achten ist, um die knappe Ressource Wasser möglichst vielen Landwirten zugänglich machen zu können.

Insofern ist zwingend auch eine dynamische Tarifmodellierung anzudenken, die sich im ersten Schritt auf den Zeitpunkt der Wassergabe sowie der verwendeten Technik fokussiert. Verdunstungsverluste könnten so etwa verringert werden.

Für die Bepreisung meldeten die Landwirte in Workshops zurück, dass positive Preissignale für effizientes Verhalten, also etwa Boni, negativen Signalen für ineffizientes Verhalten, also etwa steigenden Mengenpreisen, vorziehen würden.

Während klassische Wasserzähler für statische Tarife eine ausreichende Grundvoraussetzung darstellen, müssten für innovative dynamische Tarifmodelle intelligente Wasserzähler mit einem erhöhten Funktionsumfang (also etwa zusätzlicher Sende-, idealerweise einer Empfangsfunktion) verbaut werden. Die Umsetzungen dieser Effizienzreize über Preismodelle sowie der er-

höhten Transparenz von Grundwasserentnahmen würden dem Projekt tatsächlich Leuchtturmcharakter verleihen, denn: Die Bewässerungsnotwendigkeit wird bei begrenzterem Rohwasservorkommen nicht nur im Hammbachgebiet zunehmen.

In vielen Regionen in Deutschland wird sich zukünftig die Frage der Wasserallokation unter Nutzungskonkurrenz stellen. Eine Förderung wassereffizienten Verhaltens ganz wesentlich über dynamische Preise ist hier unverzichtbar.

3.5 Input der weiteren Projektpartner

Der Lippeverband (LV)

Für das Projekt *KlimaBeHageN* hat der Lippeverband die Antragstellung gegenüber der Fördergeberin DBU und Koordination der Partnerschaft übernommen. Die Motivation rührt nicht allein aus der gesetzlichen Zuständigkeit für die Regelung des Grundwasserstandes (Lippeverbandsgesetz § 2 Abs. 1 Nr. 4) und die Unterhaltung oberirdischer Gewässer und der mit ihnen in funktionellem Zusammenhang stehenden Anlagen (Lippeverbandsgesetz § 2 Abs. 1 Nr. 2). Vielmehr stellen für den LV die immer gravierender werdenden Auswirkungen der Klimaveränderungen auf die Wasserwirtschaft eine Herausforderung dar, auch für künftige Generationen den Wasserhaushalt so zu bewirtschaften, dass die Lebensgrundlagen in der Region erhalten bleiben.

In den zurückliegenden Hitzesommern waren viele Bäche von Trockenheit betroffen, die zuvor mit erheblichen öffentlichen Mitteln vom LV zu naturnahen Fließgewässern umgestaltet wurden. Anfragen Dritter an den LV zur Wiederverwendung von Klarwasser (behandeltem kommunalem Abwasser) oder an den Wasserverband Westdeutsche Kanäle WWK zur Wasserbereitstellung aus den Schifffahrtskanälen (die wiederum über Pumpwerksketten aus Fließgewässern gespeist werden) zeigen die Dringlichkeit von Lösungen für den Wassermangel und die Nutzungskonkurrenzen.

Aus den seit über 130 Jahren von Lippeverband und Emschergenossenschaft gemessenen Niederschlagsdaten hat sich gezeigt, dass die Verschiebung von Niederschlägen aus dem Sommer- ins Winterhalbjahr stattfindet. Dies legt eine geänderte Bewirtschaftung nahe, z.B. durch eine Grundwasseranreicherung in den niederschlagsreichen Monaten, um den Wasserhaushalt in der Vegetationsperiode stützen zu können. Damit kann im Hammbachgebiet – bei einer Umsetzung der erarbeiteten Lösungsansätze – erstmalig erprobt werden, ob sich ein solches Vorgehen als „Blaupause“ auch für andere Teileinzugsgebiete anbietet.

Allen Projektbeteiligten und auch den Vertretern verschiedener Institutionen im begleitenden Arbeitskreis ist klar, dass es gemeinschaftlicher Strategien bedarf, um den Naturhaushalt wie

auch die Landwirtschaft mit Wasser zu versorgen und die Trinkwasserversorgung sicher zu stellen. Die Landwirtschaft im Raum kann im bisherigen Umfang kaum weiterarbeiten, sondern muss sich an die sich ändernden klimatischen Bedingungen anpassen. Erste Schritte dahin können die Entwicklung eines regionalen Wassermanagements, verbesserte Bewässerungstechniken und eine andere Kulturauswahl sein. Nur sehr viel langsamer können sich Wälder, Moore und Naturräume an die sich verändernden Klimabedingungen anpassen.

Der LV sieht die Projektpartnerschaft als eine Initialzündung, neue Kooperationsformen zu entwickeln und in öffentlich-rechtlicher Partnerschaft Trägerstrukturen aufzubauen, die der gesellschaftlichen Verpflichtung einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung entsprechen.

Der **Landwirtschaftliche Kreisverband Recklinghausen** (WLV)

Der Landwirtschaftliche Kreisverband Recklinghausen im Westfälisch-Lippischen Landwirtschaftsverband (WLV) als freie Vereinigung der gesamten Landwirtschaft im Kreis Recklinghausen und in den kreisfreien Städten Bottrop und Gelsenkirchen vertritt und fördert die bäuerlichen Interessen im agrar-, wirtschafts- und gesellschaftspolitischen Bereich, in der Rechts-, Steuer-, Umwelt- und Sozialpolitik sowie auf dem Gebiet der Bildungs- und Kulturpolitik.

Der WLV steht für eine Landwirtschaft, die sich für den Schutz, die Pflege und Entwicklung von Landschaften und den Naturschutz einsetzt. Ziel ist die Erhaltung der ländlichen Region als Wirtschafts- und Kulturraum. Dafür ist im Zuge des voranschreitenden Klimawandels die Entwicklung resilienter Oberflächen- und Grundwasserkörper von besonderer Bedeutung. Bewässerungsmöglichkeiten und die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser im Naturhaushalt sind entscheidende Faktoren zur Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion. Die Bewässerung ermöglicht eine Verstetigung der Erträge und die damit einhergehende Minimierung von Nährstoffeinträgen führt auch zur Verbesserung der Grundwasserqualität.

Dabei gilt es für den WLV die Wettbewerbsfähigkeit in der Land- und Forstwirtschaft zu unterstützen und deren Nutzungsansprüche zu wahren. Im Projektgebiet liegen zahlreiche landwirtschaftliche Betriebe mit unterschiedlichen Nutzungsstrukturen, die eine regionale Lebensmittelproduktion sichern. Für das Gelingen des Gesamtvorhabens ist es die Aufgabe des WLV, die Interessen dieser Betriebe zu vertreten und eine ganzheitliche Betrachtung der Problemlage sowie realistische Lösungsansätze zu erwirken.

Dabei sind die Fragestellungen zur Ermittlung eines konkreten landwirtschaftlichen Wasserbedarfs zur Bewässerung, zu möglichen Einsparpotentialen sowie der gezielten Rückhaltung von Wasser in der Landschaft von besonderer Bedeutung für die Landwirtschaft. Zudem gilt es zukünftig Fragen hinsichtlich möglicher Organisations- und Finanzierungsstrukturen zu klären und Umsetzungsmöglichkeiten zu erarbeiten.

Projektergebnisse können in die Reihen der landwirtschaftlichen Mitglieder getragen werden, sodass der WLV als Multiplikator zu einer wirksamen Öffentlichkeitsarbeit beitragen kann.

Der **Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach** (WBV)

Der Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/ Wienbach (WBV) ist für die Gewässerunterhaltung im Projektgebiet liegender Fließgewässer zuständig. Zu diesen gehören die Oberläufe des Hammbachs und Rhader Bachs, der Schafsbach sowie kleinere Nebengewässer. Neben der Gewässerunterhaltung sind der Gewässerausbau, die Unterhaltung wasserwirtschaftlicher Anlagen und der Erhalt bzw. die Förderung der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer Aufgaben des Verbandes. Satzungsgemäß können auch Leistungen zur Be- und Entwässerung von Grundstücken dazu gehören. Grundsätzliches Ziel des Verbandes ist es außerdem, die Zusammenarbeit zwischen Landwirtschaft und Wasserwirtschaft sowie die Fortentwicklung von Gewässer-, Boden- und Naturschutz zu fördern.

Zunehmende Trockenphasen und ein steigender Wasserbedarf gehen zu Lasten der ökologischen Funktion der Fließgewässer. Der WBV ist daher bestrebt, an Maßnahmenstrategien mitzuwirken, die zur Erhöhung der hydrologischen und ökologischen Resilienz dieser beitragen. Ein Management, bei dem das Wasser im Raum gehalten wird, anstatt es über Vorfluter der Landschaft zu entziehen, ist aus Sicht des WBVs zunehmend von Bedeutung.

Im Rahmen des Projektes kann der WBV bei der konkreten Umsetzung von Wasserrückhaltemaßnahmen im Deutener Moor mitwirken. Zudem wird die Umsetzbarkeit der im Vorläuferprojekt erarbeiteten Maßnahmenvorschläge zur Verbesserung des Wasserdargebotes im Raum (u. a. durch die Stärkung des Grundwasserkörpers) begleitet und mitgestaltet. Dabei gilt es auch zukünftig zu eruieren, welche Rolle der WBV bei einer weiteren Projektumsetzung übernimmt. Dies betrifft insbesondere den Aufgabenbereich der Bewässerung.

Orientierung bieten dabei Erfahrungen von anderen Verbänden, wie Beregnung organisiert, verwaltet und geordnet wird, welche Strukturen für unsere Region übertragbar sind und welche Mitglieder bzw. Partner in einem zukünftigen Beregnungsverband zusammenarbeiten werden.

Über die Verbandsmitglieder können Prozesse und Informationen des Projektes gegenüber verschiedenen Stakeholdern in der Region kommuniziert und vermittelt werden.

Darüber hinaus möchte der WBV neue Vernetzungsmöglichkeiten ausschöpfen und bestehende stärken, um den klimawandelbedingten Herausforderungen gut vernetzt entgegenzutreten.

4 Öffentlichkeitsarbeit

Wie bereits beschrieben war die Arbeit der Projektpartnerschaft und hier insbesondere die Außenkommunikation vom Pandemiegeschehen beeinträchtigt. Durch z.B. ausfallende Termine politischer Gremien, öffentlicher Veranstaltungen und nicht zur Verfügung stehender Räumlichkeiten während der Lockdown-Phasen konnte diese Kommunikation nur begrenzt stattfinden.

Das Projekt wurde im Dorstener **Umwelt- und Planungsausschuss** mit Zwischenständen und abschließend am 28.03.2023 vorgestellt und diskutiert (auf Grundlage von hierfür erstellten Unterlagen). Die politische Beratung sollte auf Wunsch der Stadtverwaltung auch zu einer grundsätzlichen Zustimmung zu der Trasse und Versickerungsanlage wie in der Machbarkeitsstudie priorisiert sowie einem kommunalen Appell an alle Bürger und Betriebe zum sparsamen Umgang mit Wasserressourcen kommen. Insgesamt zeigt sich die Lokalpolitik engagiert und aufgeschlossen gegenüber einer wassersensiblen Stadtentwicklung.

Im September 2020 wurde die **Internetseite** www.klimabehagen.de als Unterseite des Lippeverbandsauftritts freigeschaltet und eine Basisinformation über das Projekt erstellt (auch in englischer Sprache als Download verfügbar). Die Projektpartner haben über die Webseiten ihrer Institutionen ebenfalls Links gesetzt. Insgesamt **fünf Newsletter** wurden im Projektverlauf publiziert, die **Fachbeiträge** der Partner sind ebenfalls als **Download** verfügbar sowie bei Veranstaltungen gezeigte **Poster** mit einem Überblick über das Vorhaben.

Die Poster auch zu den Partnerbeiträgen wurden zum „**Tag der offenen Tür**“ am RWW-Wasserwerk Dorsten-Holsterhausen am 08.05.2022 erstellt. *KlimaBeHageN* war mit einem Infostand auf dem Gelände präsent. Über 800 Besucher des Familienfestes informierten sich hier über Wasserthemen.

Weiterhin wurden in **Fachzeitschriften** Artikel publiziert (agrarheute 01/2021, gwf 03/2021, WLW-Mitgliederrundbrief 11/2020, EGLV-Portalnews zum „Tag des Wassers“ 22.03.2022) und in Fachrunden der Partnerinstitutionen Vorträge über das Projekt gehalten (z.B. LV-Forum Wissen 28.02.2022) und das Projekt auf der Lippeverbandsversammlung (25.11.2022) an einem Infostand den kommunalen und gewerblichen Akteuren der Lipperegion präsentiert.

Über eine intensive Prozessbeteiligung des **EU-LIFE-Netzwerk**vorhabens Evolving Regions haben der LV und die LWK die Arbeitsweise und ersten Erkenntnisse aus *KlimaBeHageN* über Workshops bereits im Nachbarkreis Coesfeld kommuniziert: Ziele dort sind nachhaltige, klimawandelangepasste Landnutzungsformen insbesondere in der Landwirtschaft, so dass großes Interesse an Ergebnissen aus Dorsten besteht. Der Prozess im Kreis Coesfeld wurde coronabedingt zwar im Wesentlichen auch digital abgewickelt, jedoch mit enger Taktung und professioneller Moderation. Die geknüpften Kontakte werden auch nach beiden Projektenden durch den LV und die LWK weitergeführt.

Während der Befragungsphase der landwirtschaftlichen Betriebe durch die LWK sollte ursprünglich begleitende **Pressearbeit** stattfinden. Um jedoch Vorbehalten zuvorzukommen, dass die z.T. sensiblen Betriebsdaten publik werden könnten und dadurch Rückmeldungen der Betriebe zu gefährden, hat die Partnerschaft einvernehmlich beschlossen, die Phase zugunsten besserer Befragungsergebnisse ohne Pressearbeit durchzuführen.

Um die betroffenen Landwirte über das Projektvorhaben zu informieren, wurde ein Newsletter an die WLV-Mitglieder versandt.

Insgesamt stellte sich Öffentlichkeitsarbeit in diesem Thema als schwierig heraus, dies zeigten auch z.T. kontroverse Diskussionen der Besucher untereinander am Infostand beim o.g. „Tag der offenen Tür“:

Das berechnete Interesse der Landwirte an Grundwassernutzungen trifft in der öffentlichen Auseinandersetzung auf Unverständnis für sichtbare, großflächige Beregnung, während gleichzeitig Privathaushalten im Sommer bereits Einsparempfehlungen gegeben werden. Diese Diskussion ist – wenngleich auf niedrigem Niveau – ein Zeichen für die potenzielle künftige Auseinandersetzung über Privilegierungen bei der Wasserzuteilung, die ohne gegensteuernde Maßnahmen in Trockenjahren drohen können.

Mit der hybrid veranstalteten **Abschlusskonferenz** am 27. Februar 2023 ist formal das Projektende erreicht und nach förmlicher Freigabe des Abschlussberichtes durch die Fördergeberin DBU kann dieser publiziert werden.

Für die *KlimaBeHageN*-Partner bleibt die Herausforderung, nach Projektabschluss die erzielten Ergebnisse im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft zu kommunizieren und hierbei die unterschiedlichen Interessensgruppen adäquat zu adressieren.

Die Stadt Dorsten unterstützt dabei auch nach Projektende die Partner, über die laufenden **Dorfentwicklungsprozesse** in den Ortsteilen Rhade und Lembeck die Ergebnisse in die bürgerschaftliche Diskussion zu bringen.

Eine Verlinkung der Projektergebnisse wird nach vollständigem Projektabschluss über eine neue **Wikipedia**-Seite zum Hammbach erstellt und bietet so die Möglichkeit, auch über weitere Verlinkungen das Thema bzw. die Projektergebnisse dauerhaft zu publizieren.

Der nächste Schritt – auch mit Blick auf die Öffentlichkeit – ist im Idealfall die Umsetzung der erarbeiteten Lösungsansätze. Dabei kommen im Jahr 2023 sehr konkret auf die Landwirte bzw. die sie betreuenden Institutionen die Fragen der **Schulung** und **Bewusstmachung** von Verhaltensänderungen in Richtung nachhaltigem Bewässerungseinsatz oder Kulturenauswahl zu.

Hier sieht die Projektpartnerschaft auch die **Landespolitik** in NRW in der Pflicht, sowohl in der Kommunikation wie auch bei konkreten (investiven) Maßnahmen unterstützend tätig zu werden.

5. Fazit und Ausblick

Mit der Förderantragstellung bei der DBU zielte das Projekt auf die Erfüllung der Anforderungen der DBU ab: „Geförderte Projekte sollen **nachhaltige Effekte in der Praxis** erzielen, **Impulse** geben und eine **Multiplikatorwirkung** entfalten. Die DBU unterstützt die Kommunikation und Verbreitung der Projektergebnisse und bringt sie in die Diskussionsprozesse über die **zentralen Herausforderungen des Umweltschutzes** ein.“

Die *KlimaBeHageN*-Partner haben sehr unterschiedliche Hintergründe und Motivationen, da jeder andere Interessensgruppen repräsentiert. Allen gemeinsam ist die erkannte Handlungsnotwendigkeit einer zukunftsgerichteten Ressourcenbewirtschaftung. Nach nunmehr drei Jahren der Zusammenarbeit – von der Antragserarbeitung bis zum förmlichen Projektabschluss – stehen die konkreten Projektergebnisse als Gemeinschaftswerk auch zur öffentlichen Diskussion über erforderliche weitere Schritte. *KlimaBeHageN* adressiert mit den Lösungsansätzen sehr aktuelle und zeitnah anzugehende „**zentrale Herausforderungen des Umweltschutzes**“. Die Erkenntnisse aus dem Projekt sind nachfolgend zusammengefasst.

FAZIT 1

Konkrete Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung der Daseinsvorsorge sind nur im Schulterschluss aller Akteure und unter Einbeziehung der Zivilgesellschaft möglich.

Um tragfähige Lösungen für Landwirtschaft, Naturhaushalt und Trinkwasserversorgung zu etablieren bedarf es intensiver Kommunikation sowie transparenter Strukturen und Finanzierungsmodelle. Eine transparente Ausgestaltung von Steuerung und Monitoring stellt eine wichtige Basis für eine faire Verteilung und nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers dar. Der Umbau bestehender Strukturen zu einer Bewässerungs-Solidargemeinschaft, an der sich alle Akteure beteiligen, hat eine starke Wirkung auch außerhalb des Gebiets und sendet politische Signale zu verantwortungsbewusstem, nachhaltigem Umgang mit unseren Ressourcen.

Durch die erarbeiteten ingenieurbaulichen Maßnahmen entstehen Kosten, die von den profitierenden Nutzern zu tragen sind. Das können nicht nur (Grund-) Wasserentnehmer sein, sondern auch andere Begünstigte von Grundwasserstandserhöhungen wie z.B. das Land für die Feuchtgebiete und die Waldbesitzer oder wie im hier vorliegenden Fall der Bergbau (wenn z.B. weniger Aufwendungen zur Regulierung von Vorflutschäden entstehen). Am Beispiel des seit 30 Jahren erfolgreich wirtschaftenden Beregnungsverbandes Hessisches Ried mit seinen rund 180 Mitgliedern wird deutlich, dass Kostentransparenz und Versorgungssicherheit geschätzte Servicekomponenten sind, zumal wenn Mitglieder über öffentlich-rechtliche Verbandsstrukturen auch noch ein gewisses Mitspracherecht haben. Auch dortige Erfahrungen und Strukturen sind nicht eins-zu-eins übertragbar, bieten jedoch praxisnahes Wissen und einen Orientierungsrahmen beim Aufbau von Servicestrukturen.

Die Wasserbewirtschaftung ist in ihrer Bedeutung für gesamtgesellschaftliche Belange in besonderem Maße prädestiniert, Aufgaben in öffentlich-rechtlicher Partnerschaft zu organisieren und Kosten über eine Solidargemeinschaft zu regeln. Bis zum **Aufbau einer Organisationsstruktur** und im Folgenden eine bauliche Umsetzung von Infrastruktur bedarf es jedoch zeitnah konkreter „no regret“-Maßnahmen.

Die DBU-Anforderung „**Impulse** [zu] *geben und eine Multiplikatorwirkung* [zu] *entfalten*“ ist von *KlimaBeHagen* erfüllt worden. Das Feedback der landwirtschaftlichen Betriebe im Verlaufe der Befragung und Zusammenarbeit ging deutlich in die Richtung, dass zugunsten des Erhalts der naturräumlichen und wirtschaftlichen Existenzgrundlagen Handlungserfordernisse gesehen und Initiativen begrüßt werden. Die hier gesetzten Impulse und die Bereitschaft zum Umdenken, Zusammenarbeiten und die im Folgenden zu entwickelnden Strukturen sind als Muster für weitere Kooperationsvorhaben beim Grundwassermanagement geeignet.

Die Übertragbarkeit von *KlimaBeHageN*-Lösungsansätzen auf Regionen mit ähnlichen Herausforderungen ist allerdings wegen oft unterschiedlicher Rahmenbedingungen nicht eins-zu-eins sinnvoll bzw. möglich. Der „Dreiklang“ aus

- Wasser in der Landschaft zurückhalten und Niederschlagsversickerung forcieren,
- Bewirtschaftung umstellen (wie Technik, Bodenbearbeitung, Kulturenauswahl) und
- Stärkung der Grundwasserkörper durch Speisung aus Oberflächengewässern in niederschlagsreicheren Monaten

kann jedoch in unterschiedlicher Priorisierung bzw. Intensität auf viele Problemregionen übertragbar sein, denn Wassermangel ist eine wachsende und interdisziplinäre Herausforderung. Da Baumaßnahmen einen langen Vorlauf haben und zeitverzögert wirken, sind vor allem zeitnahe Bewirtschaftungsumstellungen, lokaler Wasserrückhalt und Niederschlagsmanagement auf allen geeigneten Flächen (unterschiedlicher Eigentümer) eher möglich, durch eine Vielzahl von Akteuren umsetzbar und vor Ort auch unmittelbar spürbar.

Auf der konkreten Projektebene bedeutet dies, dass die *KlimaBeHageN*-Akteure auch nach förmlichem Projektende weiter vor Ort an den Lösungen arbeiten werden, aber deutlich verstärkt Lokalpolitik, Flächeneigentümer, Naturschutz, Bergbau, Behörden und Stakeholder „mitnehmen“, um ganzheitlich praktische Lösungen umzusetzen. Eine Technische Lösung scheint hier vor Ort jedoch notwendig. Die Partner sehen überdies die Notwendigkeit, grundsätzlich regionale Wassermanagementkonzepte zu etablieren.

FAZIT 2

Die Behörden müssen in die Lage versetzt werden, ein regionales Wassermanagement aktiv zu begleiten.

Dazu ist die Bereitstellung entsprechender Ressourcen und Steuerungsinstrumente und die Mitwirkung auch über den administrativen Zuständigkeitsbereich bei „grenzüberschreitenden“ Grundwasserkörpern hinaus notwendig.

Zu den Ressourcen und Steuerungsinstrumenten gehören:

- eine deutliche Verbesserung der Datenlage und Werkzeuge zur Prognose des Wasserhaushalts,
- das Monitoring von Wasserentnahmen ,
- eine Synchronisierung des Vorgehens auf Bundes- und Landesebene,
- Leitlinien für den Umgang mit Wasserknappheit,
- einschließlich von Regeln und Kriterien für die Priorisierung sowie Anreize – inklusive preislicher Anreize – und Mindeststandards für eine effiziente Wassernutzung nach einem noch zu entwickelnden Stand der Technik zu schaffen.

Bei einem gesicherten Monitoring wären auch dynamisch gestaltete Entnahmeregelungen zielführend. Sie helfen, dass Ressourcen nicht übernutzt werden, gleichzeitig aber bestehende Rechte nicht zu Lasten anderer „gebunkert“ werden. Das Ziel muss sein: Bei einem knappen Gut Wasser sollten alle Stellschrauben genutzt werden, das vorhandene Wasserdargebot effizient zu nutzen. Nur so lässt sich eine maximale Anzahl an Nutzern für die unterschiedlichsten Zwecke bedienen.

Für die seitens der DBU geforderten „**nachhaltigen Effekte in der Praxis**“ sind die *KlimaBeHageN*-Akteure auf Kooperationen und Unterstützung seitens der lokalen Behörden (Bezirksregierung, Untere Wasser- und Untere Naturschutzbehörde) angewiesen, die nicht nur für Genehmigungen konkreter baulicher Eingriffe zuständig sind, sondern auch für das Grundwassermonitoring und die Erteilung der Entnahmerechte. In der Umweltministerkonferenz vom 25.11.2022 wurde bereits die unzureichende Datenlage vieler Behörden bundesweit konstatiert. Eine solide Datenbasis ist jedoch maßgeblich für effektive Verbesserungen im Wasserhaushalt, doch nicht nur in NRW stellt sich diese Datenlage in Behörden als defizitär heraus. Für *KlimaBeHageN* haben die hier involvierten Wasserbehörden Interesse bekundet, sich z.B. an überregionalen Projekten zum Aufbau von Datenbanken und Austausch von Erfahrungen bei Erfassung, Steuerung, und Kommunikation zu beteiligen. Ohne eine strukturierte, digitale Datenerfassung und den Aufbau von Datenbanken zum Grundwassermanagement sind auch Initiativen Dritter – wie *KlimaBeHageN* – nicht effizient umsetzbar. Die Partner wollen die Behörden aktiv unterstützen: mit Bereitstellung eigener Daten, mit ggf. gemeinsam zu stellenden Förderanträgen und in der weiteren, vertrauensvollen Kooperation. Darüber hinaus müssen dennoch sehr praktische Maßnahmen stattfinden, um die konkreten Probleme im Projektgebiet anzugehen.

FAZIT 3

Die Versickerung von Wasser aus dem Blauen See (bzw. Hammbach) ist die wirkungsvollste Maßnahme zur Vergrößerung des nutzbaren Wasserdargebotes. Sie ist technisch machbar und ökologisch verträglich.

Die Umsetzbarkeit der technischen Maßnahmen zur Erhöhung des Grundwasserdargebotes wurde mit der durchgeführten Machbarkeitsstudie bestätigt. Der Bau einer Versickerungsanlage ist ein wichtiger Bestandteil eines mehrschichtigen Maßnahmenkonzeptes zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung. Die Versickerung hat gegenüber dem Bau eines Verteilungsnetzes mit Zapfstellen den Vorteil, dass Feuchtgebiete direkt davon profitieren können, ohne dass zusätzliche Infrastruktur erforderlich wird. Von dem Vorhaben profitieren deshalb der Landschaftswasserhaushalt und alle Grundwassernutzer gemeinsam.

Der Grundwasserkörper eignet sich besonders als Wasserspeicher, denn es herrschen kaum Verdunstungsverluste und er bietet eine hohe Flexibilität für alle Nutzer und Nutzungsarten. Zur zeitnahen Verbesserung des Grundwasserdargebotes sind darüber hinaus weitere Maßnahmen wichtig wie: Beratungsangebote für die Landwirtschaft, die Prüfung der Notwendigkeit vorhandener Gräben und Dränagen sowie die Ermittlung von besonders abflusswirksam bewirtschafteten Flächen, um dort Rückhaltmaßnahmen umzusetzen. Des Weiteren ist Regenwasserversickerung ein wichtiger Beitrag zur Stärkung des Grundwasserdargebotes.

FAZIT 4

Flächeneigentümer und öffentlich-rechtliche Institutionen müssen alle abflusswirksamen Maßnahmen auf den Prüfstand stellen und den Rückhalt in der Fläche konsequent umsetzen

Zeitnahes Handeln erfordert eine Reihe von „no-regret“-Maßnahmen in den jeweiligen Zuständigkeitsbereichen. Die geschilderte Dringlichkeit von Lösungen erfordert aus Sicht der Partnerschaft ein Handeln, das zeitnah positive Wirkungen zeigen kann. Die Gründung einer neuen öffentlich-rechtlichen Struktur auf Grundlage eines finanziellen Commitments, die genehmigungs- und umsetzungsreife Planung einer neuen Infrastruktur und deren bauliche Realisierung mit anschließend (verzögert wirksamer) Infiltration – bis zur faktischen Wirksamkeit von Maßnahmen wird es auch bei größter Anstrengung und Unterstützung aller Akteure mehrere Jahre dauern.

Insofern bedarf es eines schrittweisen Handelns, das „no regret“-Maßnahmen beinhaltet, die im Vorgriff auf diese Infrastruktur zeitnah umgesetzt und wirksam werden können. Auch diese Aktionen bedürfen eines Schulterschlusses unterschiedlicher Akteure und aktiv Handelnder vor Ort.

Für landwirtschaftliche Betriebe ist die aktuelle Bewässerungspraxis (sowohl in Bezug auf die Bewässerungsmenge als auch auf die verwendete Infrastruktur) nicht zukunftsfruchtig. Die Betriebe und die landwirtschaftlichen Interessensvertreter wollen die gelebte Praxis stetig weiterentwickeln. Über Schulungen und Anschauungsmaterial (innovative Bewässerungstechnik, Nutzung digitaler Services, etc.) können kurz- und mittelfristig betriebswirtschaftliche Effekte generiert werden, die den Wasserverbrauch optimieren.

Zudem ist die mehrfach beschriebene Notwendigkeit der verbesserten Datenlage auch Teil der Wissensvermittlung, um über ein digitales Messsystem mit Kommunikation in beide Richtungen z.B. die Entnahmesituation transparent zu machen und (preisliche) Anreizsysteme aufzubauen.

So wird beispielsweise im Hessischen Ried den bewässernden Betrieben über das Entnahmemonitoring bei Engpässen per SMS automatisch signalisiert, dass Knappheit herrscht und wie aktuell mit der Bewässerung zu verfahren ist. Damit wird auch die gemeinschaftliche Verantwortung für die Ressourcen deutlich. Preissysteme helfen, notwendige Investitionen von Landwirten oder auch anderen Entnehmern zu refinanzieren

Insofern ist es auch eine „no-regret-Maßnahme“, im Rahmen eines regionalen Wassermonitorings die Transparenz bezüglich der Entnahmen mittels geeigneter Zähler voranzutreiben.

Diese Transparenz unterstützt die Behörden bei der sachgerechten und angemessenen Vergabe von Entnahmerechten. Daneben stärkt es das Gerechtigkeitsempfinden, dass tatsächlich im Sinne aller wassersparend gehandelt wird. Zuletzt ist diese Transparenz nötig, um Anreizsysteme im Sinne der Belieferung möglichst vieler aufbauen zu können.

Die praktischen Verdämm-Maßnahmen im Deutener Moor und das nachfolgende Monitoring haben schon frühzeitig gezeigt, dass abflussreduzierende Maßnahmen im nahen Umfeld den Grundwasserspiegel positiv beeinflussen. Insofern ist die logische Konsequenz, im Projektgebiet systematisch zu erfassen, wo Gräben oder Bewirtschaftungsweise eine dränende Wirkung entfalten und hier gemeinsam durch Flächeneigentümer wie auch wasserwirtschaftliche Akteure den **Rückhalt in der Landschaft** praktisch umzusetzen. Hierzu adressiert die Partnerschaft auch Lokalpolitik und Kommunalverwaltung (Schwerpunkt Planung/Tiefbau), die Weichen für eine geänderte Niederschlags- und Flächenbewirtschaftung zu stellen.

Die Analyse von Rückhaltmaßnahmen in der Landschaft und Versickerung von Niederschlägen auf abflusswirksame Flächen (anstelle der Ableitung im Abwasserkanalsystem) sind zeitnah möglich und wirkungsvoll. Hier müssen Flächen- und Gebäudebesitzer adressiert und sensibilisiert werden, idealerweise mit Hilfestellungen über Förderprogramme. Gleichzeitig muss die Gewährleistung des sicheren Wasserabflusses in niederschlagsreichen Zeiten und bei Hochwassergefahr beachtet werden.

Ausblick

Auf der übergeordneten Ebene der Landes- und Bundespolitik zeichnen sich aktuell Entwicklungen ab, die aus Sicht der Projektpartnerschaft in eine lösungsorientierte Richtung weisen. Die deutsche Umweltministerkonferenz hat am 25.11.2022 die ungleiche Ausgangslage in den Bundesländern vor dem Hintergrund der zurückliegenden „Dürrejahre“ bereits in Beschlüsse einfließen lassen, die vor allem die Datenlage und Steuerungsinstrumente bei den Wasserwirtschaftsbehörden adressieren: Eine deutliche Verbesserung der Datenlage zur Prognosefähigkeit der Wasserhaushaltsanalysen, eine Synchronisierung des Vorgehens auf Bundes- und Landesebene, das Nachverfolgen von Wasserentnahmen und Entnahmemonitoring, Leitlinien für den Umgang mit Wasserknappheit einschließlich von Regeln und Kriterien für die Priorisierung sowie Anreize und Mindeststandards für eine effiziente Wassernutzung nach einem noch zu entwickelnden Stand der Technik zu schaffen.

*„Gemeinsam mit den Ländern sollte eine **Kommunikationsstrategie „Wasser“** aufgesetzt werden, um das notwendige Bewusstsein zum sparsamen Umgang mit der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Ressource Wasser in allen relevanten Sektoren und der Bevölkerung zu schaffen.“*

Der durch diese Beschlüsse eingeleitete gesetzgeberische Prozess deutet in dieselbe Richtung wie die seitens *KlimaBeHageN* erarbeiteten Strategien und Maßnahmenvorschläge, wenngleich nicht alle UMK-Beschlüsse eins-zu-eins die Interessenslage aller Partner widerspiegeln.

Die Partner sehen bereichsübergreifend die Notwendigkeit, grundsätzlich regionale Wassermanagementkonzepte zu etablieren. Zu diesen sollten folgende Punkte gehören:

- Ein entscheidender Punkt ist Wissen – für die Umsetzung der Fähigkeiten der landwirtschaftlichen Betriebe zur angepassten Kulturenauswahl und Flächenbewirtschaftung, der Einschätzung von Effektivität und dem jeweiligen Ressourcenbedarf unterschiedlicher alter/neuer Bewässerungstechniken. Es besteht erhebliches Potenzial für Entwicklungsmöglichkeiten traditioneller Landbewirtschaftung hinsichtlich einer Anpassung an die zunehmenden klimatischen Herausforderungen. Dieses Wissen muss von geeigneter Seite, idealerweise den landwirtschaftlichen Interessensvertretungen, vermittelt werden. Zusätzlich bedarf es für eine erfolgreiche Umsetzung struktureller Unterstützung und eine langfristige Planungssicherheit. Das bereits bei der Landwirtschaftskammer vorhandene Fachwissen soll intensiviert und fokussiert auf praxisrelevante Beratungsstrategien zu energie- und wassersensiblen Wirtschaftsweisen gerichtet werden; im Idealfall sind dies dann kostenfreie Fortbildungen (vorzugsweise mit Unterstützung durch die Fachministerien des Landes NRW).

- Wissen und **Datengrundlagen** sind auch für die Wasserwirtschaftsbehörden ein zwingend zu verbessernder Punkt. Die bereits bei der Umweltministerkonferenz im November 2022 beschlossene Unterstützung und Stärkung der Datenerfassung, des Monitorings und der rechtlichen Möglichkeiten von Wasserbehörden muss zügig und auf allen Ebenen forciert werden – dazu bedarf es dort auch personeller Ressourcen. Datenerfassung und -verwaltung (sowie spätere anreizkompatible Bepreisung) müssen transparent und nachvollziehbar sein und es muss eine umfassende Kommunikation insbesondere gegenüber den Wassernutzern stattfinden. Die *KlimaBeHageN*-Partner wollen die Behörden unterstützen und gemeinsam die Entwicklung eines regionalen Wassermanagements voranbringen. Dazu gehört auch die Identifikation geeigneter Erfassungs- und Verwaltungssysteme (wobei eine einheitlicher Zählerinfrastruktur für alle Nutzer im Gebiet zielführend ist).
- Auf Grundlage der schon vorliegenden wasserwirtschaftlichen Daten z.B. des LV und WBV, der Kenntnisse der im Projektgebiet gelegenen Landeigentümer (Landwirte, Stadt Dorsten, RVR, etc.) und Akteuren des Naturschutzes können sukzessive Standorte erfasst werden, wo Gräben oder Bewirtschaftungsweise eine dränende Wirkung entfalten und hier durch einfache Mittel der **Rückhalt in der Landschaft** praktisch umgesetzt werden kann. Die Maßnahmen können durch begleitende Beratung (z.B. durch die LW auf Grundlage der im Projekt erarbeiteten Datengrundlagen) dezentral von den Flächeneigentümern in eigener Verantwortung – und zu ihrer eigenen Existenzsicherung – umgesetzt werden. Im Idealfall sind solche Maßnahmen schon binnen einer Vegetationsperiode (wie im Falle Deutener Moor nachgewiesen), wenngleich oft nur kleinräumig wirksam. Es wird hier im Idealfall über die Zeit einen Schneeballeffekt geben, wenn positive Wirkungen für Dritte sichtbar sind. Hierfür ist auch Unterstützung durch die Lokalpolitik erforderlich, weil die Stadt Dorsten initiativ werden will und für ihre Eigentumsflächen konkret handeln kann. Darüber hinaus hat die Stadt Dorsten bereits eine Starkregengefahrenkarte für ihr Stadtgebiet erarbeitet, die Fließwege und Rückhalteräume aufzeigt.
- Die **Abkopplung** möglichst vieler (bislang an die Abwasserkanalisation angeschlossener) Dächer und anderer abflusswirksamer Flächen im Siedlungsraum und die lokale Versickerung des Niederschlagswassers kann weitere positive Effekte für das Grundwasser haben. Ziel ist eine „wassersensible Stadtentwicklung“. Die Stadt Dorsten plant, unterstützt durch den Lippeverband (bzw. deren Service-Organisation der Zukunftsinitiative „Klima.Werk“), über das Förderprogramm „Klimaresiliente Region mit internationaler Strahlkraft“ des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Verkehr, eine Studie zur Festlegung von sogenannten Betrachtungsräumen (bzw. mindestens einem Betrachtungsraum) erstellen zu lassen. In diesen Räumen sollen bis zum Jahr 2030 durch verschiedenste Klimaanpassungsmaßnahmen 25 % der befestigten Flächen von der Mischwasserkanalisation abgekoppelt werden. Dies wird sich u.a. positiv auf die Neubildung

des Grundwasserdargebotes auswirken. Ideal wäre eine Schwerpunktsetzung auf den Ortsteil Rhade im *KlimaBeHageN*-Betrachtungsraum. Dabei dürfen die ordnungsgemäßen Abflussverhältnisse nicht gestört werden

- Querschnittsorientiert muss das Thema „**Kosten-Nutzen**“ eine Rolle spielen: Betriebswirtschaftliche Konsequenzen entstehen für die Landwirtschaft kurz-, mittel- und langfristig und bei Schaffung neuer Organisationsstrukturen für die Infrastrukturbewirtschaftung. Wer trägt wann welche Kosten, wer partizipiert direkt und indirekt? Es muss finanzielle Anreize zum (energie- und) wassersensiblen Bewirtschaften geben. Nur Appelle sind wirkungslos.

In diesem Zusammenhang ist der **Aufbau eines Zählersystems** von immanent wichtiger Bedeutung um Entnahmen nachzuhalten und zu bepreisen. Wasserentnehmer erhalten so Anreize, wassereffizientere Betriebspraktiken oder/und Investitionen anzudenken, die im Ergebnis in der Wasser- und Stromrechnung wirksam sind. Aus einem „weniger“ an Wasserbezug (viele Einzelner) könnte so ein „mehr“ an Wasserentnahmerechten (für bisher nicht bewässernde Betriebe) werden. Der angestrebte Mix aus technischen Lösungen, Monitoring, Information und preislichen Anreizen ist somit nicht nur relevant für das Hambach-Gebiet, sondern gleichfalls für andere Regionen mit Wassermangel.

Im Idealfall werden den Akteuren auch über die NRW-Landesministerien Ressourcen bereitgestellt, um schon die „no regret“-Maßnahmen zu monitoren und zu evaluieren.

Der Vollständigkeit wegen muss an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass u.a. mit Wirkung auf Dorstener Stadtgebiet gegenwärtig zwei Trassenbestimmungsverfahren auf Bundesebene laufen (für eine Wasserstoff-Fernleitung und eine Höchstspannungsleitung), deren Ausgang und infolgedessen die Auswirkungen auf wasserwirtschaftliche Belange nicht abschätzbar sind. Mehrere *KlimaBeHageN*-Partner sind Träger öffentlicher Belange und werden daher im Verfahren gehört.

Aus dem vorgenannten Ausblick ergeben sich folgende Handlungsoptionen:

- Die **Projektpartner Lippeverband, RWW, LWK, WLW und WBV** konstituieren eine AG, um die Realisierung der Projektergebnisse voran zu treiben. Als erster Schritt könnte gemeinsam mit den Wasserwirtschaftsbehörden die Entwicklung eines regionalen Wassermanagements begonnen werden.
- Der **Lippeverband** erarbeitet mit der Stadt Dorsten die Studie zur Festlegung von Betrachtungsräumen für die Niederschlagswasserabkopplung. Die politischen Gremien sind hierüber bereits informiert. Eine Umsetzung findet im Anschluss mit bereits erworbenen Fördermitteln statt.

- Die **Landwirtschaftskammer** weitet ihr Fortbildungsportfolio aus und bietet spezifische Schulungen und Informationsveranstaltungen zu wassersensiblen Bewirtschaftungsweisen an.
- Der **Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach (WBV)** behandelt die Thematik des Wasserrückhalts in der Fläche kontinuierlich in den Außenkontakten mit den Mitgliedern (= Flächeneigentümern) vor Ort.
- Die **Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH RWW** erweitert das Grundwassermonitoring und stellt weiterhin wasserwirtschaftliche Daten zur Konkretisierung des Projektes zur Verfügung. Außerdem hat RWW ein innovatives Monitoringsystem für Wasserleitungen entwickelt, das ein großes Potenzial zur Vermeidung unerwünschter Wasserverluste bietet.
- Der **Landwirtschaftliche Kreisverband Recklinghausen e.V. (WLV)** und der **Lippeverband** bemühen sich um die Akquisition von Fördermitteln und die Gesamtfinanzierungsstruktur der ingenieurtechnischen Umsetzung der Grundwasseranreicherung. Diese ist Voraussetzung für weitere Schritte im Schulterschluss der Akteure, d.h. auch weitergehende Aufträge (Gutachten, Planung, Bau) oder organisatorische Schritte zur Vorbereitung der Umsetzung durch wasserverbandliche Aufgabenträger.
- Die **Stadt Dorsten** wird u.a. durch die vorgenannten Kontakte des Lippeverbandes in die weitere Umsetzung von „no regret“-Maßnahmen eingebunden. Ziel ist eine Selbstverpflichtung, bzw. ein Auftrag der Politik an die Verwaltung, im Sinne der Ergebnisse dieses Berichtes zu kooperieren und zu agieren.

6. Input der Abschlusskonferenz 27.Februar 2023

Das Projekt endete am 27.02.2023 mit der hybrid veranstalteten Abschlusskonferenz in den Räumlichkeiten des Lippeverbandes in Essen. Den rund 100 Teilnehmern in Präsenz und digital wurden die Projektergebnisse der Partner vorgestellt und diskutiert.

Die digitalen Teilnehmer hatten über den Chat die Möglichkeit, wie die Präsenz-Teilnehmer auch Fragen bzw. Diskussionsbeiträge zu formulieren, die in der Veranstaltung aufgegriffen wurden. Zusammenfassend werden einige der aufgeworfenen Fragen hier behandelt, wobei einige Aspekte im vorliegenden Bericht bereits vertieft wurden und daher nicht in Gänze als Diskussionsthema wiedergegeben sind.

Wunschgemäß werden die gezeigten Präsentationen auch als Download bereitgestellt.

Programm 27. Februar 2023

09:00 Uhr	Begrüßung	Prof. Dr. Burkhard Teichgräber (Lippeverband und Wasserverband Westdeutsche Kanäle)
09:10 Uhr	Moderation/ Organisatorisches	Michael Getta/Kirsten Adamczak (Lippeverband)
09:15 Uhr	KlimaBeHageN als Förderprojekt der DBU: Welche Erwartungen hat die DBU und mit welchen Projekten und Instrumenten verfolgt sie diese Erwartungen und Ziele?	Dr. Volker Wachendörfer (DBU, virtuell zugeschaltet)
09:25 Uhr	Analyse der landwirtschaftlichen Strukturen, Bewässerungspraxis und -bedarfe im Projektgebiet in Dorsten: Ergebnisse des landwirtschaftlichen Fachbeitrages	Melanie Wilmer-Jahn (Landwirtschaftskammer, virtuell zugeschaltet)
09:50 Uhr	Alternativen der Landbewirtschaftung (Kulturen, Bewässerungstechniken, Management): Was kann und muss sich ändern, um künftig Landwirtschaft im Projektgebiet weiter zu ermöglichen?	Michael Hesse (Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik)
10:15 Uhr	Fragerunde / Verständnisfragen	
10:30 Uhr	Kurze Pause	
10:45 Uhr	Maßnahmen zur Stärkung des Grundwasserhaushalts und Bereitstellung von Bewässerungsressourcen für die Landwirtschaft; Ergebnisse der Machbarkeitsstudie	Dr. Johannes Meßer (Lippe Wassertechnik)
11:10 Uhr	Modelle zur Organisation und Finanzierung von wasserwirtschaftlichen Dienstleistungen	Prof. Mark Oelmann, Sven Hery (Hochschule Ruhr-West, Mülheim)
11:35 Uhr	Erwartungen und Motivation der beteiligten Projektpartner: Warum ist KlimaBeHageN uns wichtig?	Wolfgang König (Landwirtschaftlicher Kreisverband Recklinghausen e.V.) Nina Schneider (Wasserverband Rhader Bach/Wienbach)
11:50 Uhr	Diskussions- und Fragerunde	
12:30 Uhr	Input der NRW-Behörden: Wie gehen wir mit den Erkenntnissen und Empfehlungen aus KlimaBeHageN um?	Alexander Perli-Schwarz, Bez.-Reg. Münster (wg. Erkrankung Nachreichung im Anhang)
12:45 Uhr	Fazit, Ausblick, „Lessons learned“	Michael Getta (Lippeverband), Prof. Dr. Burkhard Teichgräber
13:00 Uhr	Ende der Veranstaltung	

Oberthema Zeitplanung

Zu der vorgestellten ingenieurtechnischen Lösung, Oberflächenwasser über eine Leitung nach Norden zu pumpen und dort zu versickern, kann noch kein Zeitplan aufgestellt werden. Zunächst müsste die Finanzierung der Maßnahme gesichert und organisatorische Vereinbarungen getroffen werden, um basierend auf der Machbarkeitsstudie die konkrete Projektplanung zu beginnen, für die möglicherweise noch weitere Untersuchungen oder Gutachten erstellt werden müssten. Zusammen mit einer anschließenden Genehmigungsphase, Ausschreibung, Bau und Inbetriebnahme bis zum effektiven Wirksamwerden einer Grundwasseranreicherung vergehen sicherlich mehrere Jahre. Daher plädiert die Projektpartnerschaft für die zuvor beschriebenen „no regret“-Maßnahmen, damit in der Übergangsphase bereits wassersensibel gehandelt wird.

Oberthema Wasserqualität und Vergleichbarkeit des Projektes mit dem Hessischen Ried

Im Hessischen Ried wird Oberflächenwasser aus dem Rhein entnommen und nahezu zu Trinkwasserqualität aufbereitet, das dann über ein Leitungsnetz rund 180 Betrieben zur Verfügung gestellt wird (die keine Grundwasserentnahmerechte erhalten). Dieses Projekt wurde in den 1980er Jahren zu 100% durch die hessische Landesregierung gefördert, so dass seither nur die Betriebs- und Re-Investitionskosten zu finanzieren sind.

Das im Projektraum Dorsten vorgesehene Wasser stammt aus dem Blauen See bzw. Hamm-bach-System. Das Wasser des Blauen Sees wurde in den Jahren 2021 und 2022 mehrfach auf Spurenstoffe hin untersucht, insgesamt 84 Stoffe; die Analyseergebnisse waren mit wenigen Ausnahmen unter der Nachweisgrenze. Kein Wert überschritt die zulässigen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung.

Eine Finanzierung bzw. Förderung der zu entwickelnden Infrastruktur ist aktuell noch nicht geklärt. Die Projektpartner wollen zeitnah Gespräche mit den Landesbehörden über eine Finanzierung führen.

Oberthema Wasserrechtsverteilung, Bewirtschaftungsanpassung und Preisbildung

Von den erteilten Wasserrechten im Projektgebiet partizipieren im Wesentlichen neben der Landwirtschaft die Trinkwasserversorgung durch RWW sowie die örtliche Lebensmittelindustrie. Eine Rücknahme bestehender Rechte ist nicht vorgesehen. Es kann gegenwärtig nicht bilanziert werden, in welcher Höhe insgesamt Entnahmen stattfinden, da die Erfassung über Messsysteme lückenhaft ist und hier Interventionsbedarf gesehen wird. Deshalb ist die Entwicklung eines regionalen Wassermanagements für eine datenbasierte Steuerung der zukünftigen Bewirtschaftung alternativlos.

Eine Veränderung oder Anpassung von Kulturen und Wirtschaftsweisen, Niederschlagswasserversickerung und Minderung der Abflusswirksamkeit von Flächen kann zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts schon zeitnah beitragen.

Offen bleibt die Frage, inwieweit von einer Subventionierung einer ingenieurtechnischen Lösung alle Nutzergruppen Vorteile ziehen und welche Nutzergruppen wie zu einer Finanzierung der Wasserdienstleistungen herangezogen werden sollen. Hier ist auch zu berücksichtigen, dass auf bundespolitischer Ebene Veränderungen der Wasserentnahmeentgeltregelung und Bezugsrechte geplant sind, die auf die Wirtschaftlichkeit von infrastrukturellen Wasserdienstleistungen Auswirkungen haben werden.

Oberthema gesamtgesellschaftliche Wertschätzung und Kreislaufdenken

Die im Wesentlichen den Klimawandelfolgen zuzurechnenden Probleme der Landwirtschaft im Projektgebiet werden Kosten generieren, die kaum über eine entsprechende Preisbildung in den Lebensmitteleinzelhandel weitergetragen werden können. Eine wünschenswerte Regionalisierung der Nahrungsmittelproduktion kann auch schwerlich vor Ort verwirklicht werden. Die Landwirtschaft befindet sich immer im Wettbewerb mit (günstigeren) Produkten aus anderen (weniger nachhaltig wirtschaftenden) Anbaugebieten.

Ein Ansatz für gesamtgesellschaftlich relevante Dienstleistungen in der Landwirtschaft ist die Monetarisierung von Ökosystemleistungen. Als Beispiel wurden Humuszertifikate genannt, um über die verbesserte Humusbilanz die Retention (infolge Veränderung der Bodenbearbeitung) zu steigern. Auch hier stößt ein regional begrenztes Projekt an seine Grenzen.

Oberthema Wechselwirkungen mit den Ewigkeitslasten des Bergbaus und Klimawirkung der baulichen Maßnahmen

Die vorgeschlagene ingenieurtechnische Lösung geht mit dem Bau einer rund 7 km langen Druckrohrleitung, Pumpwerkskapazitäten und Versickerungsbrunnen bzw. -rigolen einher. Damit kann das Projekt bezüglich Ressourceneinsatz beim Bau wie beim späteren Betrieb nicht klimaneutral sein. Potenzielle Wirkungen durch Stoffwechselveränderungen im Oberboden oder infolge des Pflanzenwachstums bis hin zur möglichen CO₂-Bindung in den mit Wasser besser versorgten Mooren wurden nicht betrachtet.

Durch geringere Wassermengen, die vom Pumpwerk Hammbach über den Lippedeich gehoben werden müssten (d.h. verminderter Energieeinsatz), ist jedoch denkbar, dass der kostenmäßig an den Lippeverbands-Pumpwerken beteiligte Bergbau auch in die neue Infrastruktur-Lösung finanziell involviert wird. Das Grundwasser des Pumpwerks Dorsten-Marienviertel wird über die bestehende Einleitung in den Blauen See bereits heute wasserwirtschaftlich genutzt.

7. Anhang [separate Dokumente]

- 7.0 Nachgereichtes Statement der Bezirksregierung Münster vom 17.05.2023
- 7.1 Fachbeitrag Landwirtschaft zur Beregnung im Hammbachgebiet
- 7.2 Fachbeitrag und Machbarkeitsstudie Wasserwirtschaft im Hammbachgebiet
- 7.3 Fachbeitrag Bewässerungsmethoden und Pflanzenauswahl
- 7.4 Fachbeitrag zu Organisationsstrukturen und Finanzierungsmodellen
- 7.5 Exkursionsbericht „Beispiel Hessisches Ried“



Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung (KlimaBeHageN)

Fazit der Bezirksregierung Münster

Historisch war Grundwasser in Nordrhein-Westfalen (NRW) in der Regel in ausreichender Menge für die menschliche Nutzung vorhanden. Die klimatischen Bedingungen führen bereits derzeit zu einer merkbaren Änderung des Wasserdargebots und die Wassernutzungssektoren – öffentliche Wasserversorgung, Landwirtschaft und Gewerbe/Industrie – fürchten, dass Wasserressource zukünftig nicht mehr ausreichend verfügbar sein könnte. In der Folge erhöht sich die Konkurrenz zwischen den Wassernutzern sowie der Handlungsdruck auf die staatlichen „Wassermanager“ wie die Wasserbehörden der Kreise und kreisfreien Städte oder die Wasserbehörden der Bezirksregierungen.

Wissenschaftliche Untersuchungen des Landes Nordrhein-Westfalen kommen zu dem Ergebnis, dass sich die Grundwasserneubildung bis 2100 nicht wesentlich verändern wird bei gleichzeitigen saisonalen Trockenheiten und Dürren in den Sommermonaten oder langjährigen Trockenperioden („Grundwasserdürre“). Zudem können die Klimawandelfolgen regional sehr unterschiedlich sein. Die Landesregierung hat daher bereits erkannt, dass ein klimaresilientes Wasserressourcenmanagement regional und saisonal differenziert erfolgen muss.

In den v. g. Kontext geniert das Projekt KlimaBeHageN einen Informationsmehrgewinn. Aus dem Projekt lassen sich Erkenntnisse für weitere Konzeptionen von Klimafolgenanpassungsprojekten deduzieren.

In der regionalen Wasserwirtschaft sind eine Vielzahl von Stakeholdern (u. a. Kommunen, Kreis, Landwirtschaftsvertretern und Wasserversorgungsunternehmen) involviert und ein lokales Wasserressourcenmanagement bedarf der Klärung von Aufgaben- und Lastenverteilung. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass lokale Wasser- und Bodenverbände basierend auf dem Gesetz über Wasser- und Bodenverbände in ihrer Funktion erweitert werden können. Zum Beispiel kann Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung über einen solchen funktional erweiterten Wasserverband organisiert werden; eine solche rationelle Disposition von beschränkt verfügbaren Wasserressourcen ist ein bewusster und nachhaltiger Umgang mit Wasser.

Weitere Projektelemente sind die Entwicklung einer „Ampelkarte“ mit Darstellung des noch verfügbaren Grundwasserdargebots für die wasserbehördliche Zulassung von Grundwasserentnahmen unter Berücksichtigung der wasserbehördlich zugelassenen Grundwasserentnahmen, aber auch der wasserrechtlich privilegierten gestattungsfreien Grundwasserentnahmen (z. B. landwirtschaftliche Hofbetriebe). Das Projekt verdeutlicht wie Wasserverbände einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der wasserwirtschaftlichen Datenlage leisten können. Denkbar ist auch die Weiterentwicklung zu einem umfangreichen lokalen Grundwassermodell, inkl. dem Monitoring der Grundwasserentnahmen und einer modellbasierten detaillierten Schätzung des verfügbaren Grundwasserdargebots.

Zudem werden generelle Ansätze für die Ermittlung des Wasserbedarfs für die landwirtschaftliche Beregnung, für effiziente Bewässerungstechnik, aber auch Modelle zur Bepreisung und Finanzierung der Wassernutzung betrachtet.

In Summe wichtige Elemente eines lokalspezifischen Wasserressourcenmanagements, welche zu einem Übergang beitragen von einem passiven Wasserressourcenmanagement, hin zu einem aktiven, lokalspezifischen und klimaresiliente Wasserressourcenmanagement. Ich bedanke mich für die konstruktive Zusammenarbeit.

Landwirtschaftlicher Fachbeitrag als Ergebnisbericht zum DBU-Projekt KlimaBeHageN (Dorsten)

(Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW:
Nachhaltiges Wassermanagement für
Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung)



Daten, Fakten, Entwicklungen zur Landwirtschaft

Herausgeber

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Nevinghoff 40
48147 Münster
Tel.: 0251 2376-0
Fax: 0251 2376-521
E-Mail: info@lwk.nrw.de
www.landwirtschaftskammer.de

Bearbeitung

Melanie Wilmer-Jahn
Bezirksstelle für Agrarstruktur Münsterland
Borkener Straße 25
48653 Coesfeld
Tel.: 02541 910-263
E-Mail: melanie.wilmer-jahn@lwk.nrw.de

Marianne Lammers
Kreisstelle Coesfeld - Geschäftsführung
Borkener Straße 25
48653 Coesfeld
Tel.: 02541 910-320
E-Mail: marianne.lammers@lwk.nrw.de

In Zusammenarbeit mit

Steffen Thurow / Dr. Thorsten Becker
Geschäftsbereich 2
Gartenstraße 11
50765 Köln-Auweiler
Tel.: 0221 5340-323
0221 5340-325
E-Mail: steffen.thurow@lwk.nrw.de
thorsten.becker@lwk.nrw.de

Fotos

Titelfoto

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Kartographie und agrarstatistische Daten

Steffen Thurow

Layout, Redaktion und Lektorat

Dr. Thorsten Becker / Marianne Lammers

Herstellung

Digitaldruckcenter Landwirtschaftskammer NRW

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs-, Tabellen- und Kartenverzeichnis	3
Glossar	5
1 Einleitung	8
Das Projektgebiet	10
2 Struktur der Landwirtschaft	12
2.1 Methodische Grundlagen	13
2.1.1 Durchführung einer Befragung der im Projektgebiet wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betriebe	13
2.1.2 Weitere statistische Daten	14
2.2 Betriebsgrößen und Erwerbstypen	14
2.3 Eigentum und Pacht	15
2.4 Siedlungsstruktur und Flurverhältnisse	16
2.5 Arbeitskräfte, Betriebsleiter und Hofnachfolge	17
2.6 Betriebszweige	17
2.7 Bodennutzung	21
2.8 Bodenart, -eigenschaften und -bearbeitung	24
2.9 Betriebe mit Bewässerung	33
2.9.1 Bewässerungseinsatz (derzeit und zukünftig)	40
2.9.2 Verwendete Bewässerungstechnik	41
2.9.3 Ermittelte Wassermengen und kalkulierter Bewässerungsbedarf	42
3 Klimawandel und Klimafolgeanpassung von ländlichen Räumen	49
3.1 Wetter und Klima	51
3.2 Nachhaltigkeit und Wasserkreislauf	52
3.3 Anpassung des Wassermanagements	55
3.3.1 Grundwasserneubildung	55
3.3.2 Grundwasseranreicherung	57
3.4 Handlungsoptionen im Gesamtzusammenhang (Maßnahmenkatalog)	59
3.5 Handlungsoptionen für die Landwirtschaft – Maßnahmenempfehlung für das Projektgebiet	63
3.5.1 Kulturauswahl und Kulturführung	63
3.5.2 Bewässerung	65

4	Handlungsoptionen zu Wassereinsparpotentialen von ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben unter verschiedenen Szenarien	67
5	Zusammenfassung	68
	Anhang	71
	Quellen	76

Abbildungs-, Tabellen- und Kartenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: Betriebszweige - Anzahl der Nennungen	18
Abbildung 2: Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen und Silomaisanbau zur Biogaserzeugung 2016 (Landwirtschaftskammer NRW, Nährstoffbericht 2017)	19
Abbildung 3: Hauptanbaukulturen im Projektgebiet in ha (Vergleich der Jahre 2020 mit 2021)	23
Abbildung 4: Abhängigkeiten von Evaporation und Transpiration (BISCHOFF et al. 2007)	36
Abbildung 5: Übersicht der Kosten bei verschiedenen Bewässerungsverfahren (DE WITTE 2017)	42
Abbildung 6: Berechnungsmengen der angebauten Kulturen im Projektgebiet in m ³ pro Jahr	46
Abbildung 7: Berechnungsfläche der angebauten Kulturen im Projektgebiet in ha	47
Abbildung 8: Phänologische Uhr für NRW – innerer Ring stellt die Dauer der phänologischen Jahreszeiten in der Klimanormalperiode 1951-1980 und äußerer Ring: 1991-2020 dar (KLIMABERICHT NRW 2021)	50
Abbildung 9: Nachhaltigkeit (Onlinemarketing-Praxis 2021)	53
Abbildung 10: Wasserkreislauf (USGS, EVANS 2021)	54
Abbildung 11: Handlungsfelder der Klimaanpassung. Die drei Querschnittshandlungsfelder sind farblich von den 13 sektoralen Handlungsfeldern abgesetzt (KLIMASCHUTZPLAN NRW 2015).	59
Abbildung 12: Durchschnittliche tägliche Abnahme der Landwirtschaftsflächen in NRW (ha/Tag), (LANDESBETRIEB IT.NRW 2020; Grafik: LANUV 2019).	61

Tabellen

Tabelle 1: Klimatische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet (LIPPE WASSERTECHNIK 2019)..	11
Tabelle 2: Eigenschaften der Bodenarten (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2018).	27
Tabelle 3: Definition der Kennwerte zum Wasser- und Lufthaushalt (GEOLOGISCHER DIENST NRW 2021)	29
Tabelle 4: Standardwerte zur Ermittlung des Wasserbedarfs für Beregnung zur Beantragung einer wasserrechtlichen Erlaubnis (Landwirtschaftskammer NRW, SCHÖLER 2014)	38
Tabelle 5: Kalkulierter Bewässerungsbedarf auf Grundlage der angebauten Kulturen 2020/2021	45
Tabelle 6: Landwirtschaftliche Betriebe nach Größenklassen der landwirtschaftlich genutzten Fläche - LZ 2020 (LANDESBETRIEB IT.NRW 2021)	61
Tabelle A1: Beregnete Kulturen in ha und m ³ /Jahr im Projektgebiet	71

Karten

Karte 1: Projektgebiet mit den Standorten landwirtschaftlicher Betriebe und der Darstellung der naturräumlichen Haupteinheiten (Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)	10
Karte 2: Flächennutzungen in der Projektregion (Quelle: Flächenerhebung nach tatsächlicher Nutzung, GEOBASIS NRW 2021, eigene Darstellung)	12
Karte 3: Hauptbodennutzung im Projektgebiet (Feldblockkataster, Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung).....	22
Karte 4: Bodenhaupttyp (BK50) im Projektgebiet (Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)	25
Karte 5: Bodenart (GEOLOGISCHER DIENST NRW, eigene Darstellung)	26
Karte 6: Bodentypen (BK50) im Projektgebiet (Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)	28
Karte 7: Nutzbare Feldkapazität (BK50) im Projektgebiet	31
Karte 8: Flächen, die von den Bewässerungsbetrieben im Projektgebiet bewirtschaftet werden ...	34
Karte 9: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlichen Flächen in cbm/ha (mGROWA 2021, eigene Darstellung)	56
Karte 10: Mittlere Grundwasserneubildung in mm/a in 2015 (LIPPE WASSERTECHNIK 2019)....	57

Glossar

Agribusiness	Bezeichnung für die Wertschöpfungskette der Landwirtschaft mit ihren vor- und nachgelagerten wirtschaftlichen Aktivitäten und Verbindungen.
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen. Instrumente zur Erreichung von Umweltzielen in der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik (GAP). Ziel: Erhalt und Steigerung der biologischen Vielfalt, Verbesserung der Bodenstruktur, Verringerung der Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinträge.
BGH	Bundesgerichtshof
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
Biodiversität	Biologische Vielfalt / Artenvielfalt
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BSN	Bereiche für den Schutz der Natur
BVerfG	Bundesverfassungsgericht
BWZ	Bodenwertzahl
CEF-Maßnahme	„Continuous ecological functionality-measures“, d.h. Maßnahmen für die dauerhafte ökologische Funktion. Darunter werden Maßnahmen des Artenschutzes im Bereich der Eingriffsregelung verstanden.
C3- und C4-Pflanzen	C4-Pflanzen (das erste Photosynthese-Produkt ist eine Verbindung mit vier C-Atomen) bauen bei hoher Lichteinstrahlung und hoher Temperatur schneller Biomasse auf als C3-Pflanzen. Sie binden CO ₂ besser und effektiver. Dazu gehören v.a. Gräser wie z.B.: Mais, Hirse.
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
Dauerkultur	Mehrjährige Obst- oder Gemüse-Kultur, die nicht in die Fruchtfolge einbezogen ist wie z.B. Kern- und Steinobst, Spargel oder Rhabarber und die für die Dauer von mindestens fünf Jahren auf den Flächen verbleibt. Dauerkulturen fallen z.T. auch unter die Kategorie Sonderkulturen .
EU-WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
Feldblock	Eine von dauerhaften Grenzen umgebene zusammenhängende landwirtschaftliche Fläche eines oder mehrerer Betriebsinhaber.
FFH	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie: Naturschutz-Richtlinie der EU (RL 92/43/EWG)
Fruchtfolge	Fruchtfolge ist der Wechsel der Ackerfeldfrüchte in der Abfolge mehrerer Jahre z. B. Kartoffeln, Zuckerrüben, Weizen, Gerste auf einer Fläche.

GD NRW	Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen
GEP	Gebietsentwicklungsplan: heutige Bezeichnung Regionalplan
GIS	Geoinformationssystem
Großvieheinheiten (GVE)	Viehbesatz, Umrechnungsschlüssel zum Vergleich verschiedener Nutztiere auf Basis ihres Lebendgewichtes
Ha	Hektar (10.000 m ²)
HöfeO	Höfeordnung, landwirtschaftliches Erbrecht
IHK	Industrie- und Handelskammer
i.d.R.	In der Regel
InVeKoS	Das I ntegrierte V erwaltungs- und K ontroll- S ystem ist ein durch die Europäische Kommission schrittweise eingeführtes System von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedstaaten.
IT.NRW	Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen
KlimaBeHa-geN	Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung
Kompensation	Ausgleich von Eingriffen in die Natur (§15 Bundesnaturschutzgesetz)
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
LNatSchG NRW	Landesnaturschutzgesetz NRW
LANUV NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LEP	Landesentwicklungsplan
LF	landwirtschaftlich genutzte Fläche
LWK NRW	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe: Sind organische Rohstoffe, die aus land- und forstwirtschaftlicher Produktion stammen und die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden. Es sind hauptsächlich pflanzliche Rohstoffe die stofflich oder zur Erzeugung von Wärme, Strom oder Kraftstoffen genutzt werden.
NHN	Normalhöhennull

NRW	Nordrhein-Westfalen
Ökokonto	Naturschutzinstrument im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen werden dokumentiert und in einen Flächenpool eingetragen. Diese können bei späteren Eingriffen in Natur und Landschaft als Kompensationsmaßnahmen angerechnet werden.
PIK	Produktionsintegrierte Kompensation
PV	Photovoltaik (Solarzellen zur Umwandlung der Energie des Sonnenlichts in elektrische Energie)
Rekultivierung	Technisch und materiell aufwendige Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Schaffung einer Kulturlandschaft
Silomais	Anbau von Mais zur Nutzung der Gesamtpflanze in Form von Silage als Futtermittel und Biogassubstrat
Sonderkultur	Land- und gartenbauliche Kulturen die über die übliche landwirtschaftliche Maschinenteknik hinaus, besondere zusätzliche Bestell- und Erntetechnik, (auch Handarbeit) erfordern. In der Regel ist die Produktion mit zusätzlicher Lager- und Kühltechnik verbunden. Daher gelten sie als besonders arbeits- und kapitalintensiv. Beispiele: Obst, Gemüse, Baumschul- und Gartenbaukulturen, Kartoffeln, Zwiebeln, Gewürzkräuter, Arzneipflanzen etc. Darunter fallen teilweise die bereits zuvor genannten Dauerkulturen wie Weinbau, Obstbau, Baumschulen oder Hopfen.
Sümpfung	Das Entfernen von Wasser aus einem Grubenbau (Bergbau) sowie auch großflächige Grundwasserabsenkung im Umfeld von Tagebauen durch Abpumpen des Wassers.
UBA	Umweltbundesamt
UFZ- Dürremonitor	Der UFZ-Dürremonitor liefert täglich flächendeckende Informationen zum Bodenfeuchtezustand in Deutschland. Grundlage sind Simulationen mit dem am UFZ entwickeltem mesoskaligem hydrologischen Modell mHM. UFZ steht für Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH.
Urbaner Raum	Städtischer Raum
WWF Deutschland	World Wide Fund For Nature

1 Einleitung

Im Projekt KlimaBeHageN (Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung) werden bis Ende 2022 Wissenschaftler, Ökonomen, wasserwirtschaftliche Ver- und Entsorger und landwirtschaftliche Interessensvertretungen gemeinsam versuchen, übertragbare Lösungen zur Entschärfung von Wassermangel durch den Klimawandel im Hammbach-Einzugsgebiet in Dorsten zu finden.

Im Raum Dorsten-Haltern befindet sich mit den Halterner Sanden der wichtigste zur Trinkwasserproduktion genutzte Grundwasserleiter Nordrhein-Westfalens.

Durch die verschiedenen Nutzungen wird das nutzbare Grundwasservorkommen des Grundwasserleiters stark beansprucht, der mengenmäßige Zustand gilt gemäß Bewirtschaftungsplan des Landes als „noch gut“. Die Beanspruchung des Grundwasserleiters ist allerdings zu minimieren, so die LIPPE WASSERTECHNIK 2019.

Es gibt vielfältige Nutzungsansprüche an das Grundwasser, die sich überschneiden, so dass verbunden mit den Klimaveränderungen oberirdische Gewässer im Hammbach-Einzugsgebiet zeitweise austrocknen. Von den beteiligten Akteuren wurde im ersten Projektabschnitt – „Maßnahmenkonzept für konkurrierende Grundwassernutzungen im Einzugsgebiet des Hammbachs in Dorsten (2017-2019)“ – festgehalten, dass die Sicherung des mengenmäßig guten Zustands (nach der WRRL) mit einem zielgerichteten Wassermanagement möglich sei (LIPPE WASSERTECHNIK 2019). Die Zielsetzung des Projektes lag darin, über ein angepasstes Maßnahmenkonzept mit Wasser aus Überschussbereichen (ca. 9 Mio. m³/a) das bisher in Oberflächengewässer geleitet wird, die defizitären Grundwassereinzugsgebiete zu stützen.

Eine Aussage zum Bereich der Landwirtschaft aus dem ersten Projekt wurde von der LIPPE WASSERTECHNIK 2019 wie folgt formuliert: „Der landwirtschaftliche Wasserbedarf (bisherige Wasserrechte 1,4 Mio. m³/a für Betriebswasser und Bewässerung; ausschließlich für Bewässerung ergeben sich 1,25 Mio. m³/a) von geschätzt 27 Mio. m³/a in Trockenjahren ist wasserhaushaltlich, auch bei Nutzung der gepumpten Wässer im Süden, nicht gewinnbar. Oberste Priorität muss daher eine effizientere Bewässerung und Anpassung der angebauten Kulturen haben.“ Die 27 Mio. m³/a in Trockenjahren wurden im Vorprojekt unter Einbindung verschiedener Akteure u.a. der Landwirtschaft grob, unter Worst-Case-Bedingungen, geschätzt. Ein aussagekräftigerer Bewässerungsbedarf soll in diesem Projekt praxisbezogen abgeleitet werden.

Hierfür wurde dieses Projekt mit einer Laufzeit von 2 ½ Jahren bis Ende 2022 in die Wege geleitet, um das Konzept aus dem ersten Projekt zu konkretisieren.

Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen ist als Kooperationspartner an dem Projekt beteiligt und bearbeitet gemeinsam mit der Universität Kassel weiterführende Fragestellungen, die sich aus dem ersten Projekt ergeben haben. Dazu gehören die Ermittlung des konkreten landwirtschaftlichen Wasserbedarfs zur ressourcenschonenden Bewässerung in Trockenzeiten und Maßnahmen zur messbaren Minimierung des Bewässerungsbedarfs sowie sozialökologische Aspekte und Auswirkungen möglicher Maßnahmen.

Als Ergebnis wurde der vorliegende landwirtschaftliche Fachbeitrag mit folgenden Kerninhalten erstellt

- Erfassung der wirtschaftenden Betriebe / der bewirtschafteten Fläche und der berechnungswürdigen Kulturen im Versuchsgebiet;
- Ermittlung des mengenmäßigen Wasserbedarfs;
- Ermittlung der potentiellen landwirtschaftlichen Betriebe, die im Versuchsgebiet an einer langfristigen, ressourcenschonenden Bewässerung und zugewiesenen Wasserrechten Interesse haben (Uni Kassel/LWK).

Im Folgenden wird zunächst das Projektgebiet mit seinen wesentlichen natürlichen Grundlagen dargestellt. Dann schließen sich die Ergebnisse des Erhebungsbogens, u.a. die Struktur der Betriebe und erhobenen Daten zur Bewässerung an.

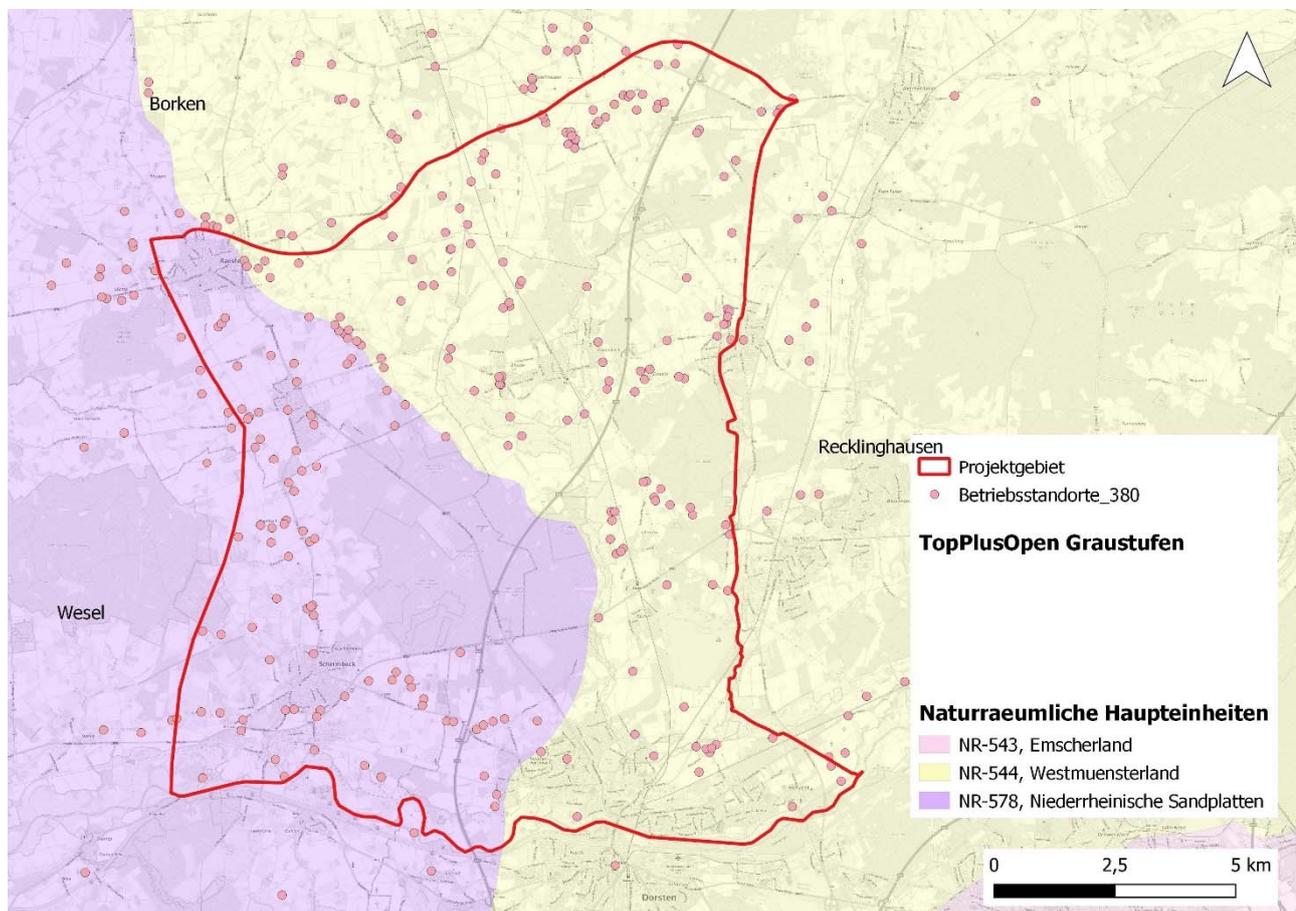
Darauf basierend werden mögliche ressourcenschonende Bewässerungsmaßnahmen in Trockenzeiten und Maßnahmen zur Minimierung des Bewässerungsbedarfs skizziert, die als Grundlage für eine Masterarbeit seitens der Universität Kassel wissenschaftlich aufgearbeitet und detailliert geprüft werden. Dabei sollen auch die sozialökologischen Aspekte und Auswirkungen möglicher Maßnahmen untersucht werden

Das Projektgebiet

Das Projektgebiet liegt am nördlichen Rand des Ruhrgebietes am Übergang zum südlichen Münsterland. Das Gebiet bezieht sich auf Teile des Kreises Wesel, Recklinghausen und Borken im Regierungsbezirk Münster (siehe nachfolgende Karte 1).

Der Hammbach mündet in Dorsten in die Lippe.

Die Region erhält ihr Trinkwasser aus den Brunnengalerien Holsterhausen und Üfter Mark. Neben der Stadt Dorsten, kleinen Mooren, Feuchtgebieten und Waldbereichen finden sich im Projektgebiet zahlreiche landwirtschaftliche Nutzungen mit unterschiedlichen Betriebsstrukturen (z.B. Mais, Getreide, Gemüse, Obst, Viehwirtschaft) in der Produktion wie auch in der Weiterverarbeitung. In dem Gebiet liegen 7.550 Hektar (ha) landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF).



Karte 1: Projektgebiet innerhalb des Feldblockkatasters mit den Standorten landwirtschaftlicher Betriebe und der Darstellung der naturräumlichen Haupteinheiten (Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)

Es sind zwei naturräumliche Haupteinheiten zu finden – die Niederrheinische Sandplatte (NR – 578; Großlandschaft: Niederrheinisches Tiefland) und das Westmünsterland (NR 544; Großlandschaft: Westfälische Bucht und Westfälisches Tiefland).

Das Projektgebiet gehört zu einer stark maritim beeinflussten Klimazone. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt ca. 770 bis 835 mm (3-Jahres Mittel/Summe 803 mm Niederschlag bei den N-Stationen Lembeck und Harsewinkel für die Jahre 2015-17, vgl. Tabelle 1), davon fallen 200 bis 220 mm während der Hauptvegetationszeit. Die Hauptwindrichtung ist mit West bis Südwest ausgewiesen.

Tabelle 1: Klimatische Verhältnisse im Untersuchungsgebiet (LIPPE WASSERTECHNIK 2019)

Station	Niederschlag mm			Temperatur °C	Luftfeuchte %	Sonnenschein- dauer h
	Lembeck	Harsewinkel	Mittel	Bottrop-Welheim	Bochum	
Mittel/Summe WWJ 2015	844	789	817	11,1	77,9	1681
Mittel/Summe WWJ 2016	905	868	886	12,2	76,2	1636
Mittel/Summe WWJ 2017	753	659	706	11,5	77,1	1503
3Jahres-Mittel/Summe	834	772	803	11,6	77,1	1607
Mittel 1980-2016	866	833	850			

Die mittlere Jahreslufttemperatur beträgt 11,6 °C, wobei in der Hauptvegetationszeit eine mittlere Jahreslufttemperatur von 14 bis 18 °C vorliegt.

Das Projektgebiet weist Höhenlagen zwischen 27 m (Lippeaue), 33 m (Dorsten) und 122 m (Galgenberg, Hohe Mark) über NN auf.

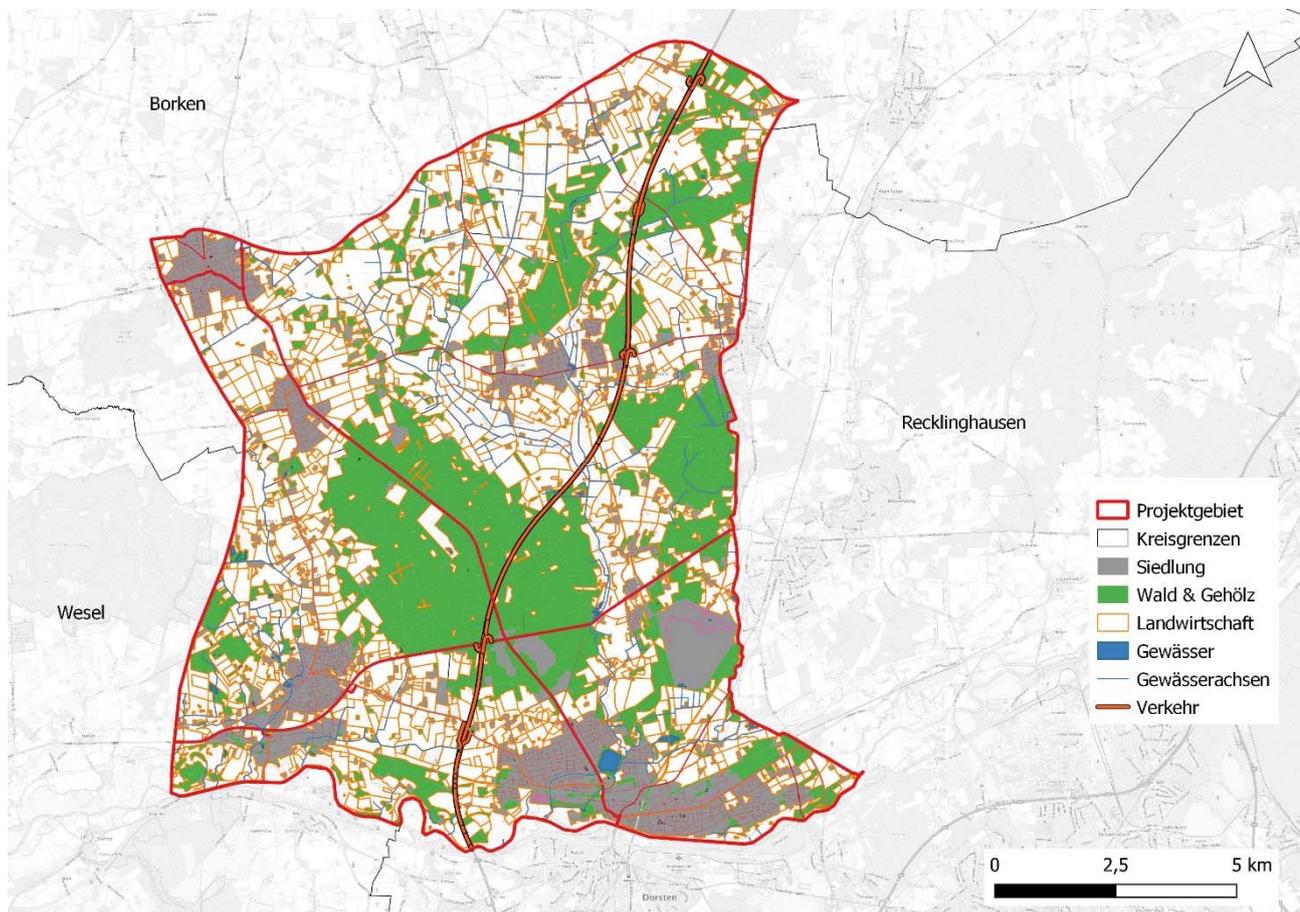
Das Projektgebiet ist eiszeitlich geprägt und wird untergliedert durch Bachläufe mit fluviatilen Ablagerungen. Teilweise tritt in diesen Talauen Niedermoorbildung auf.

Die regionale Differenzierung von Bodengüte, Relief, Niederschlägen und Temperatur bestimmen im Wesentlichen die in den Regionen vorherrschende landwirtschaftliche Bodennutzung als Acker und Grünland (vgl. Kapitel 2.7 Bodennutzung).

2 Struktur der Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist der größte Flächennutzer im Projektgebiet, gefolgt von Wald sowie Siedlungs- und Verkehrsflächen. Bei der landwirtschaftlichen Nutzung überwiegt der Ackerbau mit 75 %.

Insgesamt umfasst das Projektgebiet eine Fläche von 15.946 Hektar. Davon bewirtschaften etwa 380 Betriebe im Projektgebiet eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 7.550 Hektar (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2021). Dies entspricht rund 47 Prozent der Projektgebietsfläche (Karte 2). Siedlungs-/Verkehrsflächen, Gewässer sowie Wald und Gehölze nehmen dementsprechend 53 Prozent der Fläche in Anspruch. Im Vorprojekt wurde eine Fläche von 8.900 ha benannt, die allerdings auf Grundlage von Acker- und Grünlandflächen aus der ATKIS-Flächennutzung basierte (sog. Fläche für Landwirtschaft).



Karte 2: Flächennutzungen innerhalb des Feldblockkatasters in der Projektregion (Quelle: Flächenerhebung nach tatsächlicher Nutzung, GEOBASIS NRW 2021, eigene Darstellung)

2.1 Methodische Grundlagen

2.1.1 Durchführung einer Befragung der im Projektgebiet wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betriebe

Bereits im Jahr 2020 wurden die Vorarbeiten zum Erhebungsbogen zur Durchführung einer Befragung landwirtschaftlicher Betriebe in die Wege geleitet. Der Fragebogen umfasst zwei DIN A4 Seiten, wobei die erste Seite auf den allgemeinen betrieblichen Teil und die zweite Seite auf den speziellen Teil Bewässerung gerichtet ist.

Der Erhebungsbogen wurde am 23. März 2021 an die 380 im Projektgebiet wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betriebe verschickt und eine Bearbeitungsfrist von zwei Wochen eingeräumt. Der Rückversand an die Landwirtschaftskammer konnte mittels beigefügter frankierter Briefumschläge erfolgen. Ein Großteil der Erhebungsbögen wurde allerdings zurückgefaxt. Innerhalb der Frist wurde in einer Abendveranstaltung (Videokonferenz) allen Beteiligten die Möglichkeit gegeben, Fragen zum Erhebungsbogen und zum Projekt zu stellen. Im Weiteren wurde die Unterstützung beim Ausfüllen des Erhebungsbogens angeboten.

Nach Ende der zweiwöchigen Frist wurden die Erhebungsbögen vorsortiert und mittels einer Kontaktliste überprüft. So waren 100 Erhebungsbögen an die Landwirtschaftskammer zurückgeschickt worden. Danach konnten durch Telefonate und Einräumung einer weiteren zweiwöchigen Frist zusätzlich 68 Rücksendungen hinzugewonnen werden.

In dem Projektgebiet liegen 7.550 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF), die von insgesamt 380 landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftet werden. Insgesamt wurden von 168 Betrieben Erhebungsbögen zurückgesendet und damit 5.150 ha im Projektgebiet liegender LF erfasst. Drei Betriebe sandten den Erhebungsbogen mit dem Hinweis zurück, dass sie die Landwirtschaft altersbedingt 2021 schon aufgegeben haben. Somit fließen letztlich 165 Erhebungsbögen in die Auswertung ein. Das entspricht einer Quote von 44 % in Bezug auf die zurückgeschickten Fragebögen (168 von 380) und von 68 % in Bezug auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche (5.150 ha). Diese Rücklaufquote ist im Vergleich zu anderen Umfragen sehr erfreulich. Unter den Rückläufen befinden sich günstiger Weise auch die bedeutendsten Betriebe mit hoher Flächenausstattung. Die Ursache für fehlende Rücksendungen ist sicherlich in der besonderen Sensibilität der Daten zu sehen, und dies trotz der Hinweise im Erhebungsbogen, dass die Daten nur in anonymisierter Form verwendet werden.

Für die Darstellung der landwirtschaftlich genutzten Flächen führte die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen im Frühjahr 2021 im gesamten Projektgebiet eine Nutzungskartierung der dort befindlichen Betriebsstandorte durch. Als landwirtschaftlicher Betriebsstandort gilt hierbei die der Landwirtschaftskammer NRW bekannte Anschrift des Unternehmens, die im Projektgebiet liegt.

Von den insgesamt 380 befragten Betrieben weisen 62 Betriebe Betriebsgrößen unter 5 ha auf, wobei diese Betriebsflächen sowohl im Projektgebiet wie auch außerhalb liegen können auf laut eigener Angaben im Flächenverzeichnis.

Werden ausschließlich die landwirtschaftlichen Flächen des Projektgebietes (7.550 ha) betrachtet, so bewirtschaften dort 128 Betriebe (der insgesamt 380) weniger als 5 ha und 252 Betriebe mehr als 5 ha. Die 128 Betriebe mit weniger als 5 ha Fläche im Projektgebiet machen insgesamt eine Summe von 297 ha des Projektgebietes aus. Das entspricht knapp 4 % der Gesamtfläche des Projektgebietes. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die 252 Betriebe mit mehr als 5 ha im Projektgebiet zusammen genommen den Hauptanteil von 7.250 ha des Projektgebietes und damit 96 % bewirtschaften.

Bei Betrachtung der insgesamt 168 zurückgesandten Erhebungsbögen, von denen 165 auswertbar waren, ergibt sich hinsichtlich der dadurch repräsentierten Flächenanteile im Projektgebiet, dass 128 der insgesamt 165 Betriebe, die geantwortet haben, jeweils mehr als 5 ha im Projektgebiet bewirtschaften und damit 5.054 ha LF ausmachen, welche zusammen 67 % der LF im Projektgebiet umfassen. Die Rücklaufquote der antwortenden Betriebe repräsentiert somit die landwirtschaftlichen Betriebsstrukturen und Nutzungen sehr gut.

2.1.2 Weitere statistische Daten

Der Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen (IT.NRW) weist zwar Daten zu der Region Dorsten aus, jedoch kann darauf nicht zurückgegriffen werden, weil das Projektgebiet in seiner flächigen Ausdehnung nicht mit den Kreisgrenzen übereinstimmt. Weitere Daten, auf die nur teilweise zurückgegriffen werden konnte, liegen aus dem landwirtschaftlichen Fachbeitrag der Stadt Dorsten (Kreis Recklinghausen) zum Flächennutzungsplan aus dem Jahr 2003 (davor 1996) vor und mussten fortgeschrieben werden. Insofern war eigens eine Erhebung zur Landwirtschaft im Projektgebiet notwendig, um konkrete Zahlen zu erhalten und Aussagen zu den dort wirtschaftenden Betrieben treffen zu können.

Eine solche flächendeckende Erfassung wurde für dieses Projektgebiet erstmalig durchgeführt.

2.2 Betriebsgrößen und Erwerbstypen

In den letzten Jahren erfolgte ein starker Rückgang landwirtschaftlicher Betriebe durch Aufgaben. Die dadurch freiwerdenden Flächen verbleiben meist in der Landwirtschaft und werden entsprechend des Strukturwandels von anderen Betrieben i.d.R. als Pachtflächen weiter bewirtschaftet.

Von den insgesamt 165 Betrieben haben 145 Betriebe die Rechtsform eines landwirtschaftlichen Einzelunternehmens. 20 Betriebe führen die Rechtsform einer Gesellschaft bürgerlichen Rechtes, ein Zusammenschluss von mindestens zwei Gesellschaftern (GbR). Üblich ist in der Landwirtschaft

die Form zwischen Vater/Mutter und Sohn/Tochter, andere Formen sind denkbar. Diese GbR-Betriebe werden laut Erhebung in Form eines Haupterwerbsbetriebes geführt.

Von den 165 Unternehmen werden 105 Betriebe im Haupterwerb (HE) und 60 Betriebe im Nebenerwerb (NE) geführt. Von den 105 HE-Betrieben werden 4.660 ha LF bewirtschaftet, von den NE-Betrieben 470 ha LF (5.150 ha abzüglich der drei Betriebe, die im Jahr 2021 aufgegeben haben).

2.3 Eigentum und Pacht

Der typische landwirtschaftliche Betrieb in der Projektregion ist ein bäuerlicher Familienbetrieb, der seine landwirtschaftliche Tätigkeit auf eigenen Betriebsflächen ausführt und meist weitere Flächen hinzupachtet.

Von den insgesamt 165 Betrieben der Erhebung haben 27 Betriebe keine Flächen zugepachtet. Fünf Betriebe sind Pachtbetriebe, sie wirtschaften nur auf gepachteten Flächen und besitzen keine Eigentumsflächen. 36 Betriebe in der Region verpachten einen Teil ihrer Flächen und 14 Betriebe haben keine vollständigen Angaben zum Eigentum-/Pachtanteil gemacht. In der Summe werden 5.110 ha LF von den 165 Betrieben zugepachtet und 405 ha verpachtet; 3.710 ha LF stehen im Eigentum.

Die Zupacht von Flächen bietet landwirtschaftlichen Betrieben auch in wirtschaftlich schwierigen Zeiten durch die Senkung von Fixkosten je Einheit die Möglichkeit einer weiteren betrieblichen Entwicklung.

Die Nachfrage nach Pachtflächen wird in der Projektregion weiterhin größer sein als das Angebot. Insbesondere Veredelungsbetriebe benötigen ausreichend Flächen für einen umweltverträglichen und ökonomischen Einsatz der betriebseigenen Düngemittel (Vorgaben der Düngeverordnung und des BauGB).

Alle flächenbeanspruchenden Maßnahmen – Zunahme an Siedlungs-, Verkehrs- und Kompensationsflächen - führen zu einer weiteren Flächenverknappung und verstärken damit die Konkurrenz um die verbleibende landwirtschaftlich genutzte Fläche im Projektgebiet. Das bedeutet eine Verknappung der Flächen für die Nahrungsmittelproduktion und gleichzeitig stark steigende Pachtpreise für landwirtschaftliche Flächen.

Im Weiteren ist festzustellen, dass insbesondere Pachtflächen mit einer vorhandenen Möglichkeit der Bewässerung (vor dem Hintergrund der letzten Rekordsommer) zunehmend attraktiver werden. Hierbei spielt insbesondere der Gemüseanbau eine zentrale Rolle, da durch die Bewässerung Ertragssicherheit und eine gleichbleibend hohe Quantität wie auch Qualität gewährleistet werden kann.

Verknappung der Nahrungsmittelerzeugung:

Die Nachfrage nach frischen, qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln wie Gemüse, Obst, Eier, Fleisch und Milchprodukten aus der Region steigt.

Um die Bedeutung und Wichtigkeit landwirtschaftlicher Flächen für die Nahrungsmittelproduktion aufzuzeigen folgt hier eine Berechnung, wie viele Menschen aus dem Projektgebiet heraus ernährt werden können.

Nach Angaben des Umweltbundesamtes erfordert der Konsum der deutschen Bevölkerung 18,3 Mio. Hektar Ackerland für Nahrungs- und Futtermittel. Heruntergebrochen auf eine Person werden derzeit pro Kopf und Jahr rund 2.250 m² Ackerfläche für Nahrungsmittel pflanzlicher sowie tierischer Herkunft benötigt. Zum einen 1.400 m² zur Erzeugung von Futtermitteln und von Fleisch, Milch, Eiern und zum anderen 850 m² zur Erzeugung pflanzlicher Nahrungsmittel wie Obst, Gemüse, Getreide etc. Hierdurch entfallen 61 % der Produktionsfläche auf den Konsum tierischer Produkte und 39 % auf den Konsum pflanzlicher Nahrungsmittel. Des Weiteren dienen rund 300 m² der Produktion von Nicht-Nahrungsmitteln wie z.B. energetische und stoffliche Biomasse. Hochgerechnet bräuchte die Bevölkerung Deutschlands also 18,3 Mio. ha, verfügt jedoch nur über 16,7 Mio. ha Ackerfläche. Hinzu kommen die Importe für den deutschen Gesamtnahrungskonsum in Höhe von über 10 Mio. Hektar Fläche im Ausland (UBA 2020).

Das Projektgebiet könnte mit 7.550 ha LF (0,225 ha/Jahr/Mensch) etwa 33.500 Menschen pro Jahr ernähren. Wird die Fläche für die Erzeugung von Nicht-Nahrungsmitteln (300 m²) in die Berechnung mit einbezogen, so können nur 29.400 Menschen pro Jahr ernährt werden. **Je mehr die Fläche durch andere Nutzungen beansprucht wird, desto weniger Nahrungsmittel können erzeugt werden und desto größer wird die Abhängigkeit vom Import und dem globalen Weltmarkt.**

2.4 Siedlungsstruktur und Flurverhältnisse

Die große Mehrheit der landwirtschaftlichen Betriebsstätten liegt regionaltypisch im planerischen Außenbereich. Einige Höfe befinden sich seit jeher in den früheren Dörfern. Heute sind viele von ihnen nicht mehr in der aktiven Bewirtschaftung. Insbesondere durch das Heranrücken der besonders immissionsempfindlichen Wohnbebauung wurde eine landwirtschaftliche Nutztierhaltung an diesen Standorten eingeschränkt. Dieses Risiko besteht auch heute insbesondere für Betriebe, welche durch Ausweisung von neuen Baugebieten immer näher am Stadtrand und damit an Siedlungen wirtschaften müssen.

In den vergangenen Jahren hat sich der Trend zur Bildung größerer Bewirtschaftungseinheiten über Zupacht von Flächen weiter fortgesetzt. Im Wesentlichen wird die Feldstruktur durch Topographie, Gewässer und Verkehrsinfrastruktur geprägt. Die Erschließung der landwirtschaftlichen Flächen durch Wirtschaftswege kann allgemein als gut bezeichnet werden.

2.5 Arbeitskräfte, Betriebsleiter und Hofnachfolge

Die landwirtschaftlichen Betriebe werden fast ausschließlich als Familienbetriebe mit familieneigenen Arbeitskräften bewirtschaftet; saisonal (während der Arbeitsspitzen) findet der Einsatz von Hilfskräften und Lohnunternehmern statt.

Eine landwirtschaftliche Berufsausbildung kann von fast allen Leitern der Haupterwerbsbetriebe (105 HE) vorgewiesen werden, mehr als 50 % verfügen über weitergehende Qualifikationen. Von den 105 HE-Betrieben haben 14 Betriebsleiter/innen eine klassisch-landwirtschaftliche Ausbildung absolviert. 48 Betriebsleiter/Innen verfügen über einen Fachschulabschluss und 26 Betriebsleiter/innen über einen Meisterabschluss. Vier Betriebsleiter/Innen verfügen über einen FH-/Uniabschluss im Bereich der Agrarwissenschaften.

Jüngere Landwirte/innen haben i.d.R. einen Fachschulabschluss oder eine Meisterausbildung. Es ist erkennbar, dass die Tendenz zu einem Uni-/Hochschulabschluss zunimmt. Im Nebenerwerb gibt es 18 Betriebe, die keine Ausbildung im Bereich der Landwirtschaft abgeschlossen haben. Betriebsleiter/innen, die ihren Hof im Nebenerwerb führen, haben als Schwerpunkt häufig ihre Ausbildung im außerlandwirtschaftlichen Bereich absolviert (z.B. Fleischer/-innen, Zimmerer/-innen, Tischler/-innen, Schlosser/-innen, KFZ-Mechaniker/-innen, Maurer/-innen).

Von den insgesamt 165 Betrieben haben 57 Betriebe (35 %) die Angabe „Nachfolge gesichert“ angegeben. Bei 67 Betrieben, knapp 40 %, ist eine Nachfolge möglich, bei 20 Betrieben (12 %) existiert keine Nachfolge. 21 Betriebe enthielten sich einer Antwort.

2.6 Betriebszweige

In dem Projektgebiet gibt es unterschiedliche Ausrichtungen der Betriebe. Betriebszweige wie Zucht-sauen, Mastschweine, Milchkuhhaltung, Rindermast, Geflügel, Biogas, Ackerbau, Ökologischer Landbau, Gemüse- und Obstbau wurden in der Erhebung abgefragt (vgl. Abbildung 1). Mehrfachnennungen waren möglich und wurden von den Betriebsleitern/innen in unterschiedlichster Kombinationen gewählt. Im nachfolgenden bezieht sich die Anzahl der Nennungen immer auf die 165 Erhebungsbögen, die von den Betriebsleitern/innen zurückgeschickt worden sind. Welche Betriebszweige in den nicht antwortenden landwirtschaftlichen Betrieben vorherrschen, kann hier nicht vertiefend dargestellt werden.

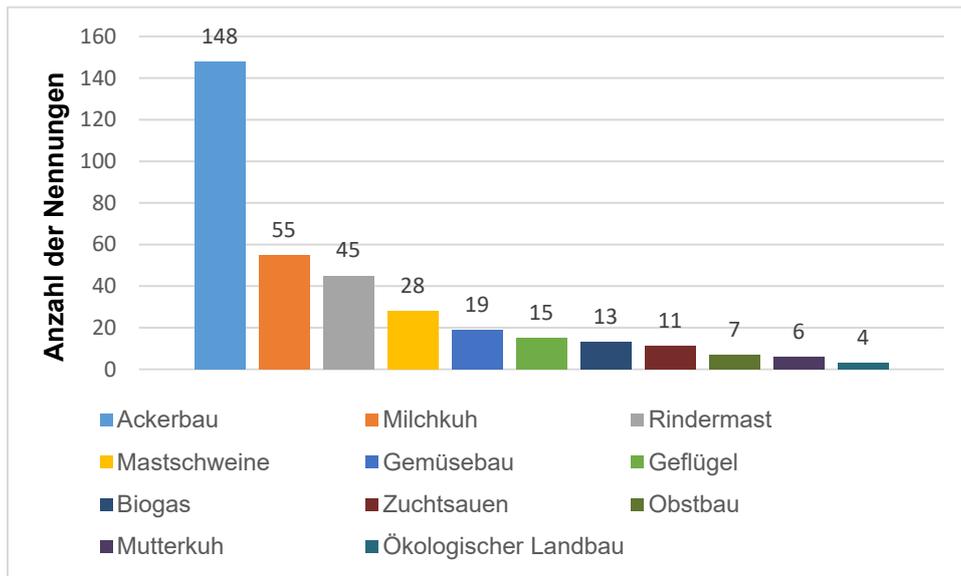


Abbildung 1: Betriebszweige - Anzahl der Nennungen

Neben dem **Ackerbau** (148 Nennungen von 165; 90 %) ist die Viehhaltung die wesentliche Existenzgrundlage der landwirtschaftlichen Betriebe (115 viehhaltende Betriebe, 70 %). Sie bietet dem Landwirt die Möglichkeit, das auf den Flächen gewonnene Futter im eigenen Betrieb zu „veredeln“. Dadurch steigt die Wertschöpfung im eigenen Betrieb durch die Umwandlung der Rohstoffe in höherwertige Nahrungsmittel (Fleisch, Milch, Eier u.a.).

Hinsichtlich der Tierhaltung dominiert im Projektgebiet die **Milchviehhaltung** mit 55 Nennungen (33 %) gefolgt von der **Rindermast** mit 45 Nennungen (27 %). Rinderhaltende Betriebe haben sich in der Vergangenheit häufig für das Betreiben einer Biogasanlage als zusätzliche Einnahmequelle entschieden

Insgesamt betreiben 13 der antwortenden Betriebe (165) **Biogasanlagen**, davon 6 in Kombination mit Milchkuhhaltung und zwei als Erweiterung zur Rindermast. Somit stehen insgesamt 8 Biogasanlagen auf Rinderbetrieben, das entspricht 61,5 % der Anlagen. Die verbleibenden 5 Biogasanlagen befinden sich auf Betrieben mit Mastschwein- oder Geflügelhaltung und auf einem Ackerbaubetrieb. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen machten in den letzten Jahren eine bedarfsgerechte Stromerzeugung aus Biogas zunehmend interessanter. Neben dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bewirkten auch Novellierungen im Baurecht (BauGB), dass sich Biogasanlagenbetreiber intensiver mit dem Thema auseinandersetzten. Darüber hinaus ist die Vergärung der eigenen Wirtschaftsdünger wie Gülle und Mist (Güllevergärung) eine wesentliche Maßnahme des Klimaschutzprogramms 2030 zur Erreichung der Klimaziele im Landwirtschaftssektor.

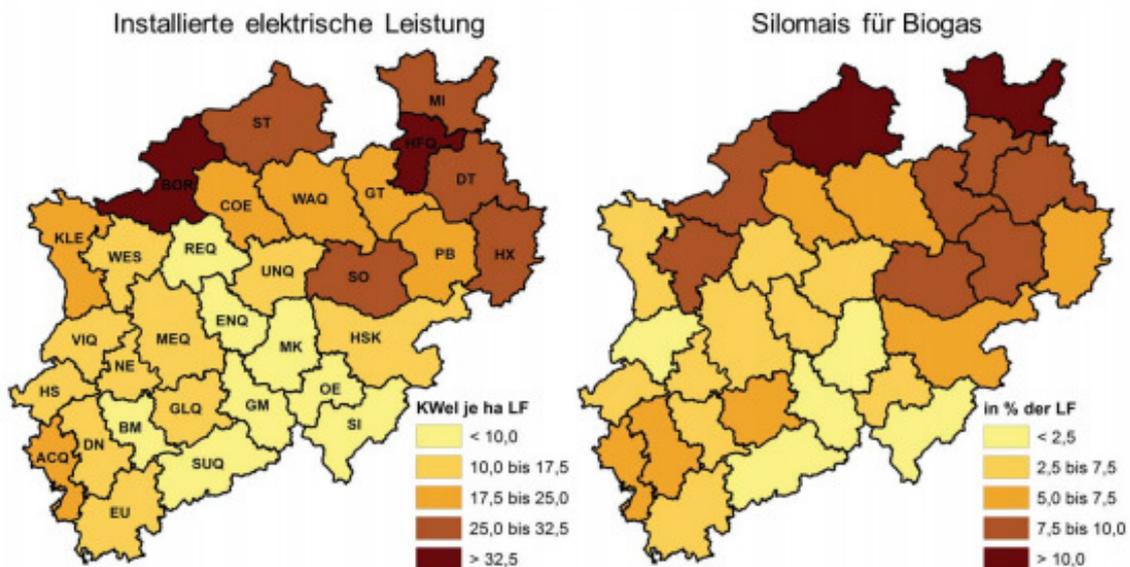


Abbildung 2: Installierte elektrische Leistung von Biogasanlagen und Silomaisanbau zur Biogaserzeugung 2016 (Landwirtschaftskammer NRW, Nährstoffbericht 2017)

Etwa 2,5 bis 7,5 % der Fläche werden im Kreis Recklinghausen für die Produktion von Silomais für Biogas beansprucht (LWK NRW, Nährstoffbericht 2017; vergleiche Abbildung 2). In den Kreisen Borken und Wesel werden 7,5 bis 10 % der Fläche für den Anbau von Energiemais verwendet. Würde man diesen Ansatz auf die Projektregion übertragen, so würden von den rund 7.550 ha LF etwa 560 bis 755 ha für den Anbau von Biogas beansprucht (7,5 % bis 10 % der LF). Insgesamt werden in der Region im Schnitt der Jahre 2020/21 etwa 2.720 ha Silomais angebaut. Vom angebauten Silomais im Projektgebiet gehen somit schätzungsweise 20 bis 25 % zur Energieerzeugung in die dortigen Biogasanlagen.

Im Bereich der **Schweinehaltung** – Mastschweine 28 Nennungen (17 %) und Zuchtsauen 11 Nennungen (7 %) – ist ein fortschreitender Rückgang der Betriebshalter, verbunden mit einer deutlichen Konzentration der Tierzahl, erkennbar. In den letzten Jahren sind kleinere Betriebe aus diesem Betriebszweig ausgestiegen. Die Vorgaben zur Verbesserung des Tierschutzes in der Sauenhaltung wie die jetzige Novellierung der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzTV) und die Nutztierhaltungsstrategie NRW stellen die Sauenhalter künftig vor weiter steigende Herausforderungen und erhebliche Investitionen in Stallumbauten. Die Zahl der Sauenhalter in Deutschland ist bereits seit Jahren rückläufig, der Trend wird sich verschärfen.

15 Geflügelhalter sind in der Region ansässig (von 165 Betrieben; 9 %). Neben den klassischen Haltungsformen (Hühnerhaltung, Hähnchenmast) zeigt sich ein deutlicher Trend hin zu modernen Hühnermobilen, stellen diese doch häufig eine zusätzliche Einnahmequelle für kleinere, direkt- oder regionalvermarktende Betrieben dar.

Schaf- und Ziegenhaltung ist gemessen an der gesamten Tierhaltung im Projektgebiet von untergeordnetem Rang. Für einzelne Betriebe ist dieses jedoch die Möglichkeit, Marktnischen zu besetzen.

Die Haltung von **Pferden** ist für viele Betriebe eher im Bereich der Hobbyhaltung einzuordnen. In der Befragung wurde dieser Bereich daher nicht weiter differenziert.

Der **Gemüsebau** (19 Nennungen; 12 %) und **Obstbau** (7 Nennungen; 4 %) ist im Vergleich zu anderen Regionen bedeutend vertreten. Gemüse wird vorwiegend im Freiland angebaut und vor allem im Sommerhalbjahr feldfrisch an die heimischen Verbraucherinnen und Verbraucher vermarktet. Damit die Pflanzen optimale Wachstumsbedingungen vorfinden, werden die Pflanzen regelmäßig über ein Bewässerungssystem mit Wasser versorgt. Insgesamt bewässern 29 Betriebe (von 165) ihre Kulturen. Damit werden eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen, hohe Erträge und hohe Nahrungsmittelqualitäten gewährleistet. Kartoffeln, Zwiebeln/Lauch, Spargel, Spinat, Möhren und Zuckerrüben werden auf etwa 700 ha angebaut, zuzüglich rund 70 ha spezielles Gemüse. Obst, Erdbeeren, Kernobst und Beerenobst werden auf weiteren 40 ha geerntet.

Die Vermarktung des Gemüses ist für Erzeugerinnen und Erzeuger eine große Herausforderung. Nur die ganz großen Betriebe setzen ihre Produkte direkt an den Lebensmitteleinzelhandel (LEH) ab, der große Mengen einkauft. Die mittleren und kleinen Erzeuger liefern an Erzeugergenossenschaften oder vertreiben ihre Produkte direkt im Hofladen oder auf dem Wochenmarkt (BLE 2021).

Der ökologische Landbau spielt bislang eine untergeordnete Rolle. Vier der 165 befragten Betriebe (2,5 %) wirtschaften nach den Vorgaben des Ökologischen Landbaus. Zwei Betriebe haben sich auf den Gemüseanbau spezialisiert, ein Betrieb auf den Obstanbau und ein Betrieb hält zusätzlich Bio-Geflügel. Insgesamt werden im Projektgebiet 61 ha ökologisch bewirtschaftet. Davon 15 ha Dauergrünland, 2,4 ha Ackerbohnen, 4 ha Hanf, 4 ha Gemüseerbsen, 7,7 ha Kartoffeln, 4,5 ha Kernobst, 4 ha Klee gras, 4,4 ha Mais, 2,2 ha Mischkultur, 7,8 ha Kürbis, 2 ha Sommerweichweizen, 1,2 ha Winterroggen und 1,8 ha Ackergras und Brache.

Die wesentlichen Unterschiede des Ökologischen Landbaus zum konventionellen Anbau liegen im Bereich der Düngung (Wirtschaftsdünger, Gründüngung, leichtlösliche Mineraldünger sind nicht zugelassen), des Pflanzenschutzes (Einsatz von Nützlingen, Verbot von chemisch-synthetischen Mitteln), der Tierhaltungsverfahren (flächengebundener Viehbesatz, Auslauf, bei Rindern meist Weidehaltung) und der Fütterung (95 % Biofutter, genverändertes Futter ist verboten).

Ende 2020 wurden in Nordrhein-Westfalen 2.252 landwirtschaftliche Betriebe mit 96.017 Hektar Fläche ökologisch bewirtschaftet. Das sind 6,7 Prozent aller landwirtschaftlichen Betriebe und 6,5 Prozent der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche in NRW (deutschlandweit um die 10 % der

Fläche). Im Projektgebiet werden ca. 0,8 % der Fläche ökologisch bewirtschaftet und damit deutlich weniger als im Bundes- oder NRW-Durchschnitt.

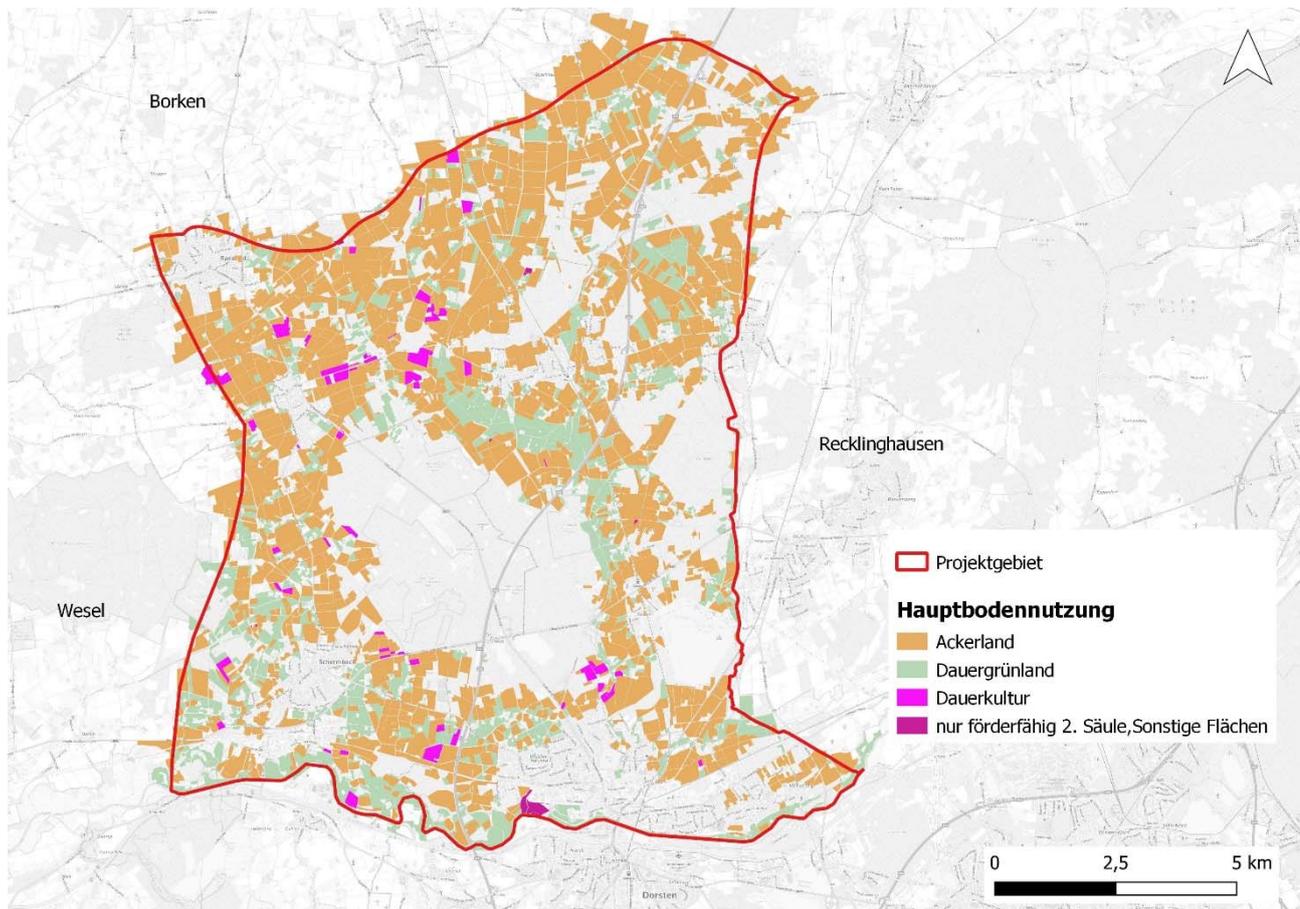
2.7 Bodennutzung

Dauergrünland nimmt im Projektgebiet eine Fläche von 1.785 ha in 2020 und von 1.871 ha in 2021 ein (entspricht einen Anteil von 24 %). Ackernutzung erfolgt auf 5.633 ha in 2020 und auf 5.930 ha in 2021, das entspricht einen Anteil von 75 %. Die Hauptbodennutzungen werden in der nachfolgenden Karte 3 dargestellt.

Die häufigste Form der Grünlandnutzung ist die Mähweide, d.h. die Flächen werden sowohl gemäht als auch von den Tieren beweidet. Zu den Grünlandbewirtschaftern zählen insbesondere auch die kleineren Betriebe, welche mit vergleichsweise geringem Maschinenaufwand arbeiten. Besonders kleine Bestände an Pferden oder Wiederkäuern (auch Schafe) verwerten hierbei Restgrünlandparzellen.

Der Anteil der Dauerkulturen ist von 2020 leicht gestiegen auf 194 ha in 2021. Zu den Dauerkulturen gehören u.a. Spargel, Rhabarber, Kernobst, Beerenobst, Haselnüsse. Der Anstieg ist v.a. durch eine Zunahme des Spargelanbaus zu erklären. Erdbeeren werden im InVeKoS (= **I**ntegrierte **V**erwaltungs- und **K**ontrollsystem von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedstaaten) nicht zu den Dauerkulturen gezählt, sondern fallen unter die Ackernutzung.

In der Abbildung 3 auf der Seite 23 werden die Hauptanbaukulturen im Projektgebiet der Jahre 2020 und 2021 verglichen. Jährliche Abweichungen der einzelnen Kulturanbaufläche ergeben sich naturgemäß durch die übliche mehrjährige Fruchtfolgegestaltung.



Karte 3: Hauptbodennutzung des Projektgebietes innerhalb des Feldblockkatasters (Feldblockkataster, Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)

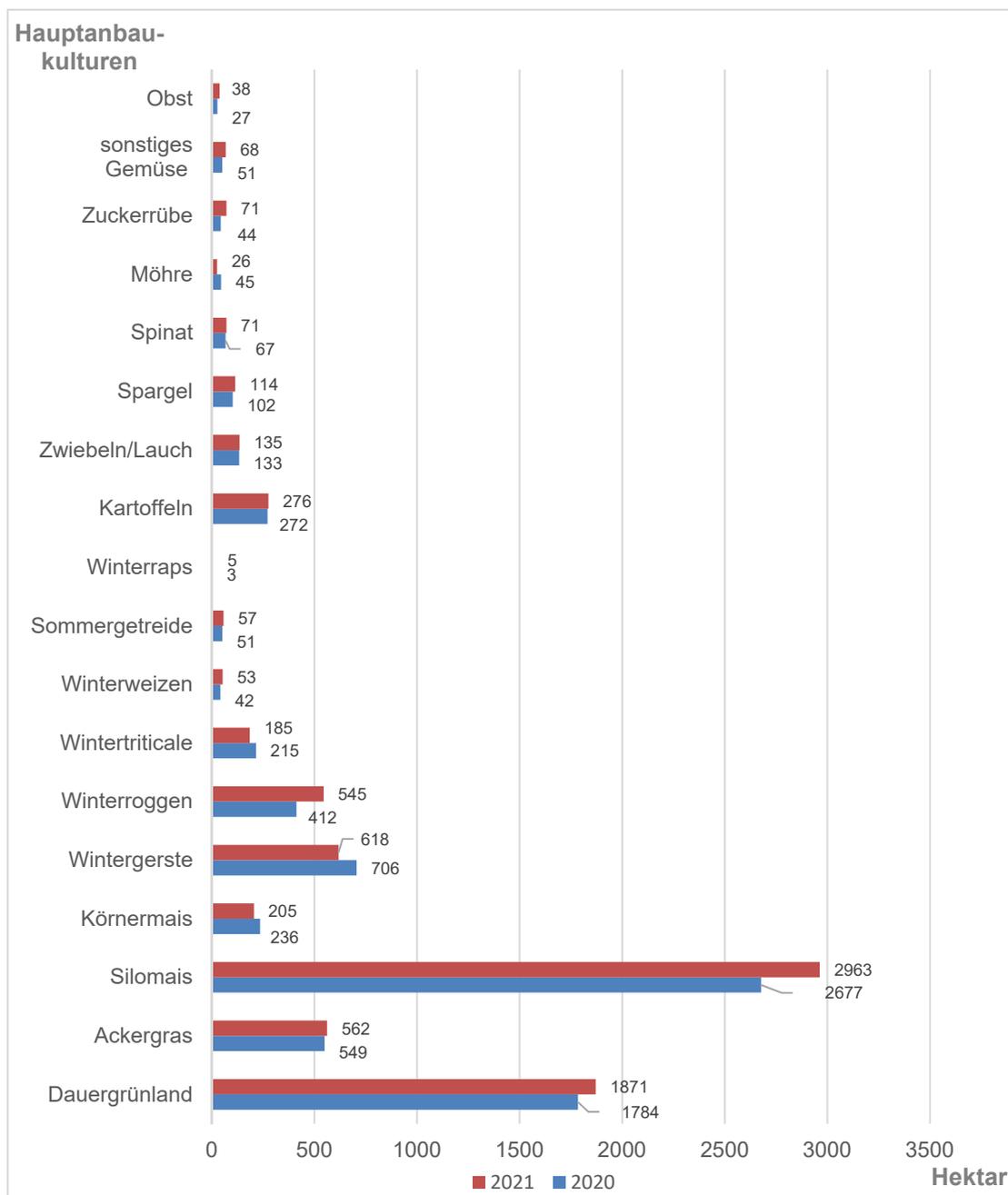


Abbildung 3: Hauptanbaukulturen im Projektgebiet in ha (Vergleich der Jahre 2020 mit 2021)

In der Fruchtfolge dominiert in beiden Jahren mit 2.677 ha bzw. 2.963 ha der Silomais (35 % 2020; 39 % 2021). Gefolgt von Ackergras mit 549 ha in 2020 und 562 ha in 2021. Damit umfasst der **Futteranbau** 43 % der Fläche.

Der **Getreideanbau** erfolgte 2020 und 2021 auf durchschnittlich 1.662 ha (22 %). Insbesondere die natürlichen Standortbedingungen wie Bodenqualität und Wasserversorgung sowie die Verwertungsmöglichkeiten im eigenen Betrieb begünstigen den hohen Flächenanteil von Wintergetreide: 706 ha (618 ha) Wintergerste, 412 ha (545 ha) Winterroggen, 215 ha (185 ha) Wintertriticale, 42 ha (53 ha) Winterweizen und 236 ha (205 ha) Körnermais. **Sommergetreide** (Hafer und Gerste) wurden insgesamt auf 51 ha (57 ha) ausgesät.

Im Projektgebiet waren 21 ha LF aus der Erzeugung genommen (Brache, Stilllegung).

Der **Gemüseanbau** kennzeichnet diese Region, denn auf den sich schnell erwärmenden Sandböden ist eine frühere Bestellung im Frühjahr möglich als auf Lehm- oder Tonboden und bietet damit gute Chancen für eine zeitige Marktbeschickung zu attraktiveren Erzeugerpreisen. Insgesamt werden von 19 Betrieben auf etwa 715 ha Gemüse (9,5 %; 760 ha in 2021) angebaut. Kartoffeln, Zwiebeln/Lauch, Spargel und Spinat sind in etwa auf Vorjahresniveau, während der Möhrenanbau zu Gunsten der Zuckerrüben um 20 bis 30 ha reduziert wurde.

Von sieben Betrieben wird auf 27,5 ha **Obst und Erdbeeren erzeugt**, davon

- 9,00 ha Beerenobst (9,70 ha in 2021),
- 4,55 ha Kernobst (gleichbleibend) und
- 13,90 ha Erdbeeren (24,30 ha in 2021).

Drei der befragten Betriebe haben sich auf beide Betriebszweige, Obst und Gemüse, spezialisiert. Neu und flächenmäßig wird die Palette der angebauten Kulturen in dieser Region durch den Anbau von Kräutern, von Leguminosen (Erbse und Bohne) und Medizinpflanzen zur Medikamentenherstellung bereichert.

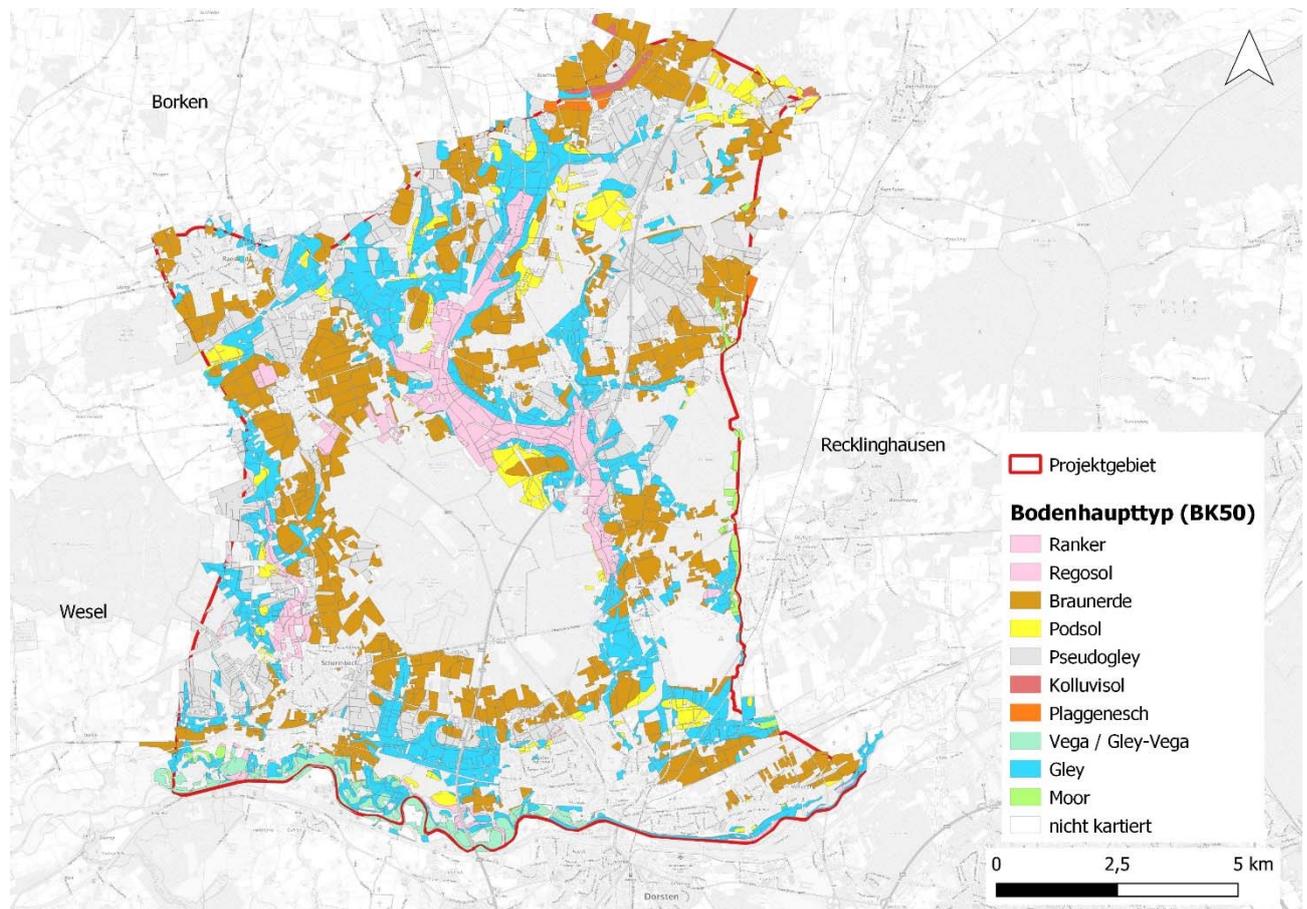
Winterraps verliert an Attraktivität im Vergleich zu den anderen Kulturen und wird nur noch auf 2,75 ha (5 ha in 2021) angebaut (vgl. Abbildung 3).

Gerade die Landwirte/innen im Projektgebiet versuchen über die **Strategie der Diversifizierung** ihre Betriebe nachhaltig und langfristig zu sichern. Sie versuchen damit eine höhere Wertschöpfung zu erzielen und ihr unternehmerisches Risiko auf mehrere Standbeine zu verteilen. Dies ist in der heutigen Zeit sehr wichtig, um die Auswirkungen volatiler Märkte abzupuffern und Anpassungen an die Klimafolgen rechtzeitig zu integrieren.

2.8 Bodenart, -eigenschaften und -bearbeitung

In diesem Kapitel werden zunächst die Bodentypen und Bodenarten im Projektgebiet vorgestellt, die in dieser Region zur Ernährungssicherung beitragen. Ein guter Boden ist **Produktionsgrundlage** für die Landwirtschaft und darüber **hinaus existenzielle Basis für die Erzeugung hochwertiger und gesunder Nahrungsmittel**. Im Hinblick auf die Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen werden der Wasser- und Lufthaushalt, der Humusgehalt und die nutzbare Feldkapazität (nFK), ein Maß für das Wasserspeichervermögen des Bodens, genauer beleuchtet. Auch Bodenart hat neben den zuvor genannten Eigenschaften einen direkten Einfluss auf die Wassereigenschaften des Bodens. Im Anschluss folgt dann die Auswertung der Betriebe, die im Projektgebiet berechnen.

Vorherrschende Bodentypen sind Braunerden, Gleye und Podsole, die durch verschiedene Bodenarten geprägt werden. Die **Bodenart** beschreibt die Zusammensetzung des Bodens bezüglich der Korngrößenzusammensetzung – Sand, Schluff und Ton – der mineralischen Bodensubstanz (BOKU 2021). In der nachfolgenden Karte 4 sind die Bodenhaupttypen (BK 50) dargestellt.

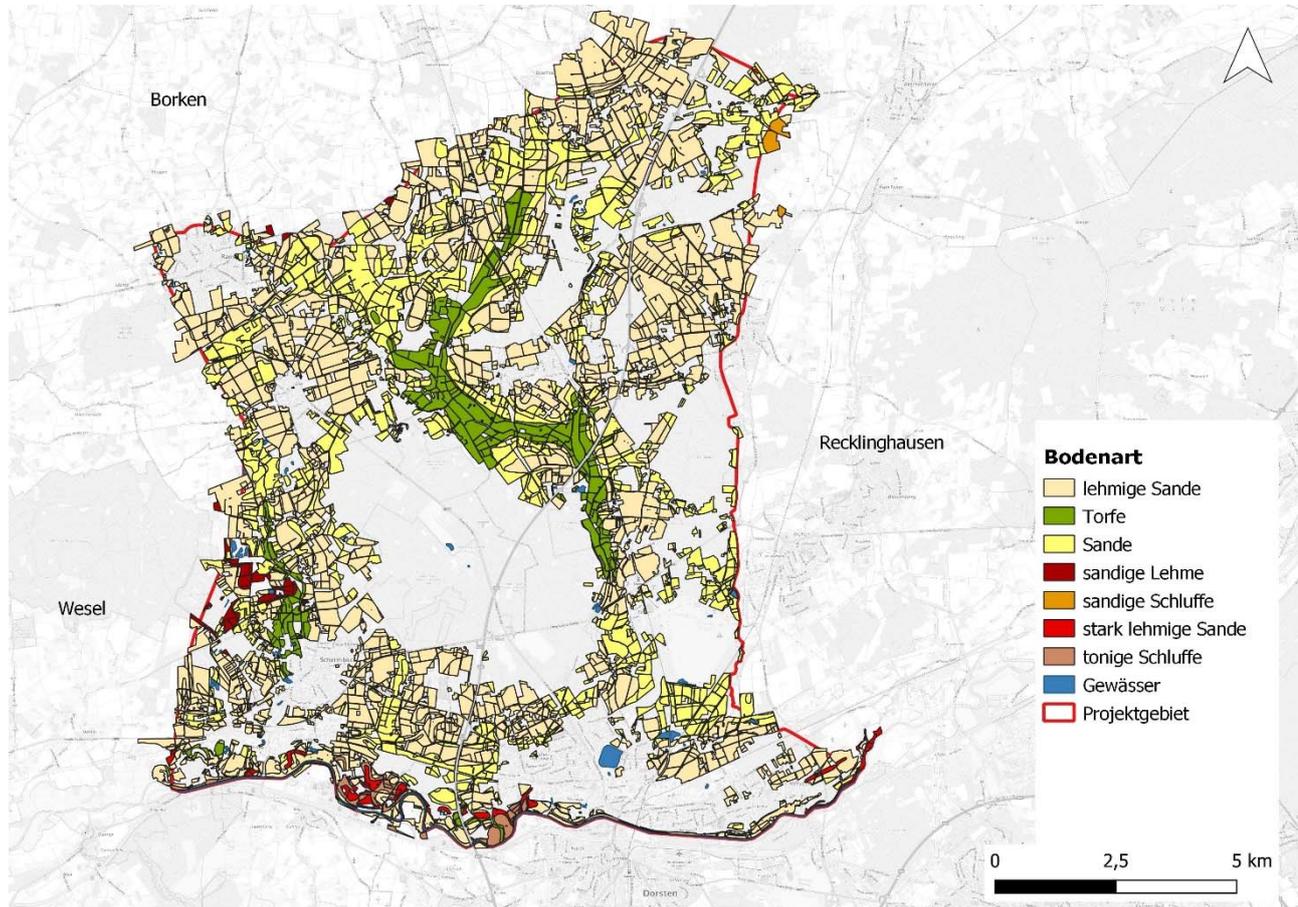


Karte 4: Bodenhaupttyp (BK50) im Projektgebiet innerhalb des Feldblockkatasters (Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)

Je nach Zustand und Eigenschaften der einzelnen Bodentypen sind die Speichereigenschaften sehr unterschiedlich. Boden ist ein Gemenge aus sehr unterschiedlichen Bestandteilen: mineralische und organische Bestandteile (Humus), Wasser, Luft und Bodenlebewesen. Für die Pflanzen ist das Bodenwasser je nach Bodenart und -zusammensetzung unterschiedlich verfügbar. Pflanzen und Boden können deshalb nur gemeinsam betrachtet werden (LWK NDS 2018).

Je nach Zusammensetzung des Bodens unterscheidet sich deren Fähigkeit Wasser zu speichern. Ein vorwiegend sandiger Boden (S) speichert weniger Wasser als Böden mit hohen Schluff- (U), Ton- (T) oder Lehmantilen (L; Gemisch aus allen drei Hauptgruppen – Sand, Schluff und Ton in unterschiedlichen Anteilen). Je weniger Wasser ein Boden speichert, desto kürzer ist der Zeitraum, in dem er Pflanzen in Trockenphasen ausreichend mit Wasser versorgen kann (LWK NDS 2018; SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2018).

Nach der Auswertung der Erhebungsbögen ist die Hauptbodenart mit 124 Nennungen der Sand, 22 Betriebe gaben Mischformen von Sand/Lehm an und nur 7 Betriebe wirtschaften auf lehmigen Böden. In der nachfolgenden Karte 5 werden die Bodenarten des Projektgebietes dargestellt. Die Bodenart ist von zentraler Bedeutung und hat weitreichende Auswirkungen auf zahlreiche Bodeneigenschaften. Dazu zählen die Durchwurzelbarkeit, die Porengrößenverteilung, die Speicherefähigkeit für Wasser, Luft und Nährstoffe sowie die Bodenbearbeitbarkeit und –befahrbarkeit.



Karte 5: Bodenart (GEOLOGISCHER DIENST NRW, eigene Darstellung)

Sandböden sind leichte Böden. Sie sind gut befahrbar und leicht zu bearbeiten (weniger Zugkraft als bei schweren Böden erforderlich). Sie haben eine grobkörnige Struktur und große, überwiegend luftgefüllte Poren. Daher ist die Wasserhaltefähigkeit gering, die Durchlässigkeit sowie die Luftführung gut und die Böden erwärmen sich im Frühjahr schnell (siehe Tabelle 2). Diese Kombination der Eigenschaften ist für viele Landwirte ein Grund Gemüse oder Sonderkulturen anzubauen. Nachteilig ist, dass die Böden meist nährstoffarm sind und eine vergleichsweise geringe Ertragskraft aufweisen, weil bereits nach kurzer Trockenphase Wassermangel auftreten kann. Mit der Durchführung der Bewässerung kann dieser Nachteil jedoch ausgeglichen und auch auf Sandböden der Ertrag gesichert bzw. gesteigert werden.

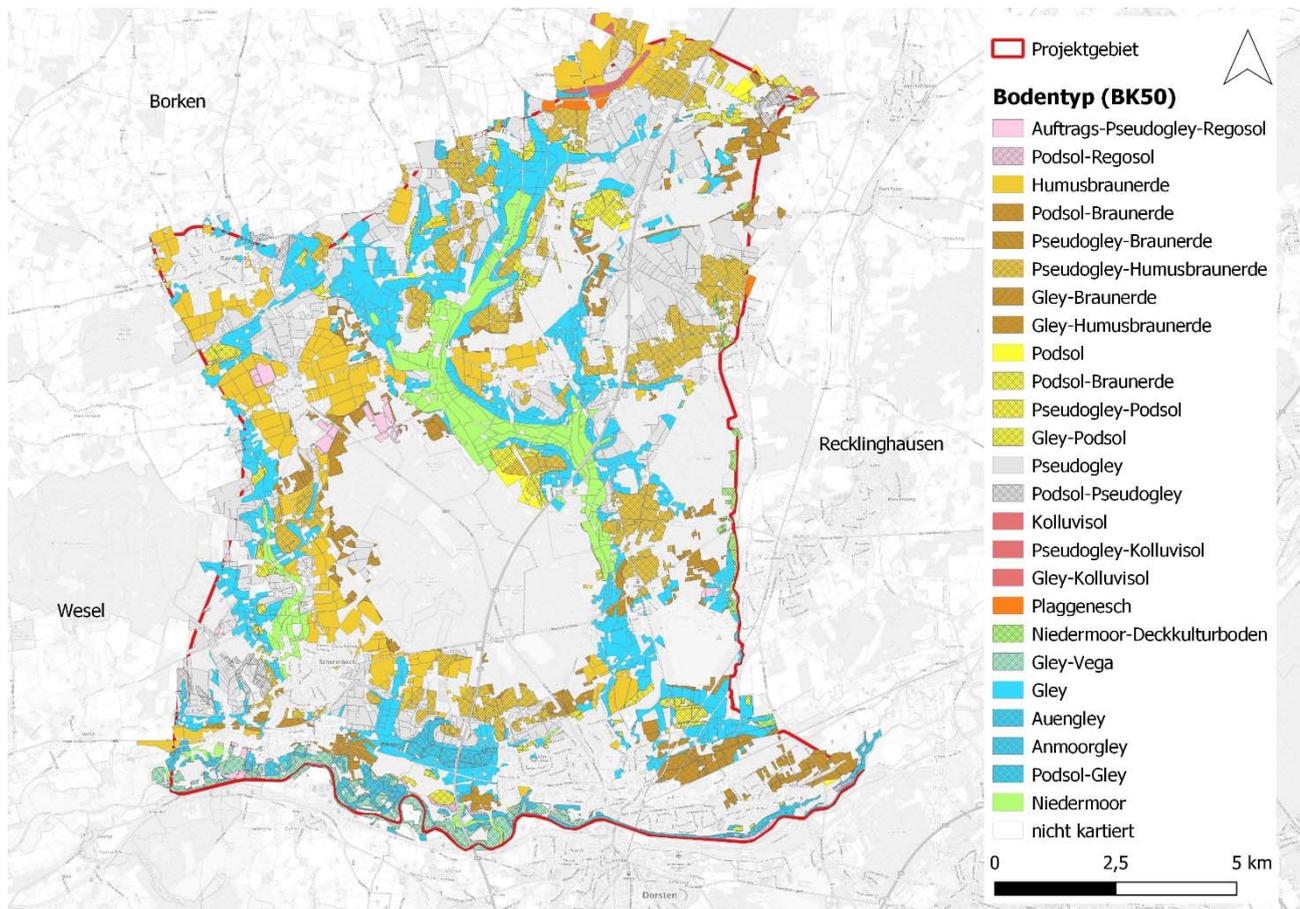
Tabelle 2: Eigenschaften der Bodenarten (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2018).

Eigenschaft/Bodenart	Eigenschaften der Bodenarten				Legende zur Tabelle	
	Sand	Schluff	Ton	Lehm	Signatur	Bedeutung
Bearbeitung	++	±	--	+	++	sehr gut (sehr hoch)
Nährstoffspeicherung	--	-	++	+	+	gut (hoch)
Nährstoffnachlieferung	-	+	+	++	±	befriedigend (mittel)
Schadstoffakkumulation	-	+	++	++	-	schlecht (wenig)
Wasserkapazität	--	+	++	++	--	sehr schlecht (sehr wenig)
Wassernachlieferung	-	++	-	+		
mechanische Filterung	+	++	-	+		
physiko-chemische Filterung	--	-	++	+		
Dränung	++	--	-	±		
Erodierbarkeit	±	+	--	-		
Struktur des Bodens	-	+	-	++		

Bodentyp

Als Bodentyp werden in der Bodenkunde unterschiedliche Erscheinungsformen von Böden bezeichnet, die übereinstimmende Merkmale in Form von Bodenhorizonten hervorgebracht haben und somit einen ähnlichen Entwicklungsstand aufweisen. Wenn man Böden aufgräbt, sind hinsichtlich Substrat und/oder Färbung differenzierte „Schichten“ zu erkennen, die als Bodenhorizonte bezeichnet werden. Anhand der Bodenhorizontabfolge werden Böden in der Bodenklassifikation (weltweit nach verschiedenen Systemen) eingeteilt.

In der Karte 6 werden die Bodentypen des Projektgebietes dargestellt.



Karte 6: Bodentypen (BK50) im Projektgebiet innerhalb des Feldblockkatasters (Landwirtschaftskammer NRW 2021, eigene Darstellung)

Wasserhaushalt

Die **Wasserhaltefähigkeit** eines Bodens steht in direkter Beziehung zur Porengrößenverteilung und damit zur Bodenart. Das Wasser wird in den Poren des Bodens transportiert und gebunden, das Maß hierfür ist die Wasserspannung, der sog. pF-Wert (gemessen in cm Wassersäule). Neben der Bodenart bzw. Körnung und dem Humusgehalt wird die Wasserhaltefähigkeit auch durch das Bodengefüge beeinflusst. Die verschiedenen Porengrößen lassen sich der Größe nach gruppieren; ihre besonderen Eigenschaften der Porengrößen bezüglich des Wasser- und Lufthaushaltes sind in der nachfolgenden Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Definition der Kennwerte zum Wasser- und Lufthaushalt (GEOLOGISCHER DIENST NRW 2021)

Definition der Kennwerte zum Wasser- und Lufthaushalt				
Saugspannung in hPa	< 63	63 bis < 300	300 bis < 15 000	≥ 15 000
pF-Wert	< 1,8	1,8 bis < 2,5	2,5 bis < 4,2	≥ 4,2
Porenäquivalent in µm	> 50	50 bis > 10	10 bis > 0,2	≤ 0,2
Porenbezeichnung	weite Grobporen	enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Bodenwasser	schnell bewegliches	langsam bewegliches	pflanzenverfügbares	nicht pflanzenverfügbares
	Sickerwasser		Haftwasser	
trockene Böden				
nasse Böden	Luftkapazität	nutzbare	Feldkapazität	Totwasser
Kennwerte	Feldkapazität			
	Gesamt-Porenvolumen			

trockene, grundwasserfreie Böden mit den Grundwasserstufen 4 bis 6 und nicht oder wenig staunässebeeinflusste Böden mit den Staunässestufen 0 bis 3

- die engen Grobporen sind im zeitlichen Mittel häufiger entleert
- die ungesättigte Wasserleitfähigkeit der Böden ist geringer
- die engen Grobporen werden daher zur Luftkapazität gerechnet

nasse, grundwasserbeeinflusste Böden mit den Grundwasserstufen 1A bis 3 und staunässebeeinflusste Böden mit den Staunässestufen 4 bis 5

- die engen Grobporen sind im zeitlichen Mittel häufiger wassergefüllt
- die ungesättigte Wasserleitfähigkeit der Böden ist höher
- die engen Grobporen werden daher zur Feldkapazität und nutzbaren Feldkapazität gerechnet

Die Bezugstiefe der Berechnung

- ist üblicherweise die effektive Durchwurzelungstiefe, die die Tiefe des effektiven Wurzelraums angibt; sie ist nicht identisch mit der Mächtigkeit der durchwurzelbaren Schicht und nicht identisch mit der physiologischen oder im Gelände erfassbaren Durchwurzelung
- kann auf Anfrage verändert werden
- wird im Kennwerte „Tiefe“ widerspiegelt.

Mit abnehmendem Porendurchmesser wird das Wasser fester in diesen Poren gebunden. Je kleiner der Porendurchmesser ist, umso höher ist die Saugspannung (in cm Wassersäule „WS“), mit der das Wasser entsprechend den Bedingungen in einer feinen Kapillare festgehalten wird. Sinkt der Wassergehalt, muss die Pflanze mehr Kraft (Wurzelsaugspannung) aufbringen, um dem Boden Wasser zu entziehen (BOKU 2021).

Humus hat viele positive Eigenschaften, die sich auf die Bodenqualität auswirken, darunter auch auf den Bodenwasserhaushalt. Humus ist die abgestorbene organische Substanz im Boden, die vorwiegend aus zersetzten oder sich in Zersetzung befindenden Pflanzenresten besteht. Diese organische Substanz dient den Mikroorganismen im Boden als Nahrung (Bodenlebewesen).

Darüber hinaus wird Humus an Tonteilchen gebunden (Ton-Humus-Komplex), was sich positiv auf das Bodengefüge auswirkt. In der Folge sind gut mit Humus versorgte Böden weniger anfällig für Erosion durch Wind und Wasser. Die dunkle Färbung der Böden durch die Huminstoffe sorgt für eine **frühzeitigere Erwärmung des Bodens** (LWK NDS 2018).

Humus besitzt eine hohe Wasserspeicherkapazität; er vermag etwa das 3- bis 5-fache seines Eigengewichtes an Wasser zu speichern. Dies ist durch seine große spezifische Oberfläche möglich.

Die organische Substanz hat durch die aggregierende Wirkung außerdem eine indirekte Wirkung auf die Porengrößenverteilung und den Wasserhaushalt. In Sandböden bestimmt deswegen der Humusgehalt maßgeblich die Feldkapazität (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2018). Soll also vor allem im Sandboden mehr Wasser im Boden gehalten werden, so muss der Fokus auf den Humusgehalt gelegt werden.

Nutzbare Feldkapazität (nFK) (GEOLOGISCHER DIENST NRW)

In einem Boden, der durch ergiebige Niederschläge wassergesättigt ist, stellt sich nach etwa drei niederschlagsfreien Tagen ein Gleichgewicht zwischen Wasserleitung und Wasserspeicherung ein, wenn der Boden nicht durch Grundwasser oder Staunässe beeinflusst wird.

Die Poren, die nach diesen drei Tagen noch Wasser enthalten und dieses den Pflanzen zur Verfügung stellen können, bestimmen die nutzbare Feldkapazität. Messtechnisch sind das die engen Grobporen (10 bis 50 μm) und die Mittelporen (0,2 bis 10 μm), die bei Saugspannungen von pF 1,8 bis unter pF 4,2 entwässert werden.

Bei grundwasserfreien Böden und nicht staunässedominierten Standorten ist die nFK das wesentliche Maß für die Bodenwassermenge, die den Pflanzen (in Trockenphasen) zur Verfügung steht. Sie macht einen großen Teil der Bodenfruchtbarkeit aus und bestimmt neben den klimatischen Bedingungen entscheidend die Häufigkeit von Wassermangel und damit die Ertragssicherheit.

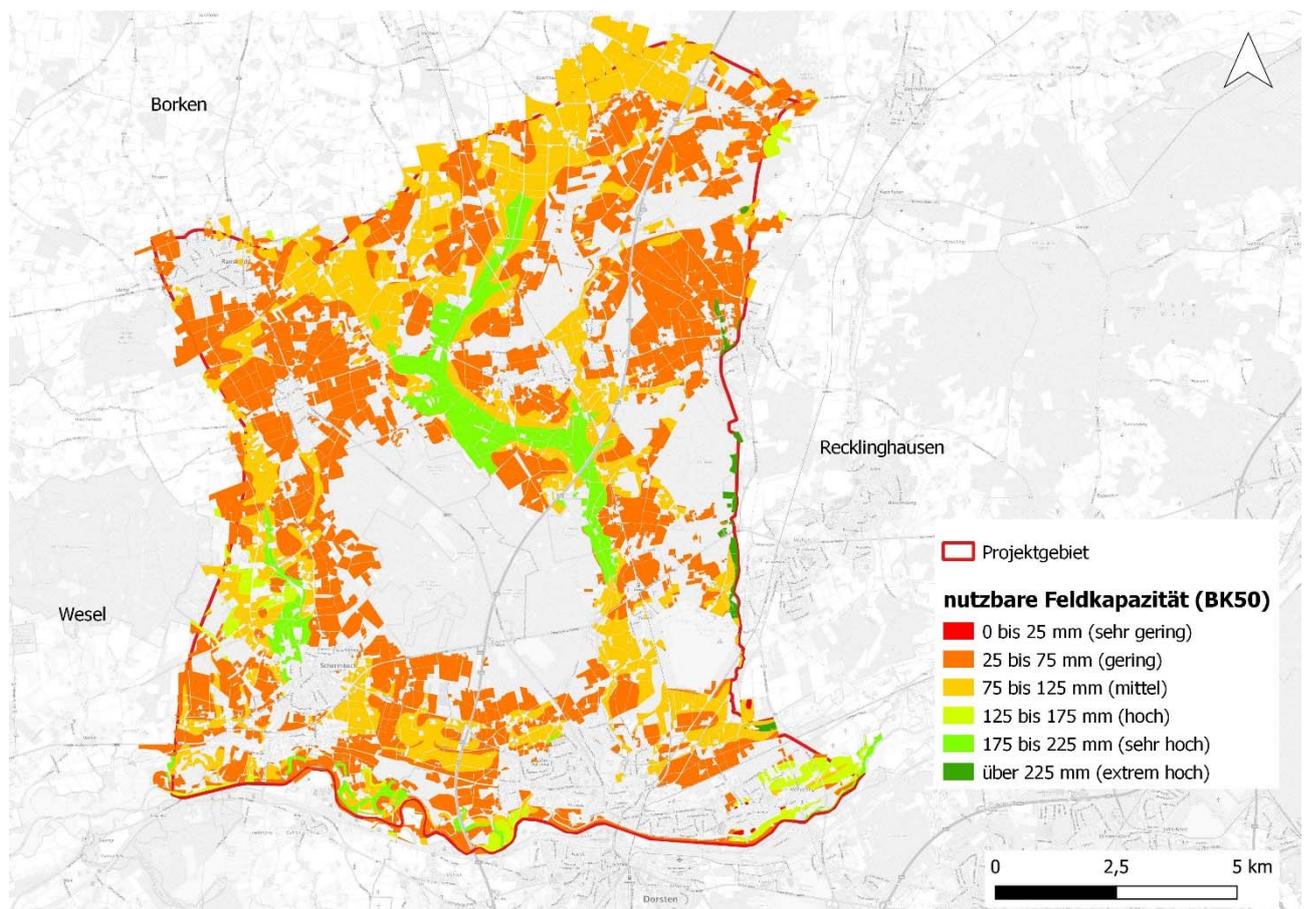
Die Berechnung der nFK greift auf die quantifizierten Angaben der Bodenartenschichtung sowie auf bodenartenspezifische Kennwerte der bodenkundlichen Kartieranleitung zurück. Berechnet wird die nFK je Bodenartenschicht aus dem Anteil der Bodenarten bei mittlerer Lagerungsdichte, korrigiert

durch volumenprozentuale Abschläge für den Grobbodenanteil bzw. durch Zuschläge für die Humusgehalte. Die Summe der nFK aller Bodenartenschichten über die Bezugstiefe der Berechnung ergibt die nFK des Bodenkörpers.

In der Berechnung nicht fassbar sind Faktoren wie die Gefügeentwicklung, biogene Grobporen wie Wurm- und Wurzelgänge, Feinschichtungen, Bänderungen oder Linsenbildungen oder die Auswirkungen von Vererdung, Sackung und Benetzungshemmung in entwässerten Torfen.

Die Bezugstiefe der Berechnung ist üblicherweise die effektive Durchwurzelungstiefe (GEOLOGISCHER DIENST NRW 2021).

Neben den unten aufgeführten Teilaspekten ist das **Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung** (klimatische Wasserbilanz) für die Wasserversorgung der Pflanzen von erheblicher Bedeutung. Diese Größen fließen in die Auswertung zur nFK nicht mit ein.



Karte 7: Nutzbare Feldkapazität (BK50) im Projektgebiet innerhalb des Feldblockkatasters

Berechnung der nutzbaren Feldkapazität (MARX 2021)

Die Feldkapazität (FK) beschreibt den Wasseranteil, den der Boden gegen die Schwerkraft halten kann (oder das Wasser, welches nach drei Tagen noch nicht versickert ist). Werte über 100 Prozent sind möglich, denn auch bei einer vollen Feldkapazität ist der Boden nicht vollständig mit Wasser gesättigt, da in den Grob- und Makroporen noch Luft enthalten ist. Bei Niederschlag kann der Boden daher mit einem höheren Wassergehalt versehen sein als über die Feldkapazität bestimmt ist. Der Welkepunkt (WP) beschreibt den Punkt, ab dem so wenig Wasser im Porenvolumen ist, dass Pflanzen es nicht mehr aufnehmen können.

Die nutzbare Feldkapazität (nFK) beschreibt den Wassergehalt des Bodens zwischen dem Welkepunkt und der Feldkapazität in Prozent. Da der Boden mehr Wasser aufnehmen kann als die Feldkapazität angibt, liegt der Wertebereich zwischen 0 und (je nach Bodenart) >250 Prozent.

Zur Berechnung wird der aktuelle, mit dem Modell mHM berechnete Bodenwassergehalt (BWG) benötigt:

$$\text{nFK [\%]} = (\text{BWG [mm]} - \text{WP [mm]}) / (\text{FK [mm]} - \text{WP [mm]})$$

Im UFZ-Dürremonitor (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung) wird die tagesaktuelle Bodenfeuchte genutzt, um die Wasserversorgung von Pflanzen mithilfe der nFK zu beschreiben. Dabei wird die Bodenschicht 0-25cm Tiefe genutzt.

Als Richtwerte zur Einordnung von Wasserstress können genutzt werden:

<50 % nFK: Landwirtschaftliche Bewässerung zur optimalen Ertragsausbeute notwendig

<30 % nFK: Pflanzenwasserstress.

Diese variieren aber u.a. in Abhängigkeit von Pflanzenart und Lagerungsdichte des Bodens.

Um den Wassergehalt des Bodens im Hinblick auf die Versorgung der Pflanzen zu charakterisieren, wird der noch verfügbare Anteil der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben. Die Wasserversorgung ist bei vielen Pflanzen unterhalb eines Wassergehaltes von 50 % nFK erschwert und Wachstumsdepressionen sind möglich (LWK NDS 2018).

Der durchwurzelbare Raum unterhalb der Geländeoberfläche beträgt bei Sandböden (S) 60 cm. Daher ergibt sich folgende Rechnung: Effektiver Wurzelraum * nutzbare Feldkapazität = Menge pflanzenverfügbares Wasser im durchwurzelten Bodenprofil (6 dm * 10 mm/dm = 60 mm) (Arbeitsgruppe Boden 2005).

Bei 100 % nFK sind 60 mm Wasser pflanzenverfügbar im Boden gespeichert. Dementsprechend befinden sich bei 50 % nFK 30 mm Wasser im Boden, d.h., es stehen 30 mm Wasser zur Verfügung bevor Trockenstress einsetzt. Wenn man von 4 mm Verdunstung pro Tag ausgeht, ergibt sich folgende Rechnung: 30 mm / 4 mm = 7,5 (gerundet 8 Tage).

Schlussfolgerung: Ein Sandboden kann für 8 Tage die Wasserversorgung der Pflanze sicherstellen, bevor Trockenstress eintritt. Bei Sandböden mit einer nutzbaren Feldkapazität von 100 Prozent beginnt der Landwirt deshalb laut Berechnung am 7. Tag mit der Bewässerung. **Besonders in trockenen Jahren ist eine Bewässerung daher zur Ertragssicherung notwendig.**

Kurzfristig kann die Pflanze durch das Schließen der Spaltöffnungen (Stomata) ihren Wasserhaushalt regulieren. Dies geschieht durch einen verminderten Wassereinstrom in die Schließzellen. Wichtig ist eine ausreichende Kaliumversorgung, da der Wassereinstrom dadurch gesteuert wird.

Langfristig gibt es mehrere Möglichkeiten für eine Pflanze, sich an Trockenheit anzupassen. Die Pflanze kann ein tieferes und stärker verzweigtes Wurzelwerk mit vielen Feinwurzeln ausbilden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Salze und andere Ionen in die Zellen einzulagern. Dadurch wird das Wasserpotential verringert und die Pflanze kann mehr Wasser aufnehmen.

Eine weitere **Strategie**, um sich an **Standort und Klimabedingungen** anzupassen, ist die Auswahl der angebauten Pflanzenart nach ihrer Photosynthese-Leistungsfähigkeit, **sog. C3- oder C4-Pflanzen**. Diese verfügen über unterschiedliche CO₂-Fixierung. Der überwiegende Teil höherer Pflanzen gehört zu den C3-Pflanzen, zu denen Weizen, Roggen, Kartoffeln zählen, im Gegensatz dazu gibt es die C4-Pflanzen, zu denen vor allem Gräser und Nutzpflanzen wie Mais, Hirse, Amarant und Zuckerrohr gehören. C3-Pflanzen betreiben unter normalen Temperatur- und Lichtverhältnissen Photosynthese. Bei heißem und trockenem Wetter schließen sich ihre Spaltöffnungen, wodurch ihre Photosyntheseleistung sinkt. Bei C4-Pflanzen kann das CO₂ im Blatt auch bei hoher Lichteinstrahlung und hohen Temperaturen effektiv weiter angehäuft werden (geschlossene Stomata). C4-Pflanzen wachsen dadurch schneller und bauen mehr Biomasse auf, was ihren landwirtschaftlichen Nutzen gegenüber anderen Pflanzen deutlich erhöht. **Entsprechend kommen C4-Pflanzen an vorwiegend trockenen Standorten besser zurecht.** C3-Pflanzen sind dagegen in humiden Klimazonen überlegen (DEUTSCHER BUNDESTAG 2019).

2.9 Betriebe mit Bewässerung

Ziel der **Bewässerung** ist es, den Wasservorrat des Bodens so zu ergänzen, dass Pflanzen auch Trockenzeiten gut überstehen können. Wie hoch die **Beregnungsbedürftigkeit** der Kulturen ist, hängt dabei von den **natürlichen Gegebenheiten des jeweiligen Standorts** ab (BLE 2019).

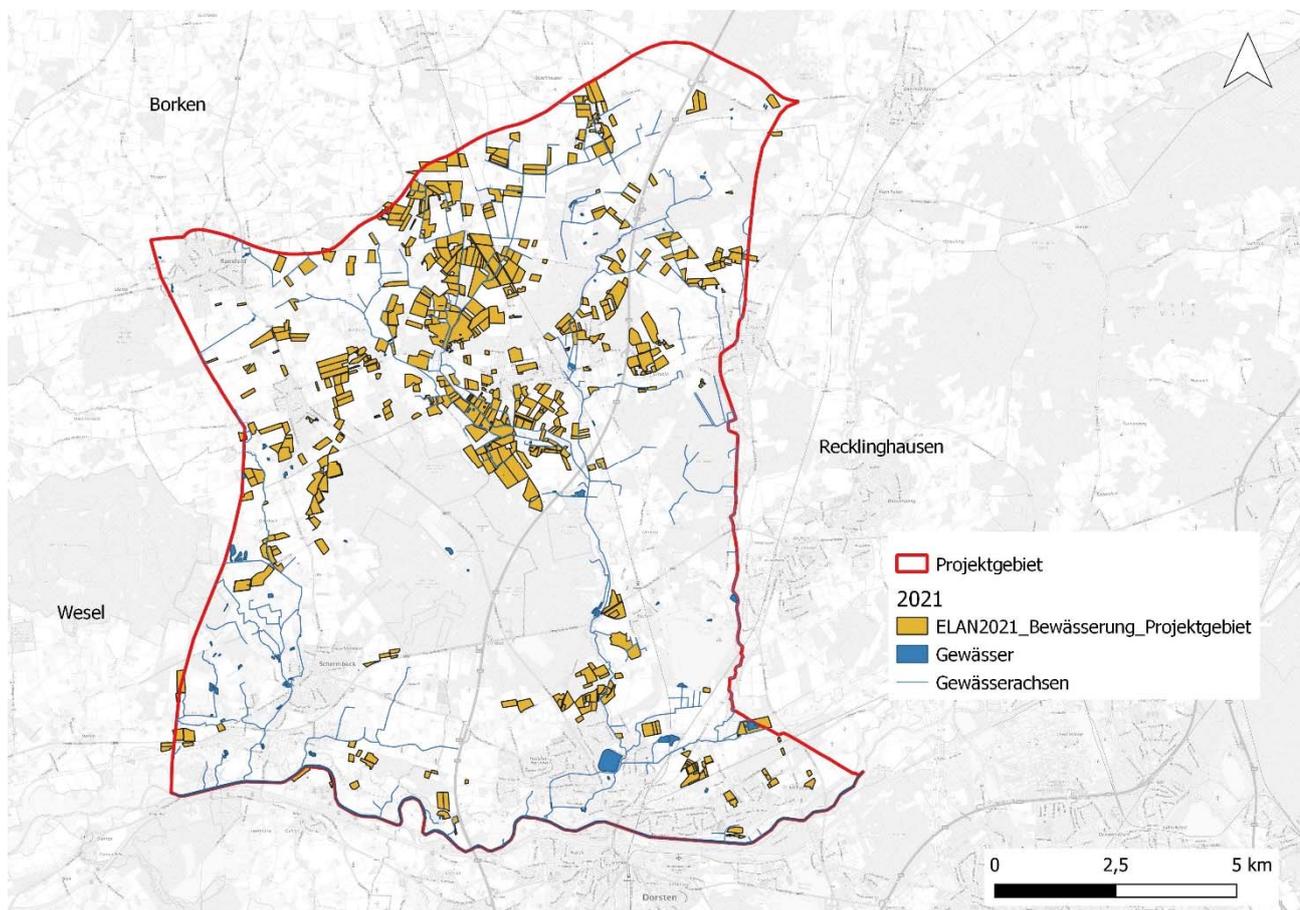
Betriebe mit Bewässerung werden in Zukunft zunehmen, da allein durch die **Klimaänderungen** (u.a. langanhaltende Trockenphasen, Erwärmung) Folgeanpassungen durch zusätzliche Wassergaben erforderlich werden, um das Defizit im Boden an pflanzenverfügbarem Wasser auszugleichen.

Von den insgesamt 165 Betrieben, die die Erhebungsbögen zurückgesendet haben, verfügen 29 Betriebe über eine Bewässerungsanlage. Insgesamt werden von diesen Landwirten etwa 1.500 ha bewirtschaftet. Von den insgesamt 1.500 ha werden etwa 890 ha (fast 60 %) beregnet (ergänzend

Karte 8). Der überwiegende Anteil, 25 Betriebe von 29 Betrieben, wirtschaftet auf sandigen Böden (S) (4 auf S, L).

Es wird ersichtlich, dass alle Betriebe, die Gemüse und Kartoffeln anbauen, ihre Kulturen beregnen. Dies zeigt deutlich, dass auf diesen Standorten (sandige Böden) nur mit einer Bewässerung **hohe Erträge und Qualitäten** erzielt werden können. Betriebe ohne Bewässerung verzichten aufgrund der Standortfaktoren auf den Gemüse- oder Kartoffelanbau.

Im Folgenden wird zunächst auf die Bodenbearbeitung der Bewässerungsbetriebe eingegangen. Danach wird u.a. der Zusammenhang zwischen Bodenbearbeitung und Verdunstung von Wasser über den Boden und der Pflanze (= Evapotranspiration; vgl. Abbildung 4 S. 36) und der Unterschied zwischen Beregnungsbedürftigkeit und –würdigkeit der Kulturen aufgezeigt.



Karte 8: Flächen, die von den Bewässerungsbetrieben im Projektgebiet innerhalb des Feldblockkatasters bewirtschaftet werden

Die **Bodenbearbeitung** dieser Betriebe erfolgt in der Regel mit dem Pflug oder Grubber. Zehn der 29 Betriebe pflügen ausschließlich, bei fünf Betrieben erfolgt eine Minimalbodenbearbeitung mit dem Grubber und 13 Betriebe führen eine Kombination aus beiden Verfahren durch (ein Betrieb ohne Angabe).

Häufig wird auch die Möglichkeit gesehen, auf einen Pflugeinsatz in trockenheitsgefährdeten Gebieten zu verzichten, indem eine geringere Evaporation durch Bedeckung der Erde mit Mulchschicht/Pflanzenmaterial erfolgt, also Minimalbodenbearbeitung durchgeführt wird. Die individuelle Umsetzung der jeweiligen Bodenbearbeitung ist allerdings von Betrieb zu Betrieb sehr unterschiedlich – so ergeben sich sowohl beim Pflugeinsatz als auch bei der Minimalbodenbearbeitung Vor- und Nachteile, die keine pauschale Empfehlung diesbezüglich zulassen. Hier ist nicht die Methode an sich Garant für den Erfolg, sondern das spezifische Wissen und die Erfahrung der Betriebsleiter sind von größter Bedeutung.

Im Gemüsebau beispielsweise ist der Pflugeinsatz wichtig, da vor der Pflanzung oder Aussaat ein „reiner Tisch“ (Rückstandsproblematik) bevorzugt wird. Der Pflug wird in der Regel gezielt und nach Bedarf genutzt. Gleichzeitig ist festzustellen, dass der Grubber verstärkt Aufgaben übernimmt, die bislang traditionell dem Pflug zugeordnet waren, wie zum Beispiel Unkräuter einarbeiten (DLG 2016).

Generell **könnte hier in Zukunft eine Anpassungsmöglichkeit bestehen, indem die konservierende Bodenbearbeitung auf geeigneten Flächen in der Fruchtfolge umgesetzt wird.** Dies setzt eine **einzelbetriebliche Beratung** im Bereich der Bodenbearbeitung voraus, um die vorhandenen Potentiale auszuschöpfen und Verbesserungen im Betrieb umzusetzen.

Für die **Ermittlung des potenziellen Beregnungsbedarfes** sind der Niederschlag, die Verdunstung durch Pflanzen über die Spaltöffnungen (Stomata) (= sog. Transpiration (T)) und Boden (sog. Evaporation (E)) erforderlich. Die Summe aus der Transpiration und Evaporation wird als Evapotranspiration (ET) bezeichnet (vgl. Abbildung 4, S. 36). Zur Ermittlung des Beregnungsbedarfes ist zudem noch die pflanzenverfügbare Wassermenge (nutzbare Feldkapazität in der durchwurzeltten Bodenschicht) maßgeblich.

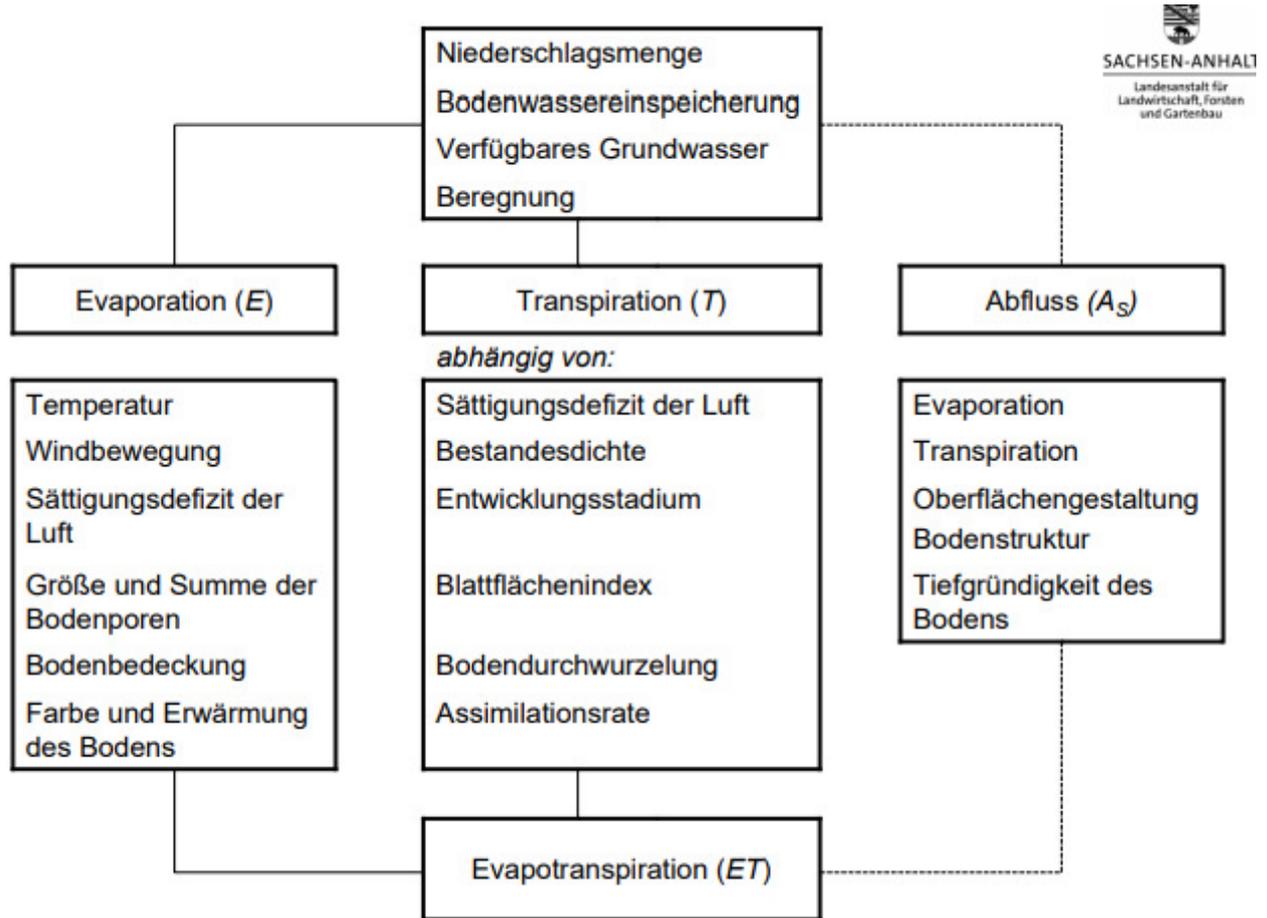


Abbildung 4: Abhängigkeiten von Evaporation und Transpiration (BISCHOFF et al. 2007)

Eine **Beregnungsbedürftigkeit** liegt vor, wenn der Wasserbedarf der Pflanzen nicht durch natürliche Regenfälle gedeckt werden kann. Sie wird durch die Niederschlagsmenge und -verteilung während der Vegetationsperiode und der Wasserspeicherefähigkeit des Bodens bestimmt (LWK NDS 2018). Eine Beregnungsbedürftigkeit ist gegeben, sobald der Wassermangel zu deutlichen Qualitäts- und Ertragseinbußen führt. **Gerade bei Kulturen wie z.B. Kartoffeln und Gemüse sind ohne Bewässerung die Qualitätsansprüche nicht bzw. kaum zu erreichen.**

Die Beregnungswürdigkeit geht der Frage nach, ob sich die Beregnung bei bestimmten Kulturen wirtschaftlich darstellen lässt – also ob Beregnung ökonomisch sinnvoll ist. Dies wird naturgemäß stark von den jeweiligen aktuellen Preisen für Agrarprodukte abhängen. Für die Bestimmung der Beregnungswürdigkeit werden die Kosten der Bewässerung für unterschiedliche Bewässerungsverfahren berücksichtigt. Den Kosten werden die Erlöse durch die Bewässerung gegenübergestellt, die vor allem aus dem bewässerungsbedingten Mehrertrag resultieren. Die zusätzlich erzielbare Marktleistung wird um die höheren Kosten für Vorleistungen bereinigt (SCHIMMELPFENIG et al. 2017).

Zu der Berechnungswürdigkeit von bestimmten Kulturen in Verbindung mit unterschiedlichen Klimaszenarien der Projektregion bzw. ausgewählter Betriebe wird die Universität Kassel im Rahmen einer Masterarbeit weitergehende Analysen durchführen. Insbesondere muss dabei ein Augenmerk auf die Auswahl der Klimaszenarien gelegt werden, da diese einen starken Einfluss auf die Verdunstungsrate und damit auf die Ergebnisse der Berechnungswürdigkeit haben.

Die Jahresberechnungsmenge kann im Zeitablauf in Abhängigkeit des Witterungsverlaufs sehr stark variieren (ANTER et al. 2017b).

Die nachfolgende Tabelle 4 gibt einen Überblick über den **Wasserbedarf für Berechnung verschiedener Kulturen**. Jede Kultur hat unterschiedlich hohe Ansprüche an die Wasserversorgung. Neben der insgesamt benötigten Menge spielt die Entwicklungsphase der Pflanze eine wichtige Rolle, denn in bestimmten Wachstumsphasen wirkt sich Trockenheit besonders negativ auf Ertrag und Qualität aus („Bewässerungsmanagement“) (LWK NDS 2018).

Tabelle 4: Standardwerte zur Ermittlung des Wasserbedarfs für Beregnung zur Beantragung einer wasserrechtlichen Erlaubnis (Landwirtschaftskammer NRW, SCHÖLER 2014)

Anbauverfahren	leichte Böden (Sand bis lehm. Sand)		mittlere bis schwerere Böden (sand. Lehm bis Lehm)		mm/Satz	m ³ /Satz	Bemerkungen
	mm/a	m ³ /(ha x a)	mm/a	m ³ /(ha x a)			
Weide	120 - 150	1.200 - 1.500	90 - 120	900 - 1.200			
Getreide	Wintergetreide	30	300	0	0		
	Sommergetreide	30 - 60	300 - 600	0 - 30	0 - 300		
Mais	90 - 120	900 - 1.200	30 - 60	300 - 600			
Zuckerrüben	90 - 120	900 - 1.200	30 - 60	300 - 600			
Kartoffeln	frühe	60 - 90	600 - 900	30 - 60	300 - 600		
	mittelfrühe	90 - 120	900 - 1.200	60 - 90	600 - 900		
	späte	120	1200	90 - 120	900 - 1.200		
Futterpflanzen	120	1.200	90 - 120	900 - 1.200			
Zweit- u. Zwischenfrucht	90	900	60	600			
Chicoree	(Inulin-Produktion)		60 - 90	600 - 900			
Raps	0	0	0	0			
Erbsen mit Nachbau Bohnen				1.200			
Gemüse	Gemüse (allg.)	100	1.000	100	1.000		
	Kopfkohl	120	1.200	120	1.200		
	Blumenkohl					120	1.200
	Buschbohnen	80	800	80	800		
	Möhren	120	1.200	120	1.200		
	Einlegegurken	120	1.200	120	1.200		
	Salat					50	500
	Kohlrabi					80	800
	Sellerie	120	1.200	120	1.200		
	Schwarzwurzeln	120	1.200	120	1.200		
	Petersilie	60	600	60	600		
	Porree	120	1.200	120	1.200		
	Sellerie	120	1.200	120	1.200		
	Spinat	60	600	60	600		
	Spargel	150	1.500	150	1.500		
	Lauchzwiebeln					40	400
	Zwiebeln	60	600	60	600		
Rhabarber	120	1.200	120	1.200			
Dill	110	1.100	110	1.100			
Schnittlauch	200	2.000	200	2.000			
Obst	allgemein	80	800	80	800		
	Erdbeeren	200	2.000	200	2.000		
	Erdbeeren Damm/Topf	250	2.500	250	2.500		
	Himbeeren	60	600	60	600		
Frostschutz-Beregnung	200	2.000	200	2.000			Nutzungswahrscheinlichkeit beachten! z. B.: Wenn sich aus den Witterungsaufzeichnung eine Anwendungswahrscheinlichkeit für alle 10 Jahr ergibt, muß dieser Wert durch 10 dividiert werden.

Standartwerte zur Ermittlung des Wasserbedarfs für Beregnung zur Beantragung einer wasserechtlichen Erlaubnis

- Angegeben ist der Bedarf in trockenen Jahren -

Im Einzelfall sind begründbare Abweichungen zu diesen Standartwerten sinnvoll

		bodenunabhängige Systeme		Bemerkungen
		mm/a	m ³ /(ha x a)	
Gewächshaus, nach Bewässerungstyp	Rohr-/Düsenbewässerung	1.500	15.000	
	Geschlossene Systeme	700	7.000	
	aride Bodenkultur	1.000	10.000	
	Gießwagen	400 - 600	4.000 - 6.000	
Freiland	Freilandgießwagen Tülle	500 - 700	5.000 - 7.000	
	Freilandgießwagen Brause	600 - 1.000	6.000 - 10.000	
	Stellflächen Microsprekier	800 - 1.200	8.000 - 12.000	
	Rohr- und Beregnungsmaschine	300	3.000	
	Schnittrosen (Freiland)	300	3.000	
	Zierpflanzen (Freiland)	300	3.000	
	Tulpen	60	600	
Baumschulen	Containerflächen	250 - 400	2.500 - 4.000	Tropfsysteme
	Container/Ballen ohne Regeneinfluss	800	8.000	10mm/d*80d
	Freiland im Pflanzjahr	200	2.000	500 - 2.500 m ³ je nach Boden
	Freiland ab 2. Pflanzjahr	100	1.000	500 - 1.500 m ³ je nach Boden

2.9.1 Bewässerungseinsatz (derzeit und zukünftig)

Ob an einem Standort eine Bewässerung notwendig ist, hängt von drei Faktoren ab: Klima, Boden und Anspruch der Kultur.

Von den 29 Bewässerungsbetrieben beziehen alle ihr Wasser aus Bohrbrunnen. Drei Betriebe entnehmen Wasser zusätzlich aus Oberflächengewässern.

Für die Entnahme von Grundwasser und Wasser aus Oberflächengewässern ist grundsätzlich eine wasserrechtliche Erlaubnis gem. §§ 8, 9 und 10 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) bei der Unteren Wasserbehörde zu beantragen. Gemäß § 46 WHG sind erlaubnisfreie Entnahmen von Grundwasser für den landwirtschaftlichen Hofbetrieb für das Tränken von Vieh außerhalb des Hofbetriebs zulässig (Landwirtschaftskammer NRW, GROSSEWINGKELMANN 2019).

Derzeitige Wasserrechte für Bewässerung liegen laut der LIPPE WASSERTECHNIK 2019 bei 1.250.000 m³/a. Hinzu kommen die Wasserrechte für die Viehhaltung in Höhe von 170.000 m³/a (ohne Berücksichtigung der erlaubnisfreien Entnahmen gemäß § 46 WHG), sodass insgesamt 1.420.000 m³/a an Wasserrechten bestehen.

In der Erhebung haben weitere 20 Betriebe (zusätzlich zu den 29 Bewässerungsbetrieben) angegeben, zukünftig in die Bewässerung einsteigen zu wollen. Die Flächen dieser 20 Betriebe belaufen sich auf etwa 1.000 ha. Das ergibt einen Bedarf von: 1.000 ha x 100 mm (1000 m³) = 1.000.000 m³ Wasser pro Jahr in Normaljahren. Während extremer Trockenjahre kann der Bewässerungsbedarf allerdings deutlich auf bis zu 200 mm steigen, was wiederum zu einem steigenden Bewässerungsbedarf in Höhe von 2.000.000 m³ Wasser pro Jahr führen würde.

Die hohe Nachfrage nach Bewässerung macht deutlich, wie wichtig es den Landwirten ist, auch in Zukunft existenzfähig zu sein. Hier sehen Landwirte den zukünftigen Handlungsbedarf für ihre Betriebe, denn Bewässerung sichert Erträge und Qualitäten und führt zu einer Risikominimierung eines Ernteausfalls. Gleichzeitig fördert eine Bewässerung die optimale Nährstoffaufnahme und effiziente Düngerausnutzung durch die Pflanze, so dass Auswaschungsrisiken deutlich vermindert sind. Denn in Dürreperioden verbleibt der nicht genutzte Nährstoff ungeschützt im Boden und unterliegt der Verlagerung durch nachfolgende Niederschläge, weil die Wurzelmasse in der Regel abgestorben ist und damit keine oder deutlich minimierte Ernteentzüge stattfinden können. Für die Trinkwassergewinnung aus tieferen Grundwasserschichten stellt damit die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen aufgrund gesicherter Nährstoffentzüge aus dem Boden (Ernteerträge) einen praktizierten Gewässerschutz dar.

In zahlreichen Telefonaten berichteten verschiedene Landwirte, dass die Trockenheit in den letzten 5 bis 10 Jahren in der Projektregion deutlich zugenommen hat. Viele Landwirte berichten von sich

drastisch verschärfenden Auswirkungen auf die Vegetation und schließlich von Mindererträgen bis hin zu Abstockungen ihres Tierbestandes, weil das eigene Wirtschaftsfutter nicht mehr in ausreichender Menge produziert werden konnte. Die Situation hatte sich nochmals in den Trockenjahren 2018 bis 2020 zugespitzt.

2.9.2 Verwendete Bewässerungstechnik

In diesem Kapitel wird die verwendete Bewässerungstechnik im Projektgebiet näher betrachtet. Von den insgesamt 29 Bewässerungsbetrieben haben fünf Betriebe eine Tropfbewässerung, ein Betrieb hat eine Kreisberegnung und 27 Betriebe eine Trommelberegnung (Mehrfachnennungen möglich). Mehrere Betriebe verfügen parallel über verschiedene Bewässerungstechniken, die gleichzeitig auf dem Hof im Einsatz sind. So kombinieren drei Betriebe z.B. Trommelberegnung und Tropfbewässerung. Zwei weitere Betriebe hatten schon in anderen Projekten vergleichende Erfahrung mit Trommelberegnung und Tropfbewässerung gesammelt, wobei diese aufgrund der zurzeit noch zu hohen Kapitalkosten nicht im Betrieb etabliert wurden. Die Wirtschaftlichkeit dieser Technik war für diese beiden Betriebe in Bezug zu den angebauten Kulturen nicht darstellbar (vgl. Abbildung 5). Da die Wissenschaft und Forschung mit Hochdruck an Alternativen und verbesserten/wirtschaftlicheren Bewässerungsinnovationen arbeitet, kann sich in Zukunft ein anderes Bild abzeichnen. Die aktuellen und künftigen Möglichkeiten hinsichtlich Bewässerungstechnik werden von der Universität Kassel in diesem Projekt noch detaillierter betrachtet.

Die Tropfbewässerung weist im Vergleich zu den herkömmlichen Techniken wie z.B. der Trommelberegnung die höchste Wassereffizienz auf. Ein Lösungsansatz könnte nach DE WITTE (2017) darin bestehen, zukünftig mobile Tropfbewässerungsanlagen zu installieren.

Überblick Bewässerungstechniken – Bewässerungsverfahren:

a) Mikrobewässerung

- Oberirdisch → Tropfbewässerung und Sprühbewässerung
- Unterirdisch → flach (1-jährige Kulturen) und tief (Dauerkulturen)

b) Beregnung

- Reihenregner → Rohr-Rohr und Rohr-Schlauch
- Teilmobil → Kreisberegnung und Linearberegnung
- Mobil → mit Großflächenregner und mit Düsenwagen

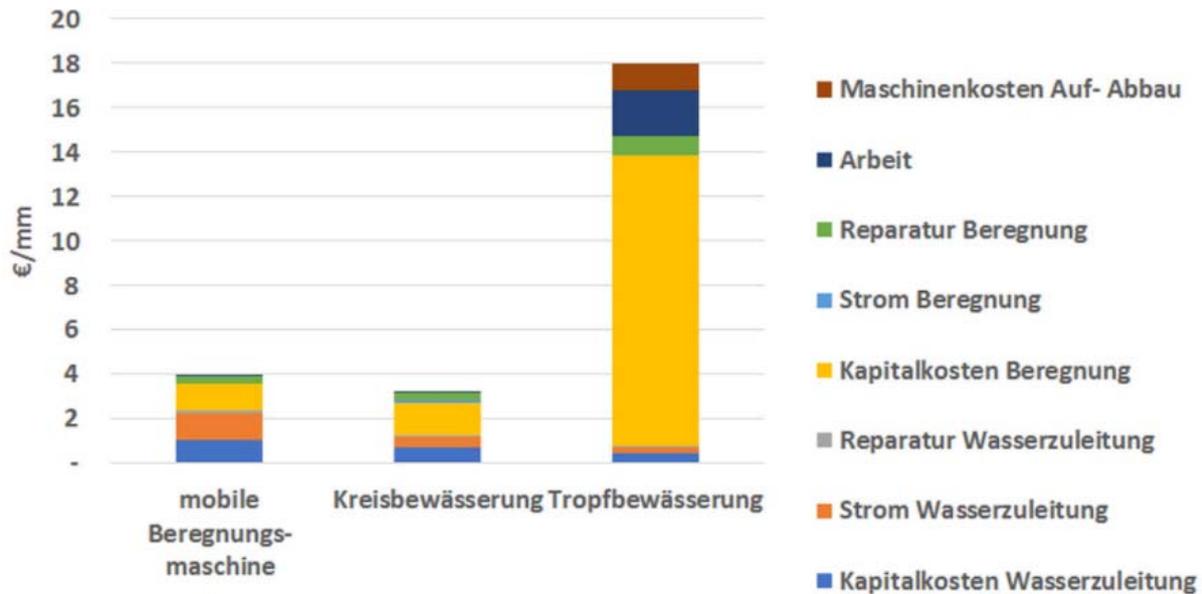


Abbildung 5: Übersicht der Kosten bei verschiedenen Bewässerungsverfahren (DE WITTE 2017)

2.9.3 Ermittelte Wassermengen und kalkulierter Bewässerungsbedarf

Ab welchem **Zeitpunkt** die Landwirte eine Bewässerung einleiten, bzw. bei welchen Umweltbedingungen (Niederschläge, Temperatur) sie die Bewässerung starten, fußt zurzeit fast **ausschließlich auf die Erfahrung der Betriebsleiter**, so kreuzten alle Landwirte im Erhebungsbogen das Kriterium „Erfahrung“ an. Lediglich zwei Betriebe stützten ihre Entscheidungsfindung zusätzlich auf eine Sensormessung. Gründe, warum sie die Sensormessung auf ihrem Betrieb etabliert haben, werden aus der Erhebung nicht ersichtlich. Darüber hinaus werden in die Überlegungen zum Bewässerungsstart neben den Erfahrungen der Betriebsleiter die Wetterprognosen und die Konstitution der Pflanzen mit einbezogen.

Aus den Angaben der **29 Bewässerungsbetriebe** ergab sich eine **Gesamtfördermenge von etwa 665.000 m³ Wasser**. Dabei wünscht gut die Hälfte der Betriebe eine Erhöhung der Gesamtfördermenge für ihren Betrieb. Insgesamt **15 Betriebe** gaben einen weiteren **Bedarf** an Wasserrechten an, der sich auf zusammen rund **222.000 m³ Wasser** beläuft. Die Wasserrechte, die schon erteilt worden sind, werden in Trockenjahren i.d.R. auch vollständig ausgeschöpft.

Die abgerufenen Bewässerungsmengen der einzelnen Betriebe sind unterschiedlich hoch und liegen zwischen 300 m³ Wasser im Minimum und bis zu 59.800 m³ Wasser im Maximum.

Die Bewässerungsflächen der befragten Betriebe liegen innerhalb und auch außerhalb des Projektgebietes, da sich die Angaben, die im Erhebungsbogen gemacht wurden, auf die gesamte Fläche

beziehen, die ein Betrieb bewirtschaftet. Deshalb wurden die Angaben der Betriebe, die auch außerhalb des Projektgebietes Flächen beregnen, um diesen Anteil korrigiert, sodass letztlich eine konkrete Zahl für die Wassermenge innerhalb des Projektgebietes vorliegt. Die Korrekturgröße wurde durch Rücksprache mit den Betriebsleitern ermittelt.

Zur Abschätzung des Gesamtwasserbedarfes im Projektgebiet sind neben den tatsächlich genutzten Wassermengen zusätzlich die berechneten Bewässerungsmengen der 15 Betriebe, die eine Erhöhung ihrer Bewässerungsmenge wünschen zu berücksichtigen. Des Weiteren kommen zur Abschätzung des Wasserbedarfes die Angaben der 20 Betriebe hinzu, die planen, zukünftig in die Bewässerung einzusteigen.

Im vorausgegangenem Projekt wurde ein landwirtschaftlicher Wasserbedarf in Trockenjahren von insgesamt 27 Mio. m³/a geschätzt. Die Hochrechnung beruhte auf der Worst-Case-Annahme für die gesamte landwirtschaftliche Fläche über 6 Monate zusammen 300 mm Bewässerungsmenge zu benötigen. Das waren in der Studie laut ATKIS-Daten 8.900 ha, die mit 300 mm Wasser versorgt werden sollten. Für 300 mm wurden 3000 m³/ha Bewässerungsmenge unterstellt. Dies ergab in Summe 26.700.000 m³ Wasser bzw. rund 27 Mio. m³ (LIPPE WASSERTECHNIK 2019 und Vertreter der Landwirtschaft).

Zum Zeitpunkt dieser Studie kann ein derartig hoher Bedarf aufgrund der Befragung nicht abgebildet werden, er liegt bei rund 3 Mio. m³/Jahr. Es ist sehr wahrscheinlich, dass dieser aus den Befragungsdaten ermittelte Bedarf in der Zukunft ansteigen wird. Auch ist zu erwarten, dass etliche Betriebe für einen Teil ihrer Flächen in die Bewässerung einsteigen werden, wenn Wasserrechte wieder vergeben würden. Laut Befragung sind dies sicherlich **20 Betriebe mit 1000 ha** und unterstellten 100-200 mm Bewässerungsmengen. Angenommen diese Betriebe würden ihre gesamte Fläche mit 200 mm, also 2000 m³/ha beregnen wollen, ergibt sich eine Menge von **2.000.000 m³/Jahr**.

I) Der in dieser Studie hochgerechnete **landwirtschaftliche Bewässerungsbedarf nach tatsächlichen Umfrageergebnissen** setzt sich somit aus Folgenden angenommenen Teilmengen zusammen:

- A) 665.000 m³ (29 Betriebe, die derzeit beregnen)
- B) 222.000 m³ (15 Betriebe, die eine Erhöhung benötigen)
- C) 2.000.000 m³ (20 Betriebe, die zukünftig in Bewässerung einsteigen möchten).

Daraus ergibt sich ein Gesamtbedarf von **2.887.000 m³, d.h. gerundet 3 Mio. m³/Jahr**.

II) Da neben den befragten Betrieben noch weitere landwirtschaftliche Unternehmen im Projektgebiet wirtschaften, kann auch ein Gesamtszenario betrachtet werden:

Hierfür wird die Gesamtfläche LN im Projektgebiet betrachtet und unterstellt, dass alle Flächen bewässert werden. Es ergibt sich dann eine **kalkulierte Menge von 7,5 Mio. m³ Wasser**, welche für die Zukunft bei einem durchschnittlichen Jahr zu veranschlagen wäre. Unterstellt wird bei dieser Berechnung eine Gesamtfläche von **7.550 ha LF und 100 mm Bewässerung**, also 1000 m³/ha. Aufgeteilt werden die 100 mm Bewässerungsmenge in 3 bis 4 Wassergaben abhängig von der Bodenart und der angebauten Kultur. Liegt eine längere Trockenheitsphase vor, wo im Schnitt der Jahre deutlich mehr beregnet werden müsste, z.B. 200 mm, dann würde sich die Menge auf bis zu 15 Mio. m³/Jahr belaufen.

Eine vertiefende Szenarienbetrachtung findet an dieser Stelle nicht statt. Die Erarbeitung der unterschiedlichen Szenarien und der damit zusammenhängenden Bewässerungsintensität wird durch die Universität Kassel in diesem Projekt weiter ausgeführt und anhand von Praxisbetrieben konkretisiert.

III) Losgelöst von der Betrachtung über die Betriebe oder der Gesamtfläche LN im Projektgebiet ist ein weiterer Ansatz sinnvoll, um sich einer realistischen Bewässerungsmenge zu nähern.

In diesem Ansatz werden die Hauptanbaukulturen (vgl. Abbildung 3 auf S. 23) mit den jeweiligen Standardwerten zur Ermittlung des Wasserbedarfs für Beregnung (vgl. Tabelle 4 auf S. 38-39) multipliziert. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 5 „**Kalkulierter Bewässerungsbedarf auf Grundlage der angebauten Kulturen (2020/2021) bei aktueller Bewässerungstechnik**“ im Projektgebiet dargestellt.

Die Bewässerungsmenge mit im Schnitt von 110 mm Bewässerungsbedarf und der angebauten Kulturen (5.595 ha) beläuft sich somit auf 5.466.000 m³/Jahr. Wird die Fläche mit Dauergrünland einbezogen (1.785 ha) so kommt eine Menge von 2.677.500 m³ hinzu, sodass insgesamt mit 8.143.500 m³ Bewässerungsbedarf zu kalkulieren ist.

Tabelle 5: Kalkulierter Bewässerungsbedarf auf Grundlage der angebauten Kulturen 2020/2021

Kalkulierter Bewässerungsbedarf auf Grundlage der angebauten Kulturen (2020/2021) bei aktueller Bewässerungstechnik				
Hauptanbaukulturen	ha	mm*	m ³ /ha/a	m ³ /a
Obst	40	200	2.000	80.000
sonst. Gemüse	70	100	1.000	70.000
Zuckerrübe	70	90-120	1.200	84.000
Möhre	45	120	1.200	54.000
Spinat	70	60	600	42.000
Spargel	110	150	1.500	165.000
Zwiebel/Lauch	135	60	600	81.000
Kartoffeln	275	90-120	1.200	330.000
Sommergetreide	60	60	600	36.000
Wintergetreide	1.450	30	300	435.000
Körner-/Silomais	2.720	90-120	1.200	3.264.000
Ackergras	550	120-150	1.500	825.000
Summe	5.595			5.466.000
Dauergrünland	1.785	120-150	1.500	2.677.500
Gesamtsumme	7.380	110	1.103	8.143.500

* Daten von LWK NRW

Erwartungshaltung und Motivation der Landwirtschaft, die sich aus dem Projekt ergeben:

- Der Bewässerungsbedarf von **5,5 bzw. 8,1 Mio. m³/a** sollte in Zukunft als Grundlage weiterer Wasserrechte dienen.
- Das Wasser, welches bisher in Oberflächengewässer geleitet und im Süden am Pumpwerk in die Lippe gepumpt wird, sollte möglichst **in Höhe von 8,1 Mio. m³/a dem Grundwasserleiter zugeführt werden.**
- Der **Grundwasserleiter ist der beste Wasserspeicher!** Es herrschen kaum Verdunstungsverluste, eine hohe Flexibilität aller Nutzer ist gegeben und entspricht den rechtlichen Anforderungen eines **sparsamen Wasser- und Flächenumgangs.**
- **Erlaubnisse zur Grundwasser-/Oberflächenwasserentnahmen** sollten auch in Zukunft möglich sein, für...
 - A) Betriebe, die bereits beregnen und einen höheren Bedarf haben,
 - B) Betriebe, die in WSG und NSG liegen und
 - C) Betriebe, die aufgrund von Klimafolgen neu in die Bewässerung einsteigen müssen.

Darüber hinaus sollten bestehende Brunnen und Leitungen ermittelt werden, um ein **Bewässerungsnetzwerk aufzubauen in Kooperation mit der Landwirtschaft.**

Effizienz-Potentiale liegen bei den Betrieben in der **Bewässerungssteuerung**. Je mehr Flächen ein Betrieb mit einer Anlage beregnen muss, umso eher läuft die Bewässerung rund um die Uhr. Dies ist bei fünf Betrieben (von 29) der Fall. 15 Betriebe machten hinsichtlich der Bewässerungszeitpunkte (Uhrzeit) keine Angaben. bzw. Angaben, die keine genauere Einschätzung zulassen. Konkrete Aussagen hinsichtlich der Uhrzeit liegen bei 16 Betrieben vor. Zusammengefasst versuchen die meisten Betriebe die Bewässerung nachts, in den frühen Morgenstunden oder in den Abendstunden laufen zu lassen.

Doch welche Kulturen werden im Projektgebiet bewässert und wie hoch ist bei den jeweiligen Kulturen die Beregnungsmenge? In den Abbildungen 6 und 7 werden die aufgewendeten Beregnungsmengen für die einzelnen Kulturen (in m³/Jahr) und die beregnete Fläche der angebauten Kulturen (in ha) im Projektgebiet aufgezeigt.

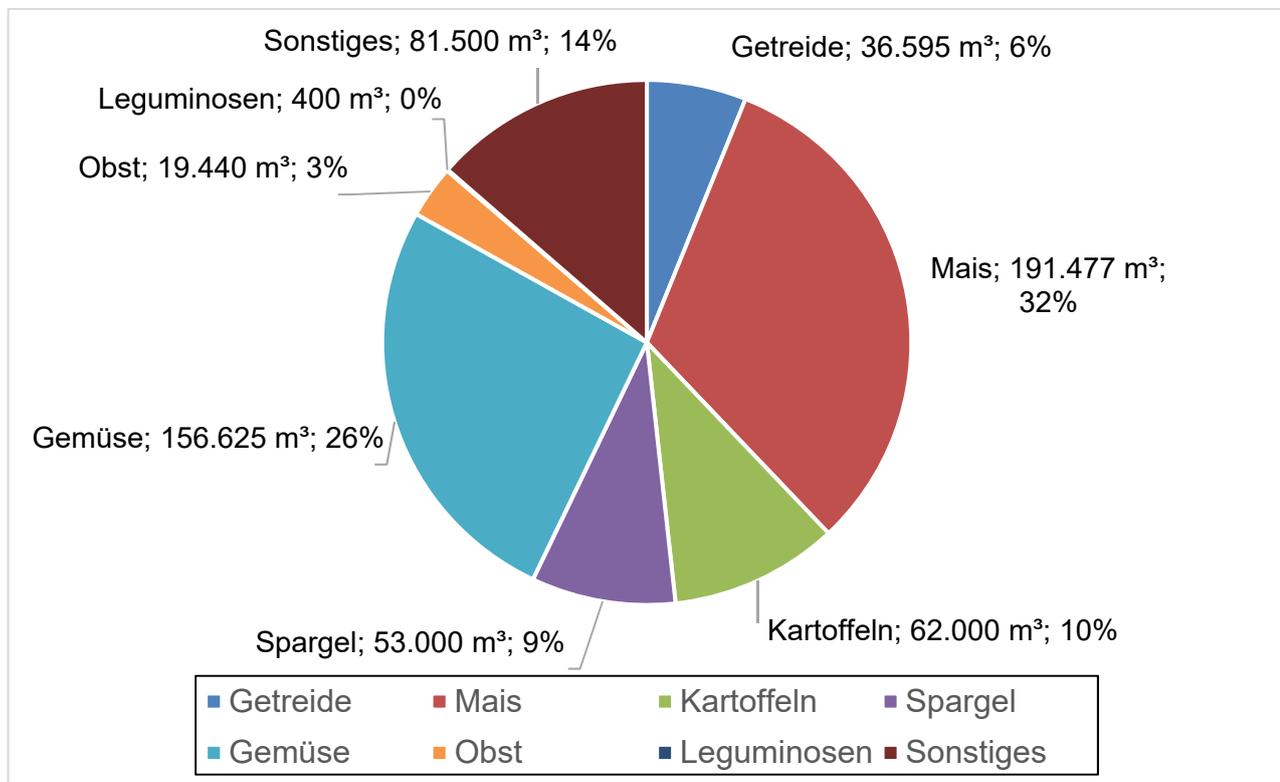


Abbildung 6: Beregnungsmengen der angebauten Kulturen im Projektgebiet in m³ pro Jahr

Der größte Anteil der Beregnungsmenge von 191.477 m³ pro Jahr (32 %) wurde zu Mais gegeben. Auf den klassischen Gemüseanbau entfielen 156.625 m³ pro Jahr (26 %), auf Spargel 53.000 m³ pro Jahr (9 %) und auf Kartoffeln 62.000 m³ pro Jahr (10 %). Auf die Beregnung von Spargel, Kartoffeln und Gemüse macht zusammen ein Wassermengenanteil von 45 % aus.

Wie bereits bei der Flächennutzung erläutert, nimmt der Futterbau in dieser Region einen hohen Stellenwert ein. Viele Betriebe, die über Wasserrechte und Bewässerungsanlagen verfügen, halten

Milchkühe oder Mastrinder. Diese Betriebe waren in den letzten extrem trockenen Jahren dazu gezwungen, wenigstens einen Teil ihrer Maisflächen zu beregnen, damit sie überhaupt noch Futter (Maissilage/CCM) für die Tiere ernten konnten.

Dies ist insbesondere im § 2 des Tierschutzgesetzes (TierSchG 2006) verankert: „Wer ein Tier hält, betreut oder zu betreuen hat, muss das Tier seiner Art und seinen Bedürfnissen entsprechend angemessen ernähren, pflegen und verhaltensgerecht unterbringen...“. Wie eingangs erwähnt, mussten viele Betriebe sich von außerhalb der Region teures Futter beschaffen oder es blieb nur der letzte Weg, die Abstockung des Tierbestandes. Dies spiegelt die Not der Tierhalter in trockenen Jahren wieder.

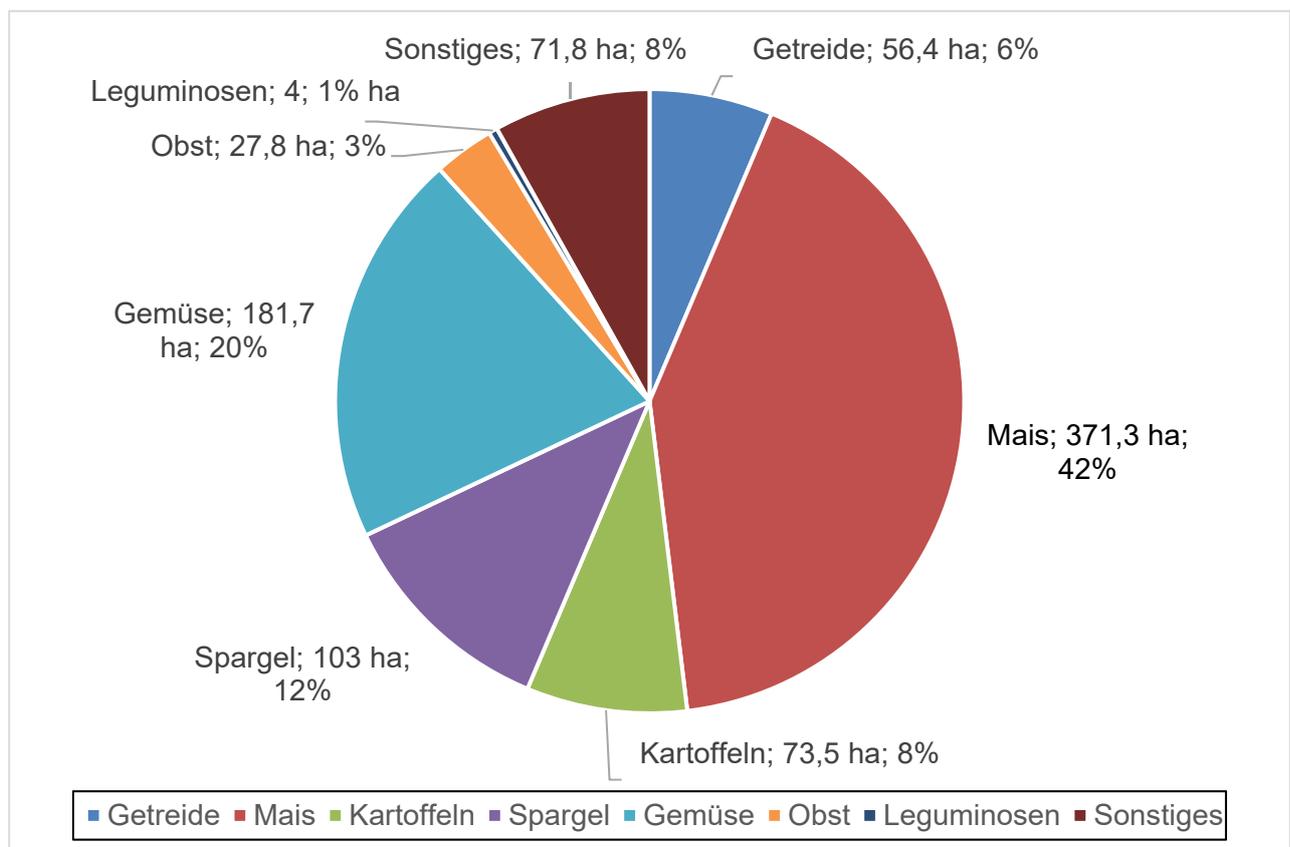


Abbildung 7: Beregnungsfläche der angebauten Kulturen im Projektgebiet in ha

Der größte berechnete Flächenanteil mit 42% bzw. 371 ha entfällt auf den Mais. Gemüse (182 ha), Spargel (103 ha) und Kartoffeln (73,5 ha) machen zusammen eine Flächengröße von 358,5 ha aus. Dies entspricht einem Flächenanteil von 40 %.

Mit Blick auf die zu den Kulturen ausgebrachten Beregnungsmengen und ihrem Flächenanteil zeigt sich, dass zwar insgesamt weniger Gemüse-/Spargel-/Kartoffelfläche (40 %) als Maisfläche (42 %) beregnet wird, jedoch der Anteil an der Gesamtberegnungsmenge bei Gemüse/Spargel/Kartoffeln (45 %) höher ist als beim Mais (32 %). Das bedeutet, dass die Beregnungsintensität für Gemüse

höher ist. Für die Absicherung der Quantität und Qualität einer Gemüseernte ist eine höhere Beregnungsmenge notwendig als für die Ertragssicherung von Mais.

Insgesamt werden in der Region etwa 2.800 ha Silomais angebaut, beregnet werden davon 371 ha, das entspricht etwa 13 %.

Die Ergebnisse der anonymisierten 29 Bewässerungsbetriebe sind im Anhang in der Tabelle A1 zu finden. In der Exceltabelle können dort zu den einzelnen Betrieben die konkreten Beregnungsmengen zu den verschiedenen Kulturen abgelesen werden. Dies kann den Projektpartnern für weitere Fragestellungen Detailinformationen liefern.

3 Klimawandel und Klimafolgeanpassung von ländlichen Räumen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zum Klima und Klimawandel sowie den damit verbundenen wichtigsten Auswirkungen in Bezug auf die Landwirtschaft beschrieben.

Laut des Klimaschutzplans NRW (2015) und des Klimaberichtes NRW (2021) hat die fortschreitende Erderwärmung massive Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Die Folgen des Klimawandels werden mit einem Anstieg der Temperatur in der unteren Atmosphäre / der Ozeane, schmelzende Gletscher, auftauende Permafrostböden, ein Verlust der Eisschildmassen und ein Anstieg der Meeresspiegel beschrieben. Bereits heute seien signifikante Auswirkungen dieser Klimaveränderungen in Nordrhein-Westfalen sichtbar:

- die veränderten Temperaturen bewirken eine Zunahme der Verdunstung und damit des Niederschlagspotentials (Verteilung jahreszeitlich und regional verschieden; Abnahme der Frühjahrsniederschläge, dadurch geringeres Wasserdargebot in der Vegetationsperiode; Niederschlagsverlagerung in den Herbst/Winter mit Auswirkung auf die Grundwasserneubildung),
- Zunahme von Extremwetterereignissen – Starkregen und langanhaltende Dürren,
- die Gewässertemperaturen steigen an,
- die Vegetationsperiode verlängert sich um bis zu 10 Tage (vgl. Abb. 8; sowie der vom DWD als Indikator aufgeführter Blühbeginn der Apfelblüte in NRW durch das LANUV veröffentlicht),
- die Zusammensetzung von Flora und Fauna verändert sich; klimasensible Tier- und Pflanzenarten können sich nicht schnell genug anpassen und drohen auszusterben. (KLIMASCHUTZPLAN NRW 2015)

Die Jahresmitteltemperatur hat im Vergleich der Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 um 1 Grad Celsius zugenommen (KLIMABERICHT NRW 2021). Auch der vierte Bericht des Weltklimarates IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) bekräftigt dieses Erkenntnis.



Abbildung 8: Phänologische Uhr für NRW – innerer Ring stellt die Dauer der phänologischen Jahreszeiten in der Klimanormalperiode 1951-1980 und äußerer Ring: 1991-2020 dar (KLIMABERICHT NRW 2021)

Für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion können sich aus dem Klimawandel sowohl vorteilhafte als auch negative Auswirkungen ergeben.

Die **negativen Auswirkungen** der zuvor aufgezeigten Punkte sind für die Landwirtschaft existenzgefährdend. Durch die Extremwetterereignisse wird sich die Planungssicherheit der Landwirte stark verringern. Mindererträge bis hin zu Totalverlusten, Qualitätsminderung der Produkte (insb. im Obst- und Gemüsebau durch invasive Arten, Schädlinge und Pilzkrankheiten), Schäden durch langanhaltende Trockenheitsphasen, Spätfröste (frostempfindliche Entwicklungsphasen wie z.B. die frühere Blüte) und Schäden durch Starkregen, Hagelereignisse und Stürme können die Folge sein.

Daneben kann es zur Verringerung des Grundwasserreservoirs kommen. Nach langen Trockenperioden ist der Boden für Niederschläge, insbesondere Starkregen, nicht aufnahmefähig (nicht bodenwirksame Niederschläge). Das Wasser fließt oberflächlich ab (→ Überflutung), es wird über die Vorfluter abgeleitet, kann nicht in tiefere Bodenschichten versickern und steht damit nicht mehr der Grundwasserneubildung zur Verfügung. Betrachtungen zur Grundwasserneubildung folgen in späteren Kapiteln.

Positive Auswirkungen des Klimawandels können sein:

- Der erwartete Anstieg der Durchschnittstemperaturen beeinflusst die Anbauwürdigkeit bestimmter Kulturen und wird zu einer Änderung der Fruchtfolgeglieder sowie der Fruchtfolge an sich in den Ackerbaubetrieben führen (bspw. neue Kulturen wie Sojabohne oder alternative Eiweißträger und/oder Möglichkeit des Anbaus von Zweitkulturen nach der Ernte ergeben sich).
- Höheren Temperaturen führen zu schnelleren Pflanzenentwicklungen.
- Die erhöhte CO₂-Konzentration führt zu besserer Versorgung vieler Nutzpflanzen (CO₂-Düngeeffekt) und damit zu einer höheren Photosyntheseleistung bzw. höheren Erträgen.
- Die CO₂-Effizienz ist für C3- und C4-Pflanzen unterschiedlich. Bei C3-Pflanzen wird der Effekt durch den Anstieg der Temperaturen z.T. aufgehoben.
- In der Kombinationswirkung von Temperaturanstieg und CO₂-Düngeeffekt wird insbesondere die Ressource Wasser (Wassernutzungseffizienz) eine besondere Bedeutung erlangen (Liebig-Tonne = limitierender Faktor Wasser).

Im Nachfolgenden wird zunächst der Unterschied zwischen Wetter und Klima erklärt, die Grundlagen zum Wasserkreislauf werden ausgeführt und schließlich werden Anpassungsmöglichkeiten zum Wassermanagement abgeleitet.

3.1 Wetter und Klima

Die Begriffe „Wetter“ und „Klima“ werden oft verwechselt oder gleichbedeutend verwendet, der Unterschied liegt vor allem im Zeitrahmen der Betrachtung.

Wetter ist ein kurzfristiger Zustand. Es bezeichnet das, was zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort erlebbar ist. Das Wetter spielt sich auf wesentlich kürzeren Zeitskalen ab als das Klima. Wetter ist eine Momentaufnahme von Messgrößen wie Lufttemperatur, Luftdruck, Niederschlagsmengen, Luftfeuchtigkeit, Wolkenbedeckung und Sonnenschein.

Klima ist dagegen ein langfristiger Zustand. Es bezeichnet den typischen Wetterverlauf an einem bestimmten Ort/Gebiet, gemessen über einen Zeitraum von mindestens 30 Jahren bis hin zu erdgeschichtlichen Zeitskalen. Das Klimasystem besteht aus verschiedenen Komponenten – Atmosphäre,

Hydrosphäre, Lithosphäre, Biosphäre, Kryosphäre. Zwischen ihnen besteht laut ZAMG (2021) (Forschungseinrichtung des Bundesministerium Bildung, Wissenschaft und Forschung in Österreich) ein stetiger Austausch von Energie und Masse über bestimmte Flüsse (Strahlung, Wind, Verdunstung, Niederschlag, Meeresströmungen, chemische Umwandlungen usw.), die ein energetisches Gleichgewicht der Subsysteme anstreben. Auf der Welt gibt es unterschiedliche Klimata – deshalb werden verschiedene Klimazonen gebildet.

3.2 Nachhaltigkeit und Wasserkreislauf

Nachhaltigkeit – wird von drei wesentlichen Aspekten beschrieben: Ökonomie, Ökologie und Soziales (vgl. Abb. 9). Das Konzept geht von der Vorstellung aus, dass nachhaltige Entwicklung nur durch das gleichzeitige und gleichberechtigte Umsetzen von umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Zielen erreicht werden kann. Das auf dem Prinzip des nachhaltigen Wirtschaftens beruhende Leitbild für die Landwirtschaft, wird wie folgt beschrieben:

- Ökonomie: Sicherung der langfristigen Rentabilität und des Entwicklungspotentials der Betriebe sowie eines kontinuierlichen und existenzsichernden Betriebseinkommens. Wertschöpfung aus Produktion und Dienstleistung.
- Ökologie: Generationsübergreifender Schutz der natürlichen Produktionsgrundlagen, beispielsweise durch angepasste Bodenbearbeitung, standortgerechte Fruchtfolge und Fruchtartenwahl, standortangepasste und ausgewogene Düngung, integrierter Pflanzenschutz, tierschutzgerechte Tierhaltung sowie Berücksichtigung der Umwelt- und Naturschutzbelange.
- Soziales: Erhalt standortsicherer Arbeitsplätze, Stärkung des ländlichen Raumes durch aktive Teilnahme am kulturellen und wirtschaftlichen Leben sowie durch Förderung eines sanften ländlichen Tourismus, Erhalt und Pflege der Kulturlandschaft, Sicherung der Nahrungsmittelversorgung, Schaffung von Bildungs-, Weiterbildungs-, Ausbildungs- und Integrationsangeboten im ländlichen und städtischen soziokulturellen Umfeld, Bildungsauftrag Landwirtschaft.



Abbildung 9: Nachhaltigkeit (Onlinemarketing-Praxis 2021)

Für die Nachhaltigkeit im Bereich der Landwirtschaft spielt speziell der Wasserbereich eine große Rolle. Wasserwirtschaftliche Nachhaltigkeitskonzepte dienen dem Schutz der Wasserressourcen und der integrierten Bewirtschaftung von Flusseinzugsgebieten und Meeren. Dazu gehören Konzepte, wie der sorgsame Umgang mit Wasser in privaten Haushalten oder die Wasserwiederverwendung in Industrie und Landwirtschaft. "Eine nachhaltige Wasserwirtschaft bezeichnet die integrierte Bewirtschaftung aller künstlichen und natürlichen Wasser(teil)kreisläufe unter Beachtung drei wesentlicher Zielsetzungen:

- Langfristiger Schutz von Wasser als Lebensraum bzw. als zentrales Element von Lebensräumen;
- Sicherung des Wassers in seinen verschiedenen Facetten als Ressource für die jetzige wie für die nachfolgenden Generationen;
- Erschließung von Optionen für eine dauerhaft naturverträgliche, wirtschaftliche und soziale Entwicklung (UBA 2021).

Der Begriff **Wasserkreislauf** umfasst den **Transport und die Speicherung von Wasser** auf globaler wie regionaler Ebene. Das Wasser ist ständig in Bewegung und kann nicht verschwinden. Hierbei kann das Wasser verschiedene **Aggregatzustände** einnehmen (Energieumwandlung durch den Motor Sonne) und durchläuft die einzelnen Sphären der Erde. Auf dem Weg kann sich das Wasser qualitativ verändern.



Abbildung 10: Wasserkreislauf (USGS, EVANS 2021)

Der **Niederschlag** kann sowohl transpirieren, als auch evaporieren, abfließen und versickern und damit u.a. das Grundwasser bilden (vgl. Abbildung 10).

Insofern ist festzuhalten, dass die Landwirte im Rahmen der **Bewässerung das Wasser nur gebrauchen** und nicht, wie häufig in den öffentlichen Medien dargestellt, verbrauchen bzw. verschwenden.

Die **klimatische Wasserbilanz** beschreibt die Differenz von der Niederschlagssumme minus der potenziellen Verdunstung über Gras. Ist die Niederschlagsmenge höher als die Verdunstung, liegt eine positive Wasserbilanz vor. Übersteigt die Verdunstungsmenge die Niederschlagsmenge, ist die Wasserbilanz negativ (LWK NDS 2018).

3.3 Anpassung des Wassermanagements

Die Ressource Wasser wird durch die Folgen des Klimawandels und hier zusätzlich verstärkt durch die Maßnahmen des Bergbaubetreibers (Grundwassersenkung) in Zukunft zunehmend zum knappen, d.h. ertragseinschränkenden Faktor für die landwirtschaftliche Produktion.

Dies gilt umso mehr, je weiter der ungebremste Entzug wertvoller landwirtschaftlicher Nutzflächen die verbleibenden landwirtschaftlichen Betriebe zwingt, Produkte mit einer höheren Flächenproduktivität anzubauen. Diese haben häufig einen höheren Wasserbedarf oder erfordern eine gezielte Bewässerung zur Erfüllung der notwendigen Qualitätsansprüche. Bereits heute ist der Neueinstieg in den Kartoffel-/Möhrenanbau abhängig von der Verfügbarkeit von Wasserrechten.

Der Wasserbedarf für die Nahrungsmittelerzeugung lässt sich entgegen der bisherigen Erfahrung nicht mehr ausschließlich aus dem Niederschlagswasser decken, **vielmehr muss die Ressource Wasser geschützt, gesichert und planmäßig verteilt werden. Diese Erkenntnis ist neu und sollte in allen Planungsprozessen der Region zwingend berücksichtigt werden.**

Je mehr Fläche versiegelt wird, desto weniger Fläche steht für die Grundwasserneubildung zur Verfügung (das Wasser wird oberflächlich sehr schnell abgeleitet). Zu der Problematik der Flächenversiegelung und den sich daraus ergebenden Auswirkungen siehe Abschnitt 2.4.

Dies macht die Notwendigkeit der Entwicklung regionaler Lösungsansätze und der Anwendung differenzierter Maßnahmen für das Wassernutzungsmanagement deutlich (SCHIMMELPFENNIG et al. 2017).

3.3.1 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung erfolgt überwiegend unter landwirtschaftlichen Nutzflächen und stellt damit einen wichtigen Teil des regionalen Wasserkreislaufes dar (vgl. Karte 9).

„Unter Grundwasserneubildung wird der Zugang von Niederschlagswasser über die Bodenzone zum Grundwasser verstanden. Dieser Prozess findet überwiegend im Winterhalbjahr statt, wenn die Verdunstung reduziert und der Boden wassergesättigt ist. Die Grundwasserneubildung stellt eine wichtige Bilanzgröße für Fragen zur Nutzung und Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser sowie als Eingangsgröße für computergestützte Grundwassermodelle dar“, so der ERFTVERBAND 2021.

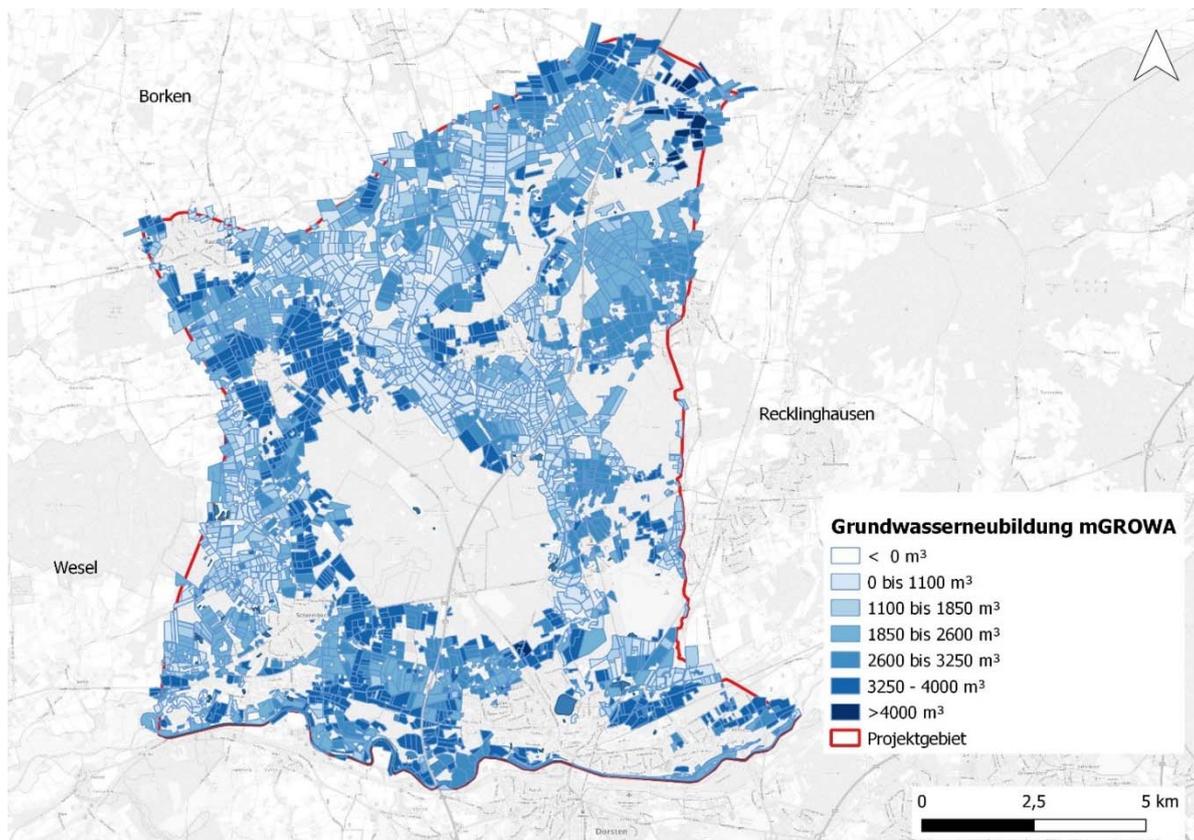
Durch das jährlich sich erneuernde Grundwasser sind Wasserentnahmen für die Trinkwasserversorgung sowie weitere Nutzungen möglich. Auch die Landwirtschaft nutzt diese Wasserquellen in natürlicher Weise durch den kapillaren Aufstieg und zusätzlich für die Bewässerung der landwirtschaftlichen Kulturen (Landwirtschaftskammer NRW 2021, LABONTE).

Es wird erwartet, dass sich ändernde klimatische Bedingungen sowie damit einhergehende steigende Temperaturen und Evapotranspirationsraten entsprechend auf die landwirtschaftliche Produktion und auf die Grundwasserressourcen auswirken werden (LEE und CHUNG 2007).

Erwartet wird zwar keine erhebliche Veränderung der Jahresniederschläge, allerdings wird die Niederschlagsverteilung ungünstiger werden, d.h. Jahre mit ausgeprägter Frühsommertrockenheit werden zunehmen.

Insgesamt führen diese Entwicklungen zu einer deutlichen Abnahme des für die Pflanzen verwertbaren Wasserangebots (produktives Wasser). Bereits heute zeigen sich die Auswirkungen der Trockenperioden auf die Vegetation, die landwirtschaftliche Erzeugung sieht sich einem zunehmenden Trockenstressrisiko während der Wachstumsperioden der landwirtschaftlichen Kulturen ausgesetzt.

Dabei ist die Ertragssicherung durch die Beregnung als besonders hoch einzuschätzen, hängt doch damit, aus betriebswirtschaftlicher Sicht, die Liquidität und der langfristige Bestand der Betriebe zusammen (TEISER 2017).

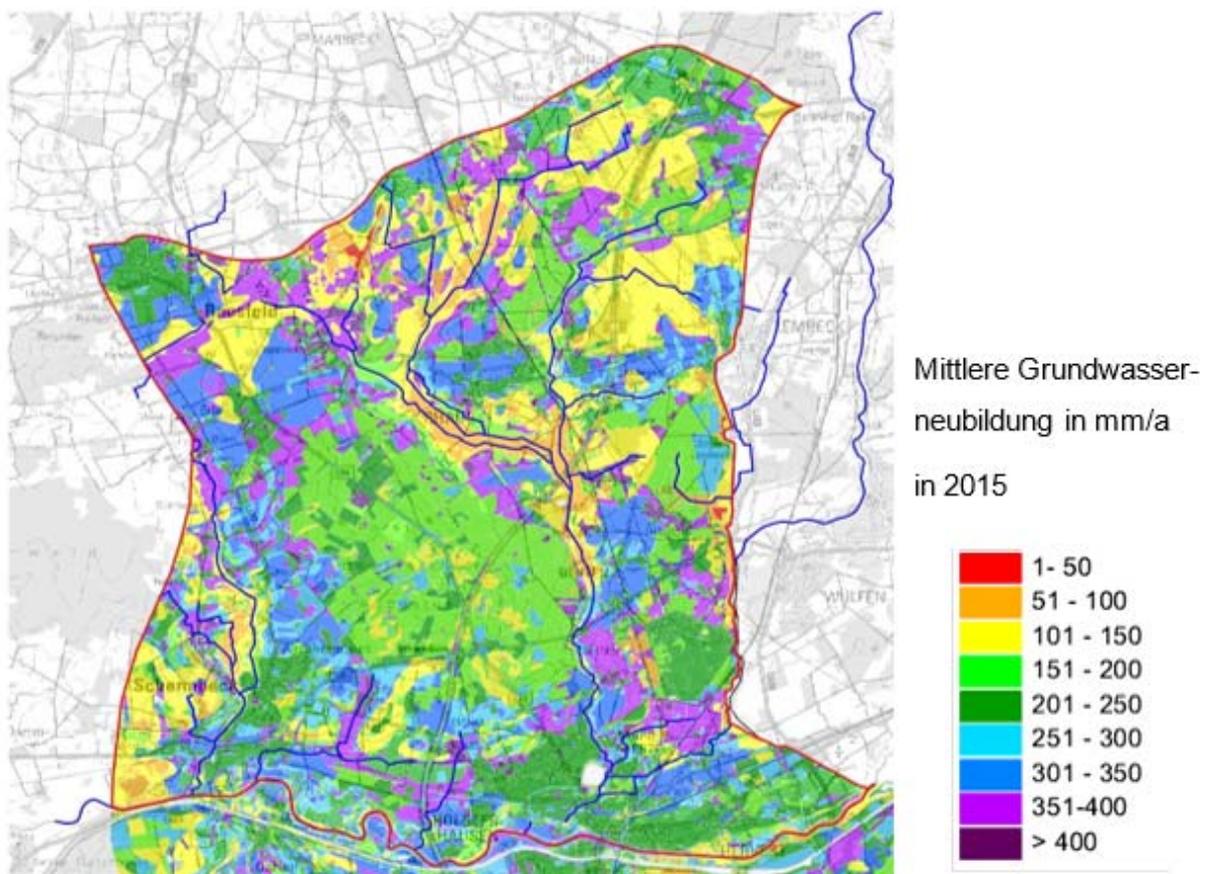


Karte 9: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung unter landwirtschaftlichen Flächen in cbm/ha innerhalb des Feldblockkatasters (mGROWA 2021, eigene Darstellung)

An der Landwirtschaftskammer NRW wird für Betrachtungen der Gesamtverdunstung (Evapotranspiration), des Gesamtabflusses, des Direktabflusses (natürlicher Interflow und Dränagen) und der Grundwasserneubildung das mGROWA Modell herangezogen.

Dies ist ein konzeptionelles, rasterbasiertes und flächendifferenziertes Wasserhaushaltsmodell zur Simulation der genannten hydrologisch und wasserwirtschaftlich relevanten Wasserhaushaltsgrößen über lange Zeiträume (u.a. 1981–2010) (FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH 2021).

Im Vorprojekt wurde u.a. von der LIPPE WASSERTECHNIK 2019 folgende Karte 10 mit einer mittleren Grundwasserneubildung in mm/a für das Jahr 2015 ausgewiesen.



Karte 10: Mittlere Grundwasserneubildung in mm/a in 2015 (LIPPE WASSERTECHNIK 2019) innerhalb des Feldblockkatasters

Dieses Grundwassermodell wurde bereits für verschiedene Fragestellungen verwendet und wurde entsprechend den Besonderheiten in der Projektregion über konkrete Messergebnisse angepasst und erweitert (weitere Ausführungen vgl. „Kap.4.3 Grundwassermodellierung“ des Maßnahmenkonzeptes der LIPPE WASSERTECHNIK 2019).

3.3.2 Grundwasseranreicherung

Eine gezielte Grundwasseranreicherung für trockene Gebiete sollten durch folgende Möglichkeiten in die Betrachtung einfließen:

- Versickerungsschächte / Versickerungsmulden
- Vorfluter / Kulturstau
- Moore
- Speicherbecken: Förderung des Wasserrückhalts in dürregefährdeten Regionen – Bau von hofeigenen Speicherbecken zur Beregnung
- Dränagen: Das abgeleitete Wasser aus Dränagen nicht in einen Vorfluter / Gewässer leiten, sondern an entfernter geeigneter Stelle über Versickerungsmulden in einen Grundwasserkörper versickern lassen
- Bewässerung: Förderung der Infrastruktur zur effizienten Bewässerung (Bezuschussung)

In dieser Region sollte das Halten von Wasser in der Fläche oberste Priorität haben, denn nur so kann es zur Grundwasseranreicherung kommen. Schon früher wurden sogenannte Kulturstau errichtet, um den Grundwasserstand über das Halten von Wasser auf lokaler Ebene zu steuern. Definiert werden Kulturstau als ein (zeitweiser) Aufstau von Fließgewässern zur Anhebung des Grundwasserspiegels bzw. zu Bewässerungszwecken für die Landwirtschaft (ELWAS WEB 2021). Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) mit dem Ziel Schaffung der Durchgängigkeit von Gewässern hat dazu geführt, dass Querbauwerke und Staueinrichtungen entfernt wurden. Dies ist vor dem Hintergrund einer ausreichenden Grundwasserneubildungsrate nicht zielführend.

Aus hiesiger Sicht wird ein großes Potential in der Aktivierung der Kulturstau bzw. auf lokaler Ebene in der Identifizierung wichtiger Vorfluter mit Staustufen (keine Gewässer im Sinne der WRRL) gesehen. Besonders bei Starkregenereignissen können höhere Wassermengen in der Fläche gehalten werden, die Wassermengen werden nicht direkt abgeleitet, sondern versickern langsamer und können damit zur Grundwasseranreicherung beitragen. Die Hammbach-Region sollte hinsichtlich Hauptabflüsse/Vorfluter analysiert und entsprechende Maßnahmen wie Überlaufschwelle installiert werden. Dazu ist eine Zusammenarbeit mit den Unteren Wasserbehörden und den Wasser- und Bodenverbänden sinnvoll.

Die Regulierung des Wasserhaushaltes durch Änderungen der Stauregulierung in entwässerten Gebieten zur Reduzierung des Wasserbedarfs in Trockenperioden (DIETRICH et al. 2014) oder der Anpassung der Steuerung der großflächigen Wasserregulierung durch Stauanlagen zur Minimierung von Nutzungseinschränkungen durch Hoch- und Niedrigwasserereignisse können weitere Maßnahmen darstellen (THEOBALD et al. 2014).

3.4 Handlungsoptionen im Gesamtzusammenhang (Maßnahmenkatalog)

Aus dem KLIMASCHUTZPLAN NRW (2015) ergeben sich 13 Handlungsfelder zur Klimaanpassung, aus denen sich konkrete Maßnahmen ableiten lassen. Je stärker ein Bereich von den Klimafolgen betroffen ist, desto höher ist die Dringlichkeit und die Umsetzung der abgeleiteten Maßnahmen. Die Auswirkungen auf die Landwirtschaft sind umfassend, indirekt fließen sechs sektorale Handlungsfelder – Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz, Boden, Biologische Vielfalt und Naturschutz, Landwirtschaft und Fischerei, Wald und Forstwirtschaft sowie Verkehr und Verkehrsinfrastruktur – sowie die übergreifenden drei Querschnittsfelder mit ein (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Handlungsfelder der Klimaanpassung. Die drei Querschnittshandlungsfelder sind farblich von den 13 sektoralen Handlungsfeldern abgesetzt (KLIMASCHUTZPLAN NRW 2015).

Auch die anderen Bereiche haben über die Flächenversiegelung immer Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Die Inanspruchnahme von landwirtschaftlichen Flächen ist nach wie vor hoch. Täglich gehen in NRW um die 17 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) verloren (vgl. Abbildung 12). Vor diesem Hintergrund ist die Streichung des 5-Hektar-Grundsatzes aus der Novellierung des Landes-

entwicklungsplans NRW (2019) aus agrarstruktureller Sicht zu kritisieren. Ebenso werden den Städten und Gemeinden mehr Spielräume für eine bedarfsgerechte Bauflächenentwicklung für ASB und GIB (ASB = Allgemeiner Siedlungsbereich und GIB = Gewerbe- und Industriebereich) eingeräumt, um somit auf die steigenden Bevölkerungsprognosen und Flächenansprüche aus der Wirtschaft reagieren zu können.

Das Nachhaltigkeitsziel des Bundes sieht vor, das tägliche Wachstum der Siedlungs- und Verkehrsfläche bis zum Jahr 2030 auf unter 30 Hektar pro Tag zu senken. Wenn an den aktuellen Trends der Flächeninanspruchnahme nichts geändert wird, nähme allein NRW dann schon mehr als die Hälfte des tolerierten Flächenbedarfes ein. Um also diese Vorgabe von maximal 30 ha pro Tag einhalten zu können, sind innovative Maßnahmen zur Flächensparsamkeit sowie im Bereich der Ausgleich- und Ersatzmaßnahmen erforderlich.

Durch die Versiegelung gehen nicht nur wertvolle landwirtschaftliche Flächen für die Nahrungsmittelherzeugung verloren, sondern auch Flächen für die Biodiversität, die Grundwasserneubildung und die Kaltluftbildung. Gerade Kaltluftströme sind für das Regionalklima bedeutsam, um positive klimatisch-lufthygienische Auswirkungen bis in die Siedlungsräume hinein zu bewirken. Landwirtschaftliche Flächen dienen zudem als Wasserrückhalt bei Starkregenereignissen und tragen zur Verringerung der städtischen Sommertemperaturen durch das Bodenkühlungspotential bei. **Landwirtschaftliche Flächen erfüllen also mehrere Funktionen, die in ihrer Vielfalt beachtet und deren Rückgang minimiert werden muss.**

Die Vielfalt der Funktionen bzw. Leistungen der Landnutzung, die an die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen gebunden sind und welche die Landwirtschaft erbringt, werden u.a. nach Prof. Kötter (Uni Bonn 2018) wie folgt benannt:

- Grundfunktionen: Biodiversitätserhaltung, Bodenbildung, Nährstoffkreisläufe, Ressourcenbereitstellung (u.a. Grundwasserneubildung)
- Produktionsfunktionen: Nahrungsmittel, Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo), Holz, Energie
- Regulationsfunktionen: Klimaregulation, Kohlenstoffspeicherung, Retention von Hochwasser, Reinigung von Luft und Wasser
- Kulturelle Funktionen: Erholung, Freizeit, Tourismus, Emotionale Bedeutung
- Standortfunktionen: Wohnen, Gewerbe, Industrie, Infrastruktur

Um eine gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung im Projektraum zu ermöglichen und zugleich dem fortschreitenden Flächenentzug aus der Landwirtschaft Einhalt zu gebieten, ist die Entwicklung intelligenter, innovativer und kreativer flächensparender Lösungsansätze, d.h. ein intelligentes Flächenmanagement unverzichtbar. Nur so können die vorgenannten vielfältigen Funktionen der Landwirtschaft auch in Zukunft noch erbracht werden. Zumal der Flächenverlust unmittel-

bar mit der Betriebsaufgabe landwirtschaftlicher Familienbetriebe einhergeht und die Entwicklungsmöglichkeiten der verbleibenden landwirtschaftlichen Betriebe einschränkt (z.B. Immissionsauflagen bei der Tierhaltung, Lärmschutzaufgaben zu landwirtschaftlichen Tätigkeiten u.v.m.).

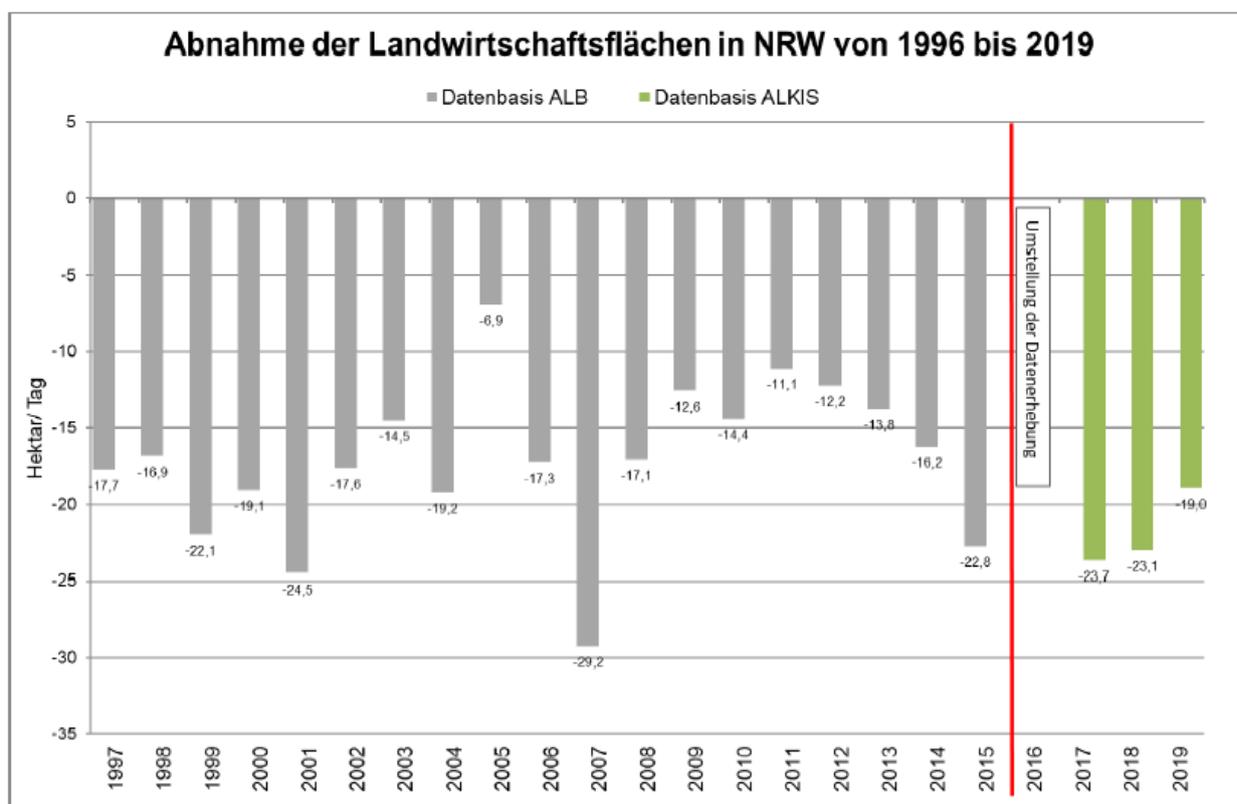


Abbildung 12: Durchschnittliche tägliche Abnahme der Landwirtschaftsflächen in NRW (ha/Tag), (LANDESBETRIEB IT.NRW 2020; Grafik: LANUV 2019).

Tabelle 6: Landwirtschaftliche Betriebe nach Größenklassen der landwirtschaftlich genutzten Fläche - LZ 2020 (LANDESBETRIEB IT.NRW 2021)

Größenklassen der LF von... bis unter ... Hektar	2010 ¹⁾		2013 ²⁾		2016 ³⁾		2020 ¹⁾		Veränderung 2020 gegenüber 2010	
	Betriebe	LF	Betriebe	LF	Betriebe	LF	Betriebe	LF	Betriebe	LF
	Anzahl	ha	Anzahl	ha	Anzahl	ha	Anzahl	ha	%	%
unter 5	2 700	5 436	2 970	4 200	3 657	4 433	3 354	3 625	+24,2	-33,3
5 bis unter 10	5 236	38 046	4 630	34 300	4 488	32 815	5 608	40 325	+7,1	+6,0
10 bis unter 20	6 806	100 986	6 220	91 600	5 959	88 505	5 862	86 492	-13,9	-14,4
20 bis unter 50	10 382	351 955	9 790	335 100	9 093	307 531	8 348	281 166	-19,6	-20,1
50 bis unter 100	7 851	545 310	7 640	533 000	7 274	510 606	6 850	485 089	-12,7	-11,0
100 bis unter 200	2 424	313 707	2 670	346 900	2 761	362 028	3 023	402 297	+24,7	+28,2
200 und mehr	351	107 647	390	117 900	456	134 621	566	174 163	+61,3	+61,8
Insgesamt	35 750	1 463 087	34 310	1 463 000	33 688	1 440 539	33 611	1 473 157	-6,0	+0,7

1) Ergebnisse aus dem allgemeinen Teil der Landwirtschaftszählung
 2) Ergebnisse aus der repräsentativen Agrarstrukturerhebung, gerundete Ergebnisse
 3) Ergebnisse aus dem allgemeinen Teil der Agrarstrukturerhebung

Bevor die gezielten Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft aufgezeigt werden, wird nun zusammenfassend ein Überblick über die abgeleiteten Maßnahmen der betroffenen Sektoren gegeben (keine abschließende Auflistung):

- Sektor 1 – Menschliche Gesundheit: Gesundheitsrisiken, gesundheitliche Vorsorge
- Sektor 2 – Wasserwirtschaft und Hochwasserschutz: Grundwasserneubildung, Gewässertemperatur/-qualität
- Sektor 3 – Boden: Erhalt/Schutz, Entsiegelung und Rekultivierung, Wasserspeicher- und Kühlleistungsfähigkeit, Minimierung Wassererosion
- Sektor 4 – Biologische Vielfalt und Naturschutz: Verringerung vorhandener Stressfaktoren (u.a. Flächenverbrauch), „Grüne Stadt“, Widerstandsfähigkeit und Qualitätsverbesserung von Ökosystemen/Lebensräumen (u.a. Feucht- und Moorbiotopen), Biotopverbundsystem, Biodiversitätsmonitoring
- Sektor 5 – Landwirtschaft und Fischerei: produktionstechnische Anpassung im Pflanzenbau (Bodenbearbeitung und Bewässerung/-verfahren; Fachberatung Bodenerosion), Anpassung Tierhaltung, Anpassung Aquakultur (Auswirkungen der Gewässertemperatur auf Fischfauna)
- Sektor 6 – Wald und Forstwirtschaft: Anpassung Wald an Klimawandel, Umbau
- Sektor 7 – Verkehr und Verkehrsinfrastruktur: Einbeziehen Klimafolgen bei Sanierung und Neuplanung (Straßenbeläge etc.)
- Sektor 8 – Energiewirtschaft: Einfluss des Klimawandels auf die Potenziale erneuerbarer Energien
- Sektor 9 – Finanz- und Versicherungswirtschaft: Extremwetterereignisse und deren Folgen absichern, finanzielle Ausfälle
- Sektor 10 – Industrie und Gewerbe: Entwicklung von klimarobusten Technologien, Verfahren und Dienstleistungen, standortbezogene Konzepte
- Sektor 11 – Tourismuswirtschaft: klimaangepasste Tourismuskonzepte, bauliche Anpassungsmaßnahmen
- Sektor 12 – Bauen und Wohnen: klimaangepasstes Bauen, Anpassung im Gebäudebestand (Hülle, Technik), Fassaden- und Dachbegrünung
- Sektor 13 – Landes- und Regionalplanung: Fachbeitrag „Klima“, Leitfaden „Klimaanpassung in der Regionalplanung“, Fachbeitrag „Wasser und Klimawandel“, planerische Strategien zur Klimaanpassung und Biodiversität, Integration von Indikator zur regionalen Auswirkungen von Überplanungen auf Regionalklima und Folgen auf Umweltschutzgüter.

Im Folgenden Kapitel 3.5 werden mögliche Handlungsoptionen für die Landwirtschaft im DBU-Projektgebiet Hammbach-Dorsten aufgezeigt.

3.5 Handlungsoptionen für die Landwirtschaft – Maßnahmenempfehlung für das Projektgebiet

Im Folgenden werden verschiedene Anpassungsmaßnahmen im Bereich der Landwirtschaft aufgezeigt. Im Rahmen eines knapper werdenden nutzbaren Dargebotes von Bewässerungsressourcen werden Effizienzfragen immer wichtiger. Vereinfacht gesagt gibt es zwei Möglichkeiten das vorhandene Wasser effektiver zu nutzen: zum einen unproduktive Wasserverluste minimieren und/oder zum anderen eine bessere Ausnutzung des vorhandenen Wassers durch die Pflanze zu bewirken. In den Kapiteln Kulturauswahl und Kulturführung sowie Bewässerung wird angesprochen, wo Anpassungs-/Optimierungsmöglichkeiten bestehen. Aus dieser Palette der Möglichkeiten können landwirtschaftliche Betriebe für sich geeignete Maßnahmen auswählen und im Betrieb zielgerichtet umsetzen.

Zum Thema Bewässerungstechnik und –steuerung und Sensor- und Softwarenutzung von Bewässerung wird die Universität Kassel in einer Masterarbeit eine umfassende Literaturrecherche durchführen (theoretischer Teil) und im Projekt beisteuern. So werden Klimaszenarien für die Projektregion erarbeitet, Analysen an fünf Praxisbetrieben durchgeführt und abgeleitete Maßnahmen dargestellt.

3.5.1 Kulturauswahl und Kulturführung

Bei der Kulturauswahl und der Kulturführung geht es darum, eine klimaangepasste **Sortenauswahl zu treffen**, die **Fruchtfolge entsprechend zu gestalten** und gleichzeitig die **Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit zu erhalten**. Zur besseren Übersicht werden die einzelnen inhaltlichen Handlungsansätze hier aufgezählt:

- Einsatz von **Sorten** mit an ein wärmeres Klima angepassten Ansprüchen (hitze- und trockenangepassten Sorten regional bewerten und gezielt auswählen; früh oder später reife Sorten wählen; Verlängerung des Wachstumszyklus bei Sommerkulturen für Wurzel- und Knollenfrüchte)
- **Artenwahl und Diversifizierung des Fruchtartenspektrums**, um Risiko eines Totalausfalls oder einer Qualitätsminderung/Ertragsrückgangs zu minimieren (betriebswirtschaftliche Absicherung)

Auch ein Wechsel der Pflanzenarten und –sorten stellt eine Anpassungsmaßnahme dar, insofern entsprechend des prognostizierten Rückgangs der Frühjahrs-/ Sommernieder-schläge und der Zunahme von Extremwetterereignissen z.B. die Verwendung von Arten und Sorten mit kräftigen Stängeln angeraten ist (SCHIMMELPFENNIG et al. 2017).

- **Züchtungsfortschritt** – Sorten mit geringeren Anfälligkeiten gegenüber Schädlingen und Resistenzen gegen Krankheitserregern, Trockenheit, Abreifeverhalten, Durchwurzelungstiefe und –intensität.

Der Züchtung sind gewisse Grenzen gesetzt, da die aktuell im Fokus stehende Pflanzen- und Sortenwahl maßgeblich durch EU-Agrarförderungen beeinflusst wird und darüberhinaus auch große Unsicherheiten bestehen, welche Züchtungsmethoden zugelassen und gewünscht sind. Insbesondere beim Züchtungsfortschritt in der landwirtschaftlichen Forschung bestehen sehr hohe Hürden. So stuft die Gesetzgebung Pflanzen, die nach fortschrittlichen Züchtungsmethoden entstehen oder in ihren Eigenschaften verbessert wurden, häufig als gentechnisch veränderte Organismen (GVO), und schränkt damit deren Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis stark ein oder verhindert ihn ganz. Die GVO-Einstufung erfolgt auch dann, wenn sich das moderne Zuchtverfahren nicht vom klassischen unterscheidet. Dort wird Handlungsbedarf gesehen, so LÜTKE ENTRUP (2021).

- **Kulturführung:**

- **Pflanzenernährung** (durch Ertragssteigerungen können nicht nur Makronährstoffe (wie Stickstoff), sondern auch Mikronährstoffe (wie Bor oder Molybdän) wachstumslimitierend werden) und
- **Pflanzenschutz** anpassen (Fungizide, Insektizide).

Welche Anpassungsmaßnahmen sich in Bezug auf die **Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit** ergeben, werden im Folgenden aufgeführt:

- **Konservierende Bodenbearbeitung** bei ausgewählten Kulturen prüfen und durchführen (z.B. Vergleich des Krankheitsdrucks bei Mulch- oder Direktsaat versus Pflugwirtschaft; Fortschritt in Technik); vielfältige Synergieeffekte durch Verbesserung der Infiltrationsrate/ Bodenerosion reduziert.

Die Wirkung der Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel kann durch die Förderung der Speicherfähigkeit der Böden und der Wassernutzung der Pflanzen maßgeblich unterstützt werden (KÖSTNER und LORENZ 2014). So stellt die Umsetzung von **bodenschonenden, konservierenden Bewirtschaftungsmethoden** für bestimmte Kulturen eine Anpassungsmaßnahme an sinkende Niederschläge in trockenheitsgefährdeten Gebieten dar.

- **ausgeglichene Humusbilanz** sicherstellen (bei unterversorgten Böden Humus aufbauen),
- **Bodenstruktur** erhalten: Bodenverdichtung vermeiden (Befahren von wassergesättigten Böden), Fruchtfolgen, Zwischenfruchtauswahl,
- **Erosionsschutz** durchführen – durchgehend bodendeckende Bepflanzung, Untersaat/Zwischenfrucht (Zweitfrucht bleibt abzuwarten im Hinblick auf Wasserversorgung).

Tieferegehende Informationen sind den Broschüren „Bodenverdichtung vermeiden – Bodenfruchtbarkeit erhalten und wiederherstellen“; „Klimawandel und Boden – Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden als Pflanzenstandort“ zu entnehmen.

3.5.2 Bewässerung

Eine Bewässerung ist erforderlich, um bei Sandböden oder flachgründigen Standorten mit geringer Wasserspeicherfähigkeit den Wassermangel auszugleichen. Nur dadurch ist ein Anbau von Sonderkulturen (Obst- und Gemüseanbau) möglich. Bei der Bewässerung kommt es sowohl auf die Bewässerungstechnik als auch auf die Bewässerungssteuerung an. Details hierzu können nachfolgenden Ausführungen entnommen werden:

- **Bewässerungstechnik**

Es werden unterschiedliche technische Systeme zur Bewässerung angeboten. Hiervon sind jedoch nicht alle Techniken im Projektgebiet aufgrund der hohen Anschaffungskosten und Arbeitsaufwände vertretbar und somit nicht vorhanden.

Vor allem mit Blick auf den energetischen Aufwand und die Wasserverteilgenauigkeit sind die vorherrschenden Techniken nicht die effizientesten. 27 Betriebe setzen einen Großflächenregner mit Düsenwagen ein, d.h. Trommelberegnung.

Allerdings erfolgt hierdurch keine Bewässerung, die über den Bedarf hinausgeht, sondern bereits eine sogenannte Defizitbewässerung, bei der nur dann beregnet wird, wenn ein temporäres Austrocknen der Wurzelzone vorliegt.

- **Bewässerungssteuerung**

Zeitpunkte / Entwicklungsstadien: Der Ermittlung des optimalen Bewässerungszeitpunktes und der idealen Wassermenge durch Maßnahmen zur Bewässerungssteuerung kommt mit Blick auf das knapper werdende Wasserdargebot und optimierter Effizienz sehr große Bedeutung zu.

Je nach Entwicklungsstadium der Pflanze haben diese einen unterschiedlichen Wasserbedarf. In einer ertragssensiblen Phase führt ein Wassermangel zu deutlichen Ertrags- und Qualitätseinbußen, da z.B. die Kornanlage in wachsendem Getreide schon im Blattbildungsstadium erfolgt und nicht erst während der Ährenbildung. Daher ist es für die Bewässerungssteuerung wichtig zu wissen, in welchem Entwicklungsstadium (BBCH-Stadien) der verschiedenen Kulturen einem Wassermangel vorzubeugen ist und woran dieser erkennbar ist.

Mais: Einrollen von Blätter; Rispenschieben bis zur Blüte (nFK 40-50 %)

Rüben: kurz vor und nach Reihenschluss ist der Wasserbedarf am höchsten; mit der Beregnung sollte begonnen werden, wenn sich die Blätter über Nacht nicht mehr erholen, sondern schlaff auf dem Boden liegen.

Kartoffeln: von Beginn der Knollenanlage an ist mit der Bewässerung zu beginnen; Hauptberegnungsphase von Blüte bis Abreife.

Getreide: Braugerste ist das beregnungswürdigste Getreide; Mitte des Schossens beregnen; Einsetzen der Abreife aufhören zu bewässern; Winterroggen und Gerste benötigen den geringsten Zusatzwasserbedarf (starker Wassermangel = Einrollen der Blätter), da sie die Winterniederschläge gut ausnutzen können. (LWK NDS 2018)

Die Bewässerungssteuerung bietet gute Möglichkeiten, Beregnungswasser sparsam und grundwasserschonend einzusetzen.

Zu den Bewässerungstechniken und der Bewässerungssteuerung wird die Universität Kassel weitergehende Literaturrecherchen und Untersuchungen vornehmen und im Projektbericht darstellen.

4 Handlungsoptionen zu Wassereinsparpotentialen von ausgewählten landwirtschaftlichen Betrieben unter verschiedenen Szenarien

Hierzu wird die Universität Kassel Ergebnisse beisteuern. Die Auswahl und Besichtigung von fünf ausgewählten Betrieben hat bereits stattgefunden:

Die Universität Kassel wird drei Betriebe aus dem Projektgebiet in Hinblick auf 3 Klimaszenarien untersuchen und herausarbeiten, welche Wassereinsparpotenziale sich dabei konkret ergeben.

Zwei weitere Betriebe, die derzeit noch nicht berechnen, aber sich aufgrund der derzeitigen Trockenheit eine zukünftige Bewässerung vorstellen können, werden in die Betrachtung der Universität Kassel mit einbezogen.

Die ausgewählten Betriebe werden hier stichpunktartig vorgestellt:

- Betrieb P: 154 ha/145 ha im Projektgebiet; Milchvieh + Ackerbau (Getreide, Mais, Leguminosen) + Biogas → Umstellung auf Ökologischen Landbau
- Betrieb Y: 103 ha/ 46 ha im Projektgebiet; Geflügel + Ackerbau und Gemüse/Obst + Biogas (u.a. Folientunnel)
- Betrieb K: 27 ha im Projektgebiet; Ökolandbau, Gemüsebau (u.a. Folientunnel)
- Betrieb Kl., Neueinstieg: 66 ha im Projektgebiet; Mastschweine + Bullenmast + Ackerbau (Mais, Leguminosen)
- Betrieb Kr., Neueinstieg: 30 ha im Projektgebiet; Ackerbau (Getreide, Mais)

5 Zusammenfassung

Die Landwirtschaftskammer NRW erstellt als beteiligter Kooperationspartner am DBU-Projekt KlimaBeHageN einen landwirtschaftlichen Fachbeitrag in Form eines Ergebnisberichtes mit Darstellung der:

- Strukturdaten der wirtschaftenden Betriebe / der bewirtschafteten Fläche und der berechnungswürdigen Kulturen im Versuchsgebiet;
- Ermittlung des mengenmäßigen Wasserbedarfs;
- Ermittlung der landwirtschaftlichen Betriebe, die künftig potentiell im Versuchsgebiet an einer langfristigen, ressourcenschonenden Bewässerung und zugewiesenen Wasserrechten Interesse haben (Uni Kassel/LWK).

In diesem Bericht sind die Daten und Ergebnisse einer durchgeführten Betriebsbefragung unter den im Projektgebiet wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben ausgewertet worden. 165 von 380 Erhebungsbögen wurden zurückgesandt und fließen mit einer flächenmäßigen Abdeckung von etwa 70 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche (7.550 ha LF im Projektgebiet) ein.

Von den 165 Erhebungsbögen verfügen 29 Betriebe über eine Bewässerungsanlage. Insgesamt bewirtschaften diese 29 Landwirte etwa 1.500 ha, von denen rund 890 ha (fast 60 %) beregnet werden.

Auf den beregneten Flächen wird vor allem Mais angebaut mit 371 ha bzw. 42 %. Gemüse (182 ha), Spargel (103 ha) und Kartoffeln (73,5 ha) machen zusammen 358,5 ha beregneten Fläche aus und entspricht einem 40 %-Flächenanteil. Wird beim Gemüse zwar insgesamt weniger Fläche beregnet als beim Mais, so ist deren Beregnungsintensität jedoch höher, um die Gemüsequantität und -qualität abzusichern. Ohne eine Bewässerung wäre auf diesen Flächen der Anbau von Sonderkulturen nicht möglich und zu risikoreich. Die Beregnung von Mais ist in den letzten drei Trockenjahren vor allem durchgeführt worden, um eine ausreichende Bereitstellung an Futtermitteln in dieser vom Futterbau geprägten Region sicherzustellen.

Ergänzend zu den Bewässerungsbedarfsdaten aus der Erhebung wird ein kalkulatorischer Ansatz über alle bewirtschaftenden Betriebe und angebauten Kulturen in der Projektregion aufgestellt, um den maximal in der Region auftretenden Beregnungsbedarf hochzurechnen. Denn es kann durchaus sein, dass über die Erhebung nicht alle Bewässerungsbetriebe erfasst bzw. erreicht wurden. Der kalkulatorische Ansatz legt zum einen alle **Hauptanbaukulturen für einen Beregnungsbedarf zugrunde, der sich auf eine Beregnungsmenge von 5.466.000 m³/a insgesamt beläuft**. Wird zum anderen im Ansatz die **Dauergrünlandflächen** miteinbezogen von insgesamt 1.785 ha, erhöht sich

die Berechnungsmenge dafür **um 2.677.500 m³/a**. Somit ist für das Projektgebiet insgesamt ein Beregnungsbedarf **von 8.143.500 m³/a** zu kalkulieren bzw. zu prognostizieren. Dies entspricht durchschnittlich 110 mm/ha/a.

In der Erhebung haben 20 Betriebe (zusätzlich zu den 29 Bewässerungsbetrieben) angegeben zukünftig in die Bewässerung einsteigen zu wollen. Diese sind an eine ressourcenschonende Bewässerung interessiert. Im kalkulatorischen Ansatz ist deren möglicher Beregnungsbedarf somit schon eingerechnet und kann bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Im Vordergrund des DBU-Projektes stehen vor allem Effizienzfragen, um das knappe und knapper werdende nutzbare Dargebot von Bewässerungswasser im Projektgebiet sinnvoll und ressourcenschonend einzusetzen. Mögliche Maßnahmen zur Anpassung an Klimawandel und Klimafolgen sind zur Effizienzsteigerung der Wassernutzung vor allem die Minderung von Wasserverlusten und/oder die bessere Ausnutzung vorhandenen Wassers. Anpassungs-/Optimierungsmöglichkeiten bestehen bei der Kulturauswahl und Kulturführung sowie im Bereich der Bewässerung. In diesem Zusammenhang wurde eine Maßnahmenübersicht aufgestellt. Aus dieser Übersicht können die landwirtschaftlichen Betriebe für sich geeignete Maßnahmen auswählen und im Betrieb zielgerichtet umsetzen.

Zum Thema Bewässerungstechnik und –steuerung und Sensor- und Softwarenutzung von Bewässerung wird die Universität Kassel in einer Masterarbeit eine umfassende Literaturrecherche durchführen (theoretischer Teil). Klimaszenarien werden für die Projektregion erarbeitet, Analysen von fünf Praxisbetrieben durchgeführt und abgeleitete Maßnahmen dargestellt.

Darüber hinaus beschäftigt sich die Hochschule Ruhr West (HRW) Mülheim mit der Analyse der Wassernutzer, Flexibilitätspotentialen bei der Nachfrage, Erarbeitung von Strukturen und Gesamtkosten und statischen Finanzierungsmodellen sowie Möglichkeiten eines dynamischen Preismodells. In die Betrachtung fließt die Gründung eines Bewässerungsverbandes mit ein.

Bei der Betrachtung des Projektgebietes sind folgende Aspekte aus Sicht der Agrarstruktur als wesentlich herauszustellen und mit zu beachten:

Die Land- und Forstwirtschaft erhält die natürlichen Lebensgrundlagen und sichert die Ernährung unserer und künftiger Generationen.

Durch die Versiegelung gehen nicht nur wertvolle landwirtschaftliche Flächen für die Nahrungsmittelherzeugung verloren, sondern auch Flächen für Biodiversität der Flora und Fauna, Grundwasserneubildung, Kaltluftbildung und Regionalklima auf dem Lande so wie im urbanen Bereich. Sie tragen zur Verringerung der städtischen Sommertemperaturen durch ihr Bodenkühlungspotential bei.

Die Flächen dienen als Wasserrückhalt für Starkregenereignisse und stehen bei Hochwassersituationen als Auffangbereiche zur Verfügung.

Landwirtschaftliche Flächen erfüllen gleichzeitig mehrere Funktionen, die in ihrer Vielfalt und hinsichtlich ihrer Wechselbeziehung mit anderen Nutzergruppen beachtet und abgewogen werden müssen. Nutzungskonkurrenzen und –konflikte sind sorgfältig und zukunftsgerichtet einer gesamtgesellschaftlich akzeptablen Lösung zuzuführen.

Insofern besteht die Erwartungshaltung und die Motivation der Landwirtschaft an diesem Projekt in den folgenden Punkten:

- Der Bewässerungsbedarf von **5,5 bzw. 8,1 Mio. m³/a** sollte in Zukunft als Grundlage weiterer Wasserrechte dienen.
- Das Wasser, welches bisher in Oberflächengewässer geleitet und im Süden am Pumpwerk in die Lippe gepumpt wird, sollte über dezentralen Rückhalt in den Oberlaufgebieten (z.B. Moore) und technische Maßnahmen **möglichst in Höhe von 8,1 Mio. m³/a dem Grundwasserleiter zugeführt** werden.
- Der **Grundwasserleiter ist der beste Wasserspeicher!** Es herrschen kaum Verdunstungsverluste, eine hohe Flexibilität aller Nutzer ist gegeben und entspricht den rechtlichen Anforderungen eines **sparsamen Wasser- und Flächenumgangs**.
- **Erlaubnisse zur Grundwasser-/Oberflächenwasserentnahmen** sollten auch in Zukunft ermöglicht werden, für...
 - A) Betriebe, die bereits beregnen und einen höheren Bedarf haben,
 - B) Betriebe, die in WSG und NSG liegen und
 - C) Betriebe, die aufgrund von Klimafolgen neu in die Bewässerung einsteigen müssen.

Darüber hinaus sollten bestehende Brunnen und Leitungen ermittelt werden, um ein **Bewässerungsnetzwerk aufzubauen in Kooperation mit der Landwirtschaft**.

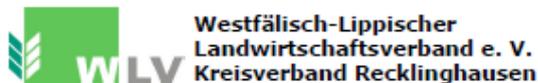
Anhang

Tabelle A1: Berechnete Kulturen in ha und Berechnungsmenge m³/Jahr im Projektgebiet

Berechnete Kulturen in ha und m ³ /Jahr im Projektgebiet									
Getreide	Mais	Kartoffeln	Spargel	Gemüse	Obst	Leguminosen	Sonstiges	Summe	
5	10	2		0,2	2			19,2	
1000	4000	3500		150	4500			13150	
22:00-24:00	22:00-24:00	22:00-24:00		08:00-10:00	22:00-24:00				
Mai	Juli, August	Mai - August		Juni, Juli	April-Juli				
	35						20	55	
	26000						24000	50000	
	unterschdl. je nach Witterung						unterschdl. je nach Witterung		
	Juli, August						Juni-August		
				56,1				56,1	
				54000				54000	
				00:00-24:00					
				April-Sept.					
			100		15			115	
			52000		7800			59800	
			8:00-22:00		8:00-22:00				
			Mai-Sept.		Mai-Sept.				
7	8			7,5			7	29,5	
4200	3150			9600			5200	22150	
							Rüben		
Mai, Juni	Juli, August			Mai-August			Juni-Sept.		
	6			7				13	
	800			1200				2000	
	erstmalig in 2020 berechnet								
	Juni, Juli			April-Mai					
	10						10	20	
	7500						7500	15000	
	zur Zeit können nur 20 ha berechnet werden								
	Annahme getroffen aufgrund von Wasserrechten								
	x						x		
	Mai-Aug.								
							Mai-Aug.		
				20				20	
				18000				18000	
				wenn möglich nur nachts					
				April-Sept.					
	21						19	40	
	26000						30000	56000	
	k.A.						k.A.		
	Juni-Aug.						Mai-Aug.		
	4	4		4		4		16	
	1600	2000		2000		400		6000	
	22:00-08:00	22:00-08:00		22:00-08:00		22:00-08:00			
	Juni, Juli	Juni, Juli		Juni, Juli		Juni, Juli			
5	25						5	35	
2000	10000						2000	14000	
	nachts wenn möglich; ansonsten tagsüber den Wind- und Sonnenverhältnissen angepasst								
Mai-Aug.	Mai-Aug.						Mai-Aug.		
				0,6	0,8			1,4	
				160	140			300	
				08:00-09:00	08:00-09:00				
				Mai-Aug.	Mai-Aug.				
		8						8	
		4000						4000	
		k.A.							
		Juni, Juli							

4	30						34
5000	15000						20000
k.A.	k.A.						
Mai, Juni	Mai-Aug.						
5	45						50
3000	12000						15000
24 h	k.A.						
Juni-Aug.	Juni-Aug.						
		3,5					3,5
		3000					3000
		20:00-08:00					
		Juni, Juli					
	10	5		15			30
	300	300		1200			1800
	22:00-06:00	22:00-06:00		22:00-06:00			
	Juli	Juni, Juli		Juni, Juli			
	10						10
	5000						5000
	18:00-11:00						
	Mai-Aug.						
	15			25			40
	5000			20000			25000
	19:00-07:00			19:00-07:00			
	Juli, Aug.			Mai-Aug.			
10	10						20
10000	10000						20000
19:00-07:00	19:00-07:00						
Juli, Aug.	Juli, Aug.						
5	21	25					51
3635	15265	27125					46025
19:00-12:00	nachts	19:00-12:00					
Mai-Aug.	Mai-Aug.	Mai-Aug.					
6,4	36,3	5		5,8			53,5
4660	26412	5425		6315			42812
19:00-12:00	nachts	19:00-12:00		19:00-12:00			
Mai-Aug.	Mai-Aug.	Mai-Aug.		Mai-Aug.			
	30		3	20	10		63
	3000		1000	29000	7000		40000
	nur ext. Trockenh.						
	nachts	nachts, ggf. tagsüber					
9	26	11		10,5		3,8	60,3
3100	12300	8250		9000		3800	36450
nachts-10:00	nachts-10:00	nachts-10:00		nachts-10:00 Uhr		nachts-10:00	
April	Juli	Mai, Juni		Mai-Juli		Mai-Aug.	
	9	10		10			29
	3150	8400		6000			17550
	24 h	24 h		24 h			
	Juni	Juni, Juli		Mai-Aug.			
						7	7
						9000	9000
						Juni, Juli	
	10						10
	5000						5000
	abends/nachts						
	Juli, Aug.						
						beregnete Fläche in ha	889,5
						Beregnungsmenge in m³	601037

Anschreiben zum Erhebungsbogen



Landwirtschaftskammer NRW · Borkener Straße 25 · 48653 Coesfeld



Kreisstelle

Coesfeld

Recklinghausen

Borkener Str. 25, 48653 Coesfeld

Tel. 02541 910-0, Fax -333

Mail coesfeld@lwk.nrw.de

www.landwirtschaftskammer.de

Auskunft erteilt: Melanie Wilmer-Jahn

Durchwahl: 02541 910 263

Mobil : 01621312206

Mail : melanie.wilmer-jahn@lwk.nrw.de

Anschreiben KlimaBeHageN_22.03.21 (2).docx

Coesfeld 17.03.2021

Erhebungsbogen zum DBU-Projekt KlimaBeHageN Dorsten

Sehr geehrte ...,

im Projekt KlimaBeHageN (Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft & Wasserversorgung) werden bis 2022 Wissenschaftler, Ökonomen, wasserwirtschaftliche Ver- und Entsorger und landwirtschaftliche Interessensvertretungen gemeinsam versuchen, **übertragbare Lösungen zum Wassermangel** durch den Klimawandel im Hammbach-Einzugsgebiet in Dorsten zu finden. Nur in **Kooperation aller Akteure** kann die langfristige Sicherung der Wasservorräte als Lebensgrundlage gelingen und so zur Existenzsicherung der Landwirtschaft in der Pilotregion beitragen.

Um die Belange der Landwirtschaft zu vertreten, sind wir auf **Ihre Mithilfe** angewiesen. Leisten Sie durch eine verlässliche Datenbasis einen Beitrag zum Gelingen des Projektes.

Dieses Projekt wird vom Landwirtschaftlichen Kreisverband Recklinghausen im WLV und dem Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/Wienbach als Projektpartner befürwortet u. unterstützt.

Vor diesem Hintergrund bitten wir Sie, den **beigefügten Erhebungsbogen auszufüllen und bis zum 9. April 2021** entweder mit dem **frankierten Rückumschlag** oder **per Fax** (02541 / 910-333) zurückzusenden.

Bei **Fragen zum Projekt oder Unklarheiten im Erhebungsbogen** melden Sie sich gerne bei mir. Zusätzlich zu einem direkten Kontakt biete ich Ihnen auch eine Videokonferenz am 6. April 2021 um 19.00 Uhr an, um weitere Fragen zu beantworten. Hierfür melden Sie sich bitte baldmöglichst per E-Mail, damit ich Ihnen die Einwahldaten zur Verfügung stellen kann.

Mit freundlichen Grüßen

Melanie Wilmer-Jahn
(Projektbeauftragte)

Marianne Lammers
(Geschäftsführerin KST COE/RE)

Friedrich Steinmann
(Kreisverbandsvorsitzender)

Wolfgang König
(Geschäftsführer WLV)

Anlagen: Erhebungsbogen, frankierter Rückumschlag

Qualitätsmanagementsystem zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2015

Konto der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen:

DZ Bank AG
UST-IcNr. DE 126118293

IBAN: DE97 4006 0000 0000 4032 13
Steuer-Nr. 337/5914/0780

BIC: GENO DE 33 XXX

Erhebungsbogen

**Projekt: „Klima-Bewusstsein im Hammachgebiet (Dorsten):
Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft &
Wasserversorgung“ („KlimaBeHageN“)**

Name:..... Vorname:

Straße:..... PLZ: Stadt

Ortsteil:..... Tel.:

Handy:

Diese Daten dienen ausschließlich diesem Projekt und werden nur von Frau Wilmer-Jahn zum Projektauftritt verwendet. Danach werden Ihre persönlichen Daten umgehend vernichtet. Einzelbetriebliche Daten werden nicht weitergeleitet!

1. Betriebsleitung (bitte ergänzen bzw. ankreuzen)			
	Geburtsjahr		101
102	Haupterwerb	Nebenerwerb	103
Ausbildung (bitte ggf. Zahlen eintragen!)			
104	Landwirtschaft		1 = keine 2 = Lehre 3 = Fachschulabschluss 4 = Meister 5 = FH-/Uniabschluss
105	Sonstige:		
Betriebsnachfolge (bitte ankreuzen)			
106	gesichert	möglich	108
107	nicht vorhanden		
109	Wenn ja, Geburtsjahr		
2. Betriebsflächen (LF)			
	LF im Eigentum	ha	301
	(-) verpachtet LF	ha	302
	(+) zugepachtete LF	ha	303
	(=) bewirtschaftete LF insges.	ha	304
	Überwiegende Hauptbodenart (Sand = S, Lehm = L, Ton = T)	S L T <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	305
	Bodenbearbeitung (Pflug = Pf, Grubber = Gr)	Pf Gr <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	306
3. Betriebszweige (bitte ankreuzen) (Mehrfachnennungen sind möglich)			
	Mastschweine		201
	Zuchtsauen		202
	Milchkuhhaltung		203
	Rindermast		204
	Geflügel		205
	Biogas		206
	Ackerbau		207
	Ökologischer Landbau		208
	Gemüsebau		209
	Obstbau		210
4. Flächenbewirtschaftung (Kulturen 2021)			
Ackerbau			
	Getreide	ha	402
	Mais	ha	403
	Kartoffeln	ha	404
	Spargel	ha	405
	Gemüse (z.B. Spinat)	ha	406
	Obst (z.B. Erdbeeren)	ha	407
	Leguminosen	ha	408
	Sonstige:	ha	409

5. Beregnung

5.1 Beregnung				5.4 Herkunft des Wassers		bitte ankreuzen	
... wird zur Zeit durchgeführt	ja: ___	nein: ___	510	Bohrbrunnen			540
... zukünftig geplant	ja: ___	nein: ___	511	Oberflächenwasserentnahme			541
				Sonstiges:			
5.2 Gesamtfördermenge (in m ³ pro Jahr angeben)				5.5 Technik der Beregnung		bitte ankreuzen	
... tatsächlich entnommene Fördermenge (unabhängig von Förderrechten etc.) (Durchschnitt der letzten ... Jahre)			520	Trommelberegnung			550
Erhöhung um m ³ notwendig			521	Kreisberegnung			551
5.3 Nach welchen Kriterien beurteilen Sie den Bewässerungsbedarf?				Tröpfchenbewässerung			552
<input type="checkbox"/> Erfahrung <input type="checkbox"/> Bewässerungssoftware <input type="checkbox"/> Bodensensor <input type="checkbox"/> Sonstiges:				Sonstiges:			

5.6 Beregnete Kulturen				
Kultur	ha	m ³ /Jahr	Zeitspanne täglich (Uhrzeiten)	vorrangige Beregnungsmonate
Bsp.: Kartoffel, späte Sorten	2	2400	8.00-10.00 Uhr und 22.00-24.00 Uhr	Mai, Juni, Juli, August
Getreide				
Mais				
Kartoffeln				
Spargel				
Gemüse				
Obst				
Leguminosen				
Sonstige:				

5.7 Mitwirkung		
Bereitschaft an innovativen Beregnungsprojekten teilzunehmen	Ja: ___	Nein: ___
Ich wünsche ein einzelbetriebliches Beratungsgespräch (zur Beregnungstechnik etc. gerne in Kooperation mit Herrn Hesse von der Uni Kassel)	Ja: ___	Nein: ___

Platz für Ihre Anregungen und Anmerkungen:

Einverständniserklärung zur Datenverwendung und zum Datenschutz:	
Ich erkläre mich hiermit einverstanden, dass die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen die o. g. Daten sachbezogen für die landwirtschaftliche Bedarfs- und Strukturanalyse verwenden darf. Alle Daten aus dieser schriftlichen Erhebung und ggf. einer persönlichen Befragung werden an Dritte nur in zusammengefasster und anonymisierter Form weitergegeben.	
(Ort, Datum)	(Unterschrift)

Quellen

Agrarmarkt Informations-Gesellschaft (AMI), OL-706, AMI-informiert.de, 2018

ANTER, J., KRAFT, M., LANGKAMP-WEDDE, T. (2017a): Sensorgestützte Beregnungssteuerung – ein Blick in die angewandte Forschung. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

ANTER, J., KREINS, P., HEIDECKE, C., GÖMANN, H. (2017b): Entwicklung des regionalen Bewässerungsbedarfs – Engpässe in der Zukunft? In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

Arbeitsgruppe Boden (2005): Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung, Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, 5. Aufl., 438 S.; 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen, Hannover 2005. ISBN 978-3-510-95920-4

BIRRENBACHER, A. (2021 a): Wasser ernten – In Brandenburg sind langanhaltende Trockenheit und auch Starkregen keine Seltenheit. Damit das Regenwasser dennoch den Boden Speist, nutzt Hof Windkind eine ressourcenschonende Methode: Wasserretentionsbecken. LandInForm, Ausgabe 2/2021, S. 18.

BIRRENBACHER, A. (2021 b): Klimaresistente Pflanzen – Mithilfe der Züchtung lassen sich Pflanzen an neue Herausforderungen anpassen. Welches Potenzial steckt darin? LandInForm, Ausgabe 2/2021, S. 19.

BISCHOFF, HOLZ, SCHRÖDTER (2007): Landesanstalt für Landwirtschaft Sachsen-Anhalt – Möglichkeiten der Anpassung aus acker- und pflanzenbaulicher Sicht, https://lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Klima/AG_Klimawandel/Workshops/workshop2/Dateien/anpassungsstrategien_19_10_2007jb.pdf (Download am 17.08.2021)

BNatSchG (2009): Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706) geändert worden ist

BOKU (2021): Bodenkunde Online – Saugspannung-Wassergehalt-Beziehung, https://www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/boku_online/pcboku10.agrar.hu-berlin.de/cocoon/boku/sco_6_wasserhaushalt_127cf8.html?section=N100CL (Download am 13.07.2021)

BLE (2019): Bundesinformationszentrum Landwirtschaft – Bewässerung in der Landwirtschaft, <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/bewaesserung-in-der-landwirtschaft/> (Download am 13.07.2021)

BLE (2021): Bundesinformationszentrum Landwirtschaft – Wie arbeiten Gemüsebauern in Deutschland, <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-arbeiten-foerster-und-pflanzenbauer/wie-arbeiten-gemuesebauern-in-deutschland> (Download am 13.07.2021)

Bundesgerichtshof (BGH), Beschluss vom 23.11.2012, BLw 12/11

Bundesverfassungsgericht (BVerfG) Karlsruhe, 1. Sen. Rechtskr. Urt. vom 20.03.1963 – 1 Bv R 505/59 – s. Recht der Landwirtschaft, 15. Jahrg. Nr. 4, Agricola Verlag, Stolhamm (OLDB), S. 95, April 1963

DE WITTE, T. (2017): Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

DESTATIS (2021): Flächennutzung; https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/_inhalt.html (Download am 21.06.2021)

DETER, A. (2019): Ökolandbau – Forscher verglichen Stabilität der Erträge aus konventionellem und ökologischem Anbau, <https://www.topagrar.com/oekolandbau/news/forscher-verglichen-stabilitaet-der-ertraege-aus-konventionellem-und-oekologischem-landbau-10562250.html>, topagrar-online (Download März 2019)

Deutscher Bauernverband (2021): Situationsbericht 2020/2021, Ressourcenschutz und Klima – 2.4 Folgen des Klimawandels; <https://www.bauernverband.de/situationsbericht/2-ressourcenschutz-und-klima/24-folgen-des-klimawandels> (Download am 17.07.2021)

Deutscher Bundestag (2019): Kurzinformation – Einzelfragen zur Photosynthese von C3- und C4-Pflanzen, Hrsg: Wissenschaftlicher Dienst, WD 8 – 3000-126/19, 26.09.2019.

DIESTEL, H. (2017): Hydrologische und biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft – vernachlässigte Aspekte und Lösungsansätze. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

DLG (2016): Boden gutmachen, <https://www.gemuese-online.de/Boden-gutmachen,QUIEP-TUwNzQ0MjgmTUIEPTyMzM.html> (Download am 19.07.2021)

DWD (2021): Klimawandel ein Überblick, Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html (Download am 20.05.2021)

ELWAS WEB (2021): Definition Kulturstau, <https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf;jsessionid=03F1A4164408C2B462A29B356E86D83F#> (Download 21.06.2021)

ERFTVERBAND (2021): Grundwasserneubildung, <https://www.erftverband.de/grundwasserneubildung/> (Download am 7.12.2021)

FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH (2021): Erklärung mGROWA, https://www.fz-juelich.de/ibg/ibg-3/EN/Research/Modelling_and_management_of_catchments/Water_Balance_And_Climate_Change/_node.html (7.12.2021)

FRICKE, E. (2017): Effiziente Bewässerungstechnik und –steuerung – Stand und Trends. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“,

Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

FRÖBA, N., BELAU, T. (2019): Betriebswirtschaftliche Eckdaten zur landwirtschaftlichen Bewässerung, KTBL; <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/betriebswirtschaftliche-eckdaten/> (10.07.2021)

GAWLIK, SCHUSTER (2021): Grundwasser – ein Geschenk aus der Tiefe, Geologischer Dienst NRW (Hrsg.), https://www.gd.nrw.de/gw_start.htm (Download am 20.05.2021)

GEOLOGISCHER DIENST NRW (2016): Boden in Nordrhein-Westfalen: Erkunden, Nutzen, Erhalten; 2. Überarbeitete Auflage; https://www.gd.nrw.de/zip/broschuer_boden.pdf (Download am 20.05.2021)

HERBST, M., FRÜHAUF, C. (2017): Wird das Wasser knapp? Wasserbedarf und –verfügbarkeit heute und in Zukunft. In Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

IHK NRW: 10 Fakten zur Flächennutzung in NRW, 19.12.2016 (mit Daten von IT NRW, 2016)

KLIMABERICHT NRW (2021): Klimawandel und seine Folgen – Ergebnisse aus dem Klimafolgen- und Anpassungsmonitoring. LANUV Fachbericht 120, https://www.klimaatlas.nrw.de/Media/Default/Dokumente/Screen_Klimabericht_2021_211208.pdf (Download am 24.01.2022)

KTBL (2013): KTBL-Datensammlung Feldbewässerung

KRUSE, S. (2017): Rechtliche Aspekte und Konflikte landwirtschaftlicher Wassernutzung. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

Landesbetrieb IT.NRW (2017): Landwirtschaft in NRW, Ergebnisse der Agrarstrukturerhebung 2016, https://www.it.nrw/sites/default/files/atoms/files/343a_17.pdf (Download am 20.05.2021)

LANDESBETRIEB IT.NRW (2021): Landwirtschaftliche Betriebe nach Größenklassen der landwirtschaftlich genutzten Fläche –LZ 2021, <https://www.it.nrw/statistik/eckdaten/landwirtschaftliche-betriebe-nach-groessenklassen-1481> (Download am 02.11.2021)

Landesnaturenschutzgesetz - LNatSchG NRW, in der Fassung vom 15. November 2016 (GV. NRW. S. 934), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 26. März 2019 (GV. NRW. S. 193, 214)

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Lenzen, Wilhelm: Landwirtschaftlicher Fachbeitrag zum Regionalplan „Metropolregion Ruhrgebiet“, Daten, Fakten, Entwicklungen der Landwirtschaft Im urbanen und suburbanen Raum, 2012

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Scholz, Herwig: Landwirtschaftlicher Fachbeitrag zum Regionalplan „Düsseldorf“, Daten, Fakten, Entwicklungen der Landwirtschaft Im ländlichen, suburbanen und urbanen Raum, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2013

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Schöler, Bruno: Standardwerte zur Ermittlung des Wasserbedarfs für Beregnung zur Beantragung einer wasserrechtlichen Erlaubnis, 2014

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen: Landwirtschaft und Gartenbau in NRW; <https://www.landwirtschaftskammer.de/ialb2017/nrw/landwirtschaft.htm>, 2017

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Boerman, Jürgen; Bodin, Ute; Lemke, Ulrike: Zahlen zur Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen, 2017

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Eich, Eduard: Stellungnahme zur Aufstellung des Regionalplan Ruhr, 2019

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Großewinkelmann, Markus: Bewässerungsrichtlinie Nordrhein-Westfalen 2019, <https://www.landwirtschaftskammer.de/foerderung/hinweise/bewaesserungsrichtlinie.htm> (Download am 20.05.2021)

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen: Auszug aus dem InVeKoS-Datenbanksystem des Landes NRW, 2018-2019

LANUV (2011): Klimawandel und Landwirtschaft – Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Entwicklung der Pflanzenproduktion in Nordrhein-Westfalen. https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/broschuere_klimawandel_landwirtschaft.pdf (Download 30.07.2021)

LÜTKE ENTRUP, S. (2021): Klimaresistente Pflanzen – Mithilfe der Züchtung lassen sich Pflanzen an neue Herausforderungen anpassen. Welches Potential steckt darin? LandInForm, Ausgabe 2/2021, S. 19.

LWK NDS (2018): Landwirtschaftskammer Niedersachsen - Online-Modul Feldbewässerung, <https://moodle.luenecom.de/course/view.php?id=3> (19.07.2021)

MARX, A. (2021): Dürremonitor Deutschland – Helmholtz Zentrum für Umweltforschung, <https://www.ufz.de/index.php?de=37937> (Download am 21.06.2021)

MESSER, J., WERNER, F., BAREIN, A., KONS, S. (2019): Lippe Wassertechnik GmbH – Maßnahmenkonzept für konkurrierende Grundwassernutzungen im Einzugsgebiet des Hammbachs in Dorsten, Abschlussbericht 2019, Projektnummer 34437/01-33/2

MIARA, SCHILLI (2021): Boden und Klimawandel, Geologischer Dienst NRW (Hrsg.), https://www.gd.nrw.de/bo_start.htm (Download am 20.05.2021)

MULNV: Ernährungswirtschaft in NRW, https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/land-u-ernaehrungswirtschaft_nrw.pdf, 2011

MULNV: Die Land- und Ernährungswirtschaft in NRW, https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/Broschueren/land-u-ernaehrungswirtschaft_nrw.pdf, 2015

MULNV (2019): Flächenverbrauch, <https://www.umwelt.nrw.de/umwelt/umwelt-und-ressourcenschutz/boden-und-flaechen/flaechenverbrauch/> (Download in 2019)

NOLEPPA, S., CARTSBURG, M. (2015): Nahrungsmittelverbrauch und Fußabdrücke des Konsums in Deutschland – Eine Neubewertung unserer Ressourcennutzung, WWF Deutschland

(Hrsg.), https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF_Studie_Nahrungsmittelverbrauch_und_Fussabdruck_des_Konsums_in_Deutschland.pdf (Download am 17.08.2017)

NOPPEL, H. (2017): Bericht des DWD - Modellbasierte Analyse des Stadtklimas als Grundlage für die Klimaanpassung am Beispiel von Wiesbaden und Mainz – Abschlussbericht; Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_berichte/pdf_einzelbaende/249_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (Download 20.05.2021)

ONLINEMARKETING-PRAXIS (2021): Nachhaltige Unternehmens- und Markenführung - Drei Säulen der Nachhaltigkeit, <https://www.onlinemarketing-praxis.de/basisinformationen/nachhaltige-unternehmens-und-markenfuuehrung> (Download am 18.09.2021)

RIEDEL, A. (2017): Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Bewässerung. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (2018): Lehrbuch der Bodenkunde, 17. Auflage, Berlin: Springer Spektrum Verlag, S. 131 ff

SCHNEIDER, U., FINGER, P., MEYER-CHRISTOFFER, A., RUSTEMEIER, E., ZIESE, M., BECKER, A. (2017): Evaluating the Hydrological Cycle over Land Using the Newly-Corrected Precipitation Climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). Atmosphere 2017, 8(3), 52; doi:10.3390/atmos8030052

SCHIMMELPFENNIG, S., HEIDECKE, C., ANTER, J. (2017): Herausforderungen für die Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Deutschland. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

SCHIMMELPFENNIG, S., ANTER, J., HEIDECKE, C., LANGE, S., RÖTTCHER, K., BITTNER, F. (2018): Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

SCHITTENHELM, S., KOTTMANN, L. (2017): Notwendigkeit der Bewässerung aus Sicht des Pflanzenbaus. In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

SCHREY, H. P. (2021): Differenzierung der Bodenart – Geologischer Dienst NRW (Hrsg.), https://www.gd.nrw.de/bo_korngroessenanalyse.htm (Download am 20.05.2021)

SCHREY, H. P. (2014): Die Karte der schutzwürdigen Böden in NRW 1:50 000, Geologischer Dienst NRW (Hrsg.), S. 14

SOURELL, H. (2007): Wasser marsch! – Technik und Kosten der Feldbewässerung. Agritechnica Forum 3, 13.11.2007, Hannover

STRECKER, S. (2021): Eine Kostprobe Zukunft – Ein Projekt aus Sachsen-Anhalt will die Landwirtschaft für die Folgen des Klimawandels wappnen. LandInForm, Ausgabe 2/2021, 30-31.

STROBL, T., ZUNIC, F. (2006): Wasserbau – Aktuelle Grundlagen, neue Entwicklungen; Springer Verlag, S. 570 ff

TEISER, B. (2017): Erfahrungen aus der Abwassernutzung auf landwirtschaftlichen Flächen. In: In: Schimmelpfennig, S., Anter, J., Heidecke, C., Lange, S., Röttcher, K., Bittner, F. (Hrsg.) „Bewässerung in der Landwirtschaft – Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg“, Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 161 p, Thünen Working Paper 85, DOI:10.3220/WP1515755414000

Umweltbundesamt (UBA) (2017): Texte 81 / 2017 – Entwicklung von konsumbasierten Landnutzungsindikatoren – Synthesebericht (Download im Januar 2017)

UBA (2020): Umweltbundesamt – Von der Welt auf den Teller. Kurzstudie zur globalen Umweltinanspruchnahme unseres Lebensmittelkonsums, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/von-der-welt-auf-den-teller> (Download am 11.10.2021)

UBA (2021): Umweltbundesamt – Nachhaltige Wasserwirtschaft, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasser-bewirtschaften/nachhaltige-wasserwirtschaft> (Download am 04.10.2021)

VETTER, A., DALITZ, L., MEILINGER, V., VAN RÜTH, P. (2021): Anpassung an die Klimafolgen jetzt beginnen – Die Folgen des Klimawandels werden mit Starkregen, Hitze- und Dürreperioden immer deutlicher. Wie können ländliche Regionen darauf reagieren und welche Unterstützung erhalten sie? LandInForm, Ausgabe 2/2021, 12-13.

ZAMG (2021): Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – Unterschied zwischen Klima und Wetter (Hrsg.), <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimafor-schung/wetter-und-klima> (Download am 26.08.2021)

Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet (NRW): Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserversorgung (KlimaBeHageN)

Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung von Wasser

Erstellt von:

Dr. Johannes Meßer

Dr. Florian Werner

Annika Barein

Sandra Hindersmann

Lippe Wassertechnik GmbH

Projektnummer: 530407

Projektbeginn/Laufzeit: 01.06.2020 (vorzeitiger Beginn) bis 28.02.2023

Essen, den 20. Januar 2023

Inhalt

Kurzfassung des Berichtes	4
1 Einleitung	8
2 Zielsetzung und Untersuchungsumfang	10
3 Methodik der Grundwassermodellierung	11
3.1 Aktualisierung der Datengrundlage	11
3.2 Weiterentwicklung der Berechnungsmethodik	13
3.3 Abgleich mit aktuellen Messwerten	16
4 Zur Verfügung stehendes Wasserdargebot	18
5 Variantenvergleich	22
5.1 Direkte Verwendung	22
5.2 Bilanzansatz	24
5.3 Beschreibung der einzelnen Bausteine	28
5.3.1 Entnahmestandort	28
5.3.2 Versickerungsanlage	29
5.3.3 Transportleitung	35
5.3.4 Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs	38
6 Auswirkungen der Versickerung auf die Grundwasserstände	39
7 Qualitative Eignung des Wassers	43
7.1 Geochemische Wirkung der Versickerung	43
7.2 Spurenstoffe im Wasser des Blauen Sees	48
8 Kostenannahme	54
9 Kosten-Nutzen-Analyse	56
10 Weitere sinnvolle Maßnahmen	61
11 Maßnahmenumsetzung Deutener Moor	62
11.1 Hydrologische Situation	62
11.2 Maßnahmendetailplanung und bauliche Umsetzung	64
11.3 Grundwassermonitoring	69
11.4 Weitergehende Maßnahmenvorschläge	77
11.4.1 Reduzierung Bestockungsgrad	77
11.4.2 Einleitung Schafsbach	77
11.4.3 Versickerung am Westrand des Deutener Moores	78

12 Entscheidungshilfetool	79
13 Fazit	83
14 Literatur	84

Kurzfassung des Berichtes

Im Raum Dorsten-Haltern befindet sich mit den Halterner Sanden eines der größten nutzbaren Grundwasservorkommen Nordrhein-Westfalens. Durch konkurrierende Nutzungen dieses Vorkommens ist der Grundwasserleiter stark beansprucht, der mengenmäßige Zustand gilt gemäß Bewirtschaftungsplan des Landes als „noch gut“.

Im Rahmen des 2019 abgeschlossenen DBU-Vorhabens (1. Phase) wurde unter Beteiligung der wasserwirtschaftlich relevanten Akteure im Einzugsgebiet des Hammbachs das grundlegende Konzept erstellt und abgestimmt. In der 2. Phase wird das Konzept weiter konkretisiert. Die vorliegende Machbarkeitsstudie zum Transport und zur Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung in der Landwirtschaft und die Umsetzung von Maßnahmen im Deutener Moor sind dabei wesentliche Bausteine des Projektes.

Nach einer Aktualisierung der Grundlagen wurden Modelle zur Simulation von Grund- und Oberflächenwasser ertüchtigt und erweitert. Es erfolgte eine modellgestützte Überprüfung der Wirksamkeit konzipierter Maßnahmen. Die Wasserrechte schöpfen derzeit das verfügbare Grundwasserdargebot aus. Es gibt keine Spielräume für größere weitere Entnahmen. Der Abfluss im Hammbachsystem ist durch die Entnahmesituation insgesamt bereits heute beeinträchtigt. Im Rahmen des Projektes wurden mögliche Maßnahmen zur Erhöhung des Dargebotes mit den Akteuren erarbeitet und auf ihre Wirksamkeit geprüft. In Anbetracht des Wasserbedarfs zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen in Höhe von ca. 8 Mio. m³/a verbleibt vorrangig der Transport und die Versickerung von Wasser aus dem Bergsenkungsschwerpunkt am Pumpwerk Hammbach, um die Wasserbilanz so weit zu verbessern, dass neue Wasserrechte für die Landwirtschaft gestattet werden können. Voraussetzung ist, dass das versickerte Wasser nicht zum Hammbach zurückströmt, um das Wasser nicht im Kreis zu pumpen.

Im ersten Schritt wurden die verfügbaren Wassermengen am Hammbach ermittelt. Das Wasser für eine Versickerung steht überwiegend im Winterhalbjahr zur Verfügung. Am Betriebswasserwerk Blauer See der Rheinisch-Westfälischen Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW) stehen 5 Mio. m³/a realistisch zur Verfügung (einschl. Wasser aus dem Pumpwerk Marienviertel des Lippeverbands (LV)). Weitere 3 Mio. m³/a stehen am Pumpwerk Hammbach zur Verfügung.

Zur Nutzung durch die Landwirtschaft kommt nur die Versickerung und Erteilung von Grundwasserentnahmerechten in Frage, da im Sommer im Falle des Bewässerungsbedarfs das Wasser für eine direkte Verteilung an die Landwirtschaft nicht zur Verfügung steht.

Es wurden verschiedene Varianten mit und ohne den Blauen See als Zwischenspeicher bzw. eine Direktentnahme aus dem Hammbach und am Pumpwerk Hammbach untersucht. Sinnvollerweise kann der Blaue See als Zwischenspeicher vor dem Transport zum Versickerungsstandort genutzt werden, zumal dort die Infrastruktur (Betriebswasserwerk Blauer See) vorhanden ist. So kann sowohl die Transportmenge als auch die Beschaffenheit des Wassers vergleichmäßig werden. Die wasserrechtliche Erlaubnis zur Entnahme ist bereits vorhanden und nutzbar, lediglich der Zweck muss angepasst werden.

Auch bei der Wahl des geeigneten Versickerungsstandortes wurden zahlreiche Varianten geprüft. Zur Bewertung wurden die geologisch-hydrogeologischen Bedingungen (ausreichende Durchlässigkeiten und Flurabstände, außerhalb der Rhader Mergelscholle, außerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes des Hammbachs), naturschutzrechtliche Aspekte (außerhalb von Naturschutzgebieten und geschützten Landschaftsbestandteilen, möglichst außerhalb von Waldflächen, Rekultivierungsfestsetzungen/Kompensationsbindungen) und weitere Randbedingungen (Entfernung zu den Trinkwasserbrunnen, Altlastenverdachtsflächen) einbezogen. Als beste Möglichkeit hat sich dabei ein Standort in der Bakeler Heide herausgestellt. Wegen der zu hohen Grundwasseranstiege musste allerdings auf einen Bereich innerhalb des Waldgebietes (kein Naturschutzgebiet) ausgewichen werden. Hier könnte das Wasser sowohl über Sickerrigolen als auch über Brunnen versickert werden. Entweder sind acht Brunnen mit je mind. 40 m Tiefe oder eine bis zu 900 m lange und ca. 5 m tiefe Versickerungsanlage erforderlich. Versickerungsbecken sind keine Option, da sie sehr flächen- und wartungsintensiv sind. Infolge der Versickerung bei gleichzeitiger Grundwasserentnahme durch die Landwirtschaft kommt es in einem größeren Bereich um den Versickerungsstandort zu deutlichen Grundwasseranstiegen, allerdings sind die Flurabstände hier relativ hoch. Die lokale Betroffenheit von Gebäuden, landwirtschaftlichen Nutzflächen und Waldflächen (Vernässungsgefahr) kann nicht ausgeschlossen werden und ist im weiteren Planungsprozess zu berücksichtigen. Die Flurabstandsverringerung hat allerdings auch positive Effekte auf bereits geschädigte Feuchtlebensräume (Deutener Moor, Rhader Wiesen) und den Wasserbedarf landwirtschaftlicher Nutzflächen sowie das Dargebot für die Trinkwassergewinnung. Die Wasserqualität des zu versickernden Wassers wurde geprüft. Auch wenn ubiquitäre Hintergrundbelastungen im Wasser des Blauen Sees vorhanden sind, werden die Grenzwerte von Stoffen, die in der Trinkwasserverordnung reguliert sind, eingehalten. Die Möglichkeit einer eventuellen Vorbehandlung ist bei einer Sickerrigole eher

gegeben als bei Brunnen. Demgegenüber sind der Platzbedarf und die Sichtbarkeit in der Landschaft bei Brunnen geringer.

Auch für die Transportleitung vom Betriebswasserwerk Blauer See zum Versickerungsstandort wurden verschiedene Trassen geprüft. Entgegen der Empfehlung aus der 1. Projektphase wurden in Abstimmung mit allen Beteiligten Versickerungen im Anstrom des Deutener Moores und Einleitung von Wasser in den Schafsbach (Rhader Wiesen) nicht mehr betrachtet. Die günstigste Trasse ist 7,1 km lang, verläuft ausschließlich im Stadtgebiet von Dorsten und auf bzw. an Wegen (3,4 Straßen, 2,4 km befestigt und 1,2 km unbefestigt) außerhalb von Schutzgebieten. Die B58 und A31 müssen durch einen unterirdischen Vortrieb gequert werden. Für die zu transportierenden Wassermengen ist ein Außendurchmesser der Leitungen von 710 mm erforderlich. Daraus ergibt sich eine Arbeitsbreite bei der Verlegung von 2,8 m und eine Tiefe der Baugrube von 1,8 m. Das Wasser muss 25 m bis 30 m hochgepumpt werden. Zur Erreichung dieser Förderleistung müssen die Pumpen im Betriebswasserwerk Blauer See ertüchtigt werden. Ohne Wasseraufbereitungsmaßnahmen und Kosten für den Flächenkauf beläuft sich die Kostenannahme auf 28,4 Mio. € (Brunnenvariante) bzw. 29,4 Mio. € (Sickerrigolenvariante). Ebenfalls nicht enthalten in der Kostenannahme ist die Ertüchtigung des Betriebswasserwerkes Blauer See, die Profilertüchtigung der Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs sowie besondere Erschwernisse bei der Leitungsverlegung (z.B. Leitungsquerungen).

Zu den Investitionskosten kommen noch die Betriebskosten, vor allem der Energieverbrauch, der Anlage. Es wird die Pumpleistung am Pumpwerk Hammbach reduziert, aber das Wasser wird nach Norden zur Versickerungsanlage gepumpt. In Summe ergibt sich ein Energiebedarf von rund 970 MWh/a, der allerdings durch regenerative Energieerzeugung bereitgestellt werden könnte. Durch die Versickerung von Wasser in den Grundwasserleiter wird der Wasserhaushalt stabilisiert, der gerade in Trockenperioden stark beansprucht wird. Durch die Vergrößerung des Grundwasserdargebots können zukünftige Nutzungskonkurrenzen minimiert werden. Der Nutzen der Anreicherung lässt sich in dieser Hinsicht nicht finanziell beziffern, er trägt aber zur Konkurrenzvermeidung zwischen Wasserversorger, Landwirtschaft und der Ökologie bei. Durch die Versickerung von Wasser würde außerdem eine ökologische Aufwertung der Feuchtgebiete erfolgen.

Neben den wirtschaftlichen Aspekten ist der ökologische Nutzen der Maßnahme zu bewerten. Durch die Versickerung zur Stabilisierung des Wasserhaushalts wird einem periodischen bis dauerhaften Trockenfallen der Fließgewässer (u.a. mit Fischsterben durch Sauerstoffmangel und Lebensraumverlust) aktiv entgegengesteuert. Dies trägt in einem sehr hohen Maß zum Erhalt der Biodiversität in den Naturschutzgebieten und zur Stärkung

der Klimaresilienz bei. Eine naturwissenschaftlich-technische Ermittlung eines Begünstigungsanteils kann nicht durchgeführt werden. Die Verrechnung der gewünschten (Wieder-) Vernässung von Feuchtgebieten gegen die auskömmliche Ertragsstruktur in der Landwirtschaft und dem nachhaltigen Betrieb der Trinkwassergewinnung ist nicht möglich.

Innerhalb des Projektes wurden Grabeneinstauung im Brosthausener Wiesenmoor (Deutener Moor) umgesetzt und durch ein Monitoring die Auswirkungen ermittelt. Es wurden zwei Dämme mit Überlaufschwelle (Graben 1.23) und zwei ohne Überlaufschwelle (Graben 1.21) sowie weitere Nebenverschlüsse (Graben 1.21 und 1.20) im November 2020 mit Sandsäcken errichtet. Die Maßnahmen wurden dem Kreis Recklinghausen nach Abstimmung angezeigt. Mit Hilfe dieser Maßnahmen lässt sich das Grabensystem um 0,2 m bis 0,4 m einstauen, so dass im Winter das Grundwasser oberflächennah ansteht. Die Flurabstände können damit im Frühjahr länger geringgehalten werden. Dies ist allerdings auch vom Witterungsverlauf im Frühjahr abhängig. Im ersten Jahr nach der Umsetzung der Maßnahme 2021 war der Niederschlag „normal“ und im zweiten Jahr 2022 gab es ein ausgesprochen trockenes Frühjahr. Letzteres hat gezeigt, dass das Absinken der Grundwasserstände zwar verzögert, aber klimatische Einflüsse damit nicht kompensiert werden können. Sinnvoll wäre in Zukunft eine Reduzierung des Bestockungsgrades der Gehölze, um die Verdunstung im Frühjahr und Sommer zu minimieren.

Im Rahmen der Weiterentwicklung von Entscheidungshilfen für die Behörden wurde unter aktiver Einbindung der bereits involvierten Wasserbehörden für zukünftige **wasserbehördliche Fragestellungen** das vorhandene Grundwassermodell für die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und oberirdischen Gewässern verbessert und bietet nun die Möglichkeit, diesbezüglichen Fragestellungen nachzugehen.

Die Entnahmerechte im Gebiet wurden von den Behörden (hier: Untere Wasserbehörde Kreis Recklinghausen) in der Vergangenheit oft über lange Jahre vergeben und basierten auf Schätzungen zur Grundwasserneubildung; die entnommene Grundwassermenge sollte dabei für eine ausgeglichene Bilanz nicht höher sein als die natürliche Neubildungsrate. Neben der Aktualisierung der Gesamt-Wasserhaushaltsbilanz hat *KlimaBeHageN* mit dem verbesserten Grundwassermodell den **Behörden eine verbesserte Entscheidungshilfe für Wasserrechtsverfahren** gegeben. Zudem ist das Modell ein wichtiges Werkzeug für zukünftige Aufgaben des regionalen Grundwassermanagements, die insbesondere mit der Umsetzung von Bewässerungsmaßnahmen notwendig würden.

1 Einleitung

Durch konkurrierende Nutzungen des Grundwasservorkommens der Halterner Sande im Raum Dorsten ist der Grundwasserleiter stark beansprucht. Gemäß Bewirtschaftungsplan 2016-2021 (zweite Bestandsaufnahme) ist der Grundwasserkörper der Halterner Sande in mengenmäßiger Hinsicht ein als „gefährdet eingestufter Grundwasserkörper“. Abbildung 1 zeigt das Untersuchungs- bzw. Grundwassermodellgebiet innerhalb der betroffenen Grundwasserkörper „Halterner Sande / Hohe Mark“ (Teilkörper 278_07). Westlich grenzt das „Tertiär des westlichen Münsterlandes / Schermbeck“ (Teilkörper 278_03) und im Süden die Niederung der Lippe / Dorsten“ (Teilkörper 278_02) an. Die Aufrechterhaltung des mengenmäßig guten Zustands des Grundwasserkörpers im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist von erheblicher umweltpolitischer Relevanz. Mit dem vorliegenden Projekt soll ein Beitrag zur Verbesserung des mengenmäßigen Zustands am Beispiel des Einzugsgebiets des Hammbachs in Dorsten geleistet werden.

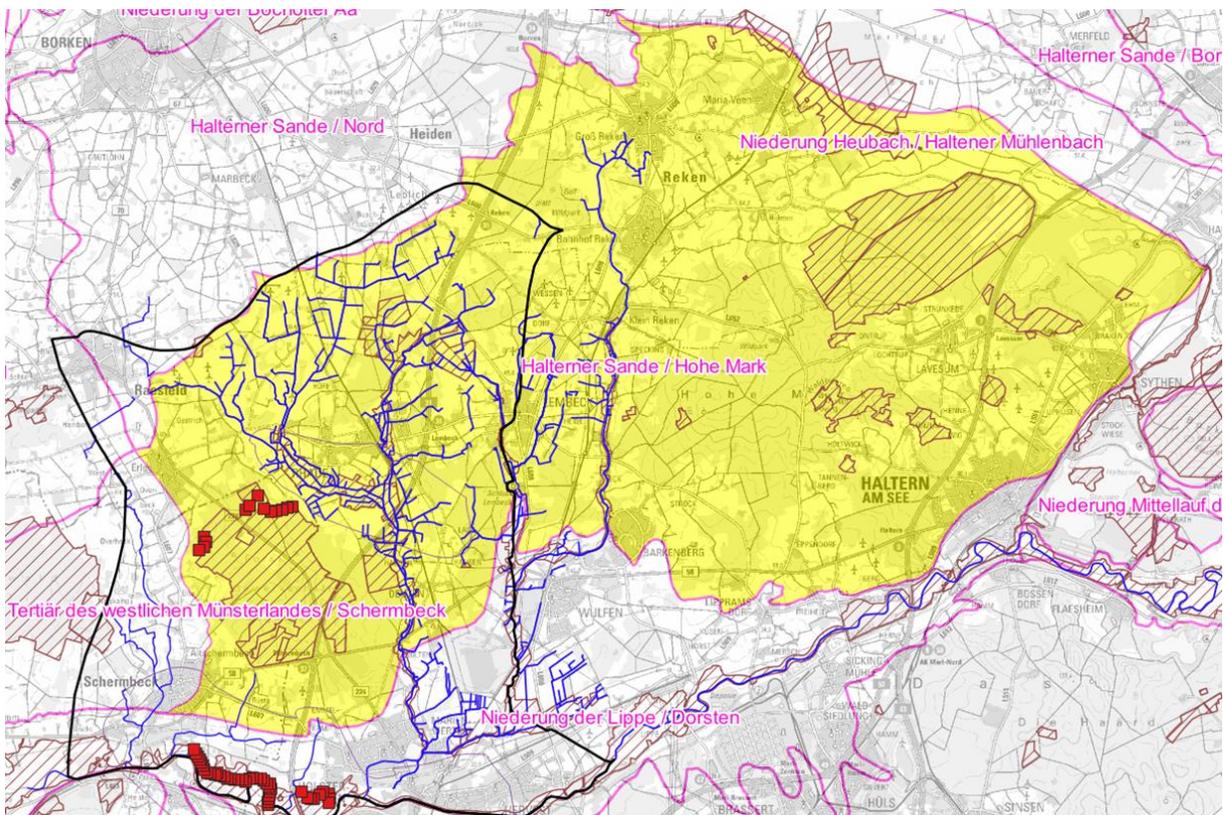


Abbildung 1: Untersuchungs- und Grundwassermodellgebiet (schwarze Umrandung) innerhalb der betroffenen Grundwasserkörper (gelb) und GW-Fassungsanlagen (rote Quadrate)

In Zusammenarbeit mit den Grundwassernutzern wurde durch die DBU ein Maßnahmenkonzept gefördert, um Nutzungskonkurrenzen, verstärkt durch den Klimawandel, zukünftig zu minimieren. Im Rahmen des 2019 abgeschlossenen DBU-Vorhabens (1. Phase) wurde unter Beteiligung der wasserwirtschaftlich relevanten Akteure im Einzugsgebiet des Hammbachs das grundlegende Konzept erstellt und abgestimmt. In der 2. Phase soll das Konzept weiter konkretisiert werden. Die vorliegende Machbarkeitsstudie zum Transport und zur Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung in der Landwirtschaft ist dabei nur ein Baustein des Projektes. Diese beinhaltet die endgültige Klärung der zur Verfügung stehenden Wassermengen, die technischen Maßnahmen zur Zwischenspeicherung, den Transport nach Norden und die Versickerung zur Grundwasseranreicherung sowie eine erste Prüfung der Wasserqualität. Weitere Bausteine sind die Ermittlung des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft (Landwirtschaftskammer NRW), die Erarbeitung von Ansätzen effizienter Bewässerungstechnik zur Optimierung des Wassereinsatzes (Universität Kassel, Agrartechnik Witzenhausen) sowie die Erarbeitung einer Organisationsstruktur und eines Finanzierungsmodells (Hochschule Ruhr West).

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Erstellung einer Studie zur Umsetzbarkeit der in der 1. Phase erarbeiteten Maßnahmenvorschläge mit belastbarer Kostenannahme, die Dokumentation der Umsetzung von Maßnahmen im Deutener Moor sowie die Weiterentwicklung des erstellten Entscheidungshilfetoole für die Behörden.

2 Zielsetzung und Untersuchungsumfang

Heute stehen zur Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen keine ausreichenden Wassermengen zur Verfügung, so dass nur in geringem Umfang wasserrechtliche Erlaubnisse für die Grundwassernutzung erteilt werden (Auskunft Bezirksregierung Münster). Ziel der Studie sind Vorschläge zur Erhöhung des Grundwasserdargebotes bzw. zur Bereitstellung von Wasser für die landwirtschaftliche Bewässerung. Daraus ergibt sich folgender Untersuchungsumfang:

- Klärung der zur Verfügung stehenden Wassermengen
- Variantenvergleich mit Erarbeitung einer Vorzugsvariante zum Standort der Entnahme und Notwendigkeit einer Zwischenspeicherung
- Beschreibung der einzelnen Bausteine
- Auswirkungen einer Versickerung auf das Grundwasser
- Prüfung der Wasserqualität zur Versickerung
- Belastbare Kostenannahme
- Kosten-Nutzen-Analyse unter Berücksichtigung aller Umweltaspekte

Hierfür wurden Abstimmungsgespräche mit allen Stakeholdern, insbesondere mit den Behörden, RWW und dem Lippeverband, geführt. Von den Behörden wurden dabei Vorgaben zur Standortwahl für eine Versickerungsanlage bzw. einer Leitungstrasse zu dieser, Anforderungen an die Wasserqualität und Genehmigungsfähigkeit im Hinblick auf die Art der Versickerung benannt. Mit RWW wurde die Verfügbarkeit des Blauen Sees als Speicher und mit dem Lippeverband die am Hammbach zur Verfügung stehenden Wassermengen abgestimmt.

3 Methodik der Grundwassermodellierung

Das vorhandene Grundwassermodell wurde aktualisiert und weiterentwickelt. Die Aktualisierung erfolgte auf der Basis der hydrologischen Daten der Abflussjahre 2017 bis 2020. Die Weiterentwicklung diente der verbesserten Berechnung der jahreszeitlich schwankenden Wasserstände in den Fließgewässern. In diesem Rahmen wurde eine Masterarbeit zur Untersuchung von Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet des Hammbachs betreut (Radler 2022).

3.1 Aktualisierung der Datengrundlage

Für die Abflussjahre 2017 bis 2020 wurden für das unterirdische und das oberirdische Einzugsgebiet des Hammbachs für Teilflächen mit jeweils gleicher Nutzung mit dem Tool GWneu (Meßer, 2013) die Größen Grundwasserneubildung und Direktabfluss berechnet. Die Berechnung wurde für Monatswerte durchgeführt, um mit der im Grundwassermodell verwendeten zeitlichen Auflösung zu harmonisieren.

Die zusammengefassten Jahressummen der Grundwasserneubildung der einzelnen Jahre für das unterirdische Einzugsgebiet des Hammbachs zeigt die Abbildung 2. Das Fließgewässersystem des Hammbachs und der Nebengewässer ist in schwarz dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in allen vier Abflussjahren im Bereich der Fließgewässer und der direkten Umgebung größtenteils negative Neubildungsraten berechnet wurden, also Grundwasser gezehrt wurde. Betrachtet man die Flächen mit positiven Neubildungsraten erkennt man, dass im Einzugsgebiet des Rhader Bach/Schafsbach die Grundwasserneubildungsrate im Abflussjahr 2017 größtenteils bei 150 bis 250 mm/a liegt. 2018 und 2019 wird auf den meisten Flächen 250 bis 300 mm/a neu gebildet, während es 2020 bis zu 350 mm/a sind. In den Einzugsgebieten des Kalten Bachs und des nördlichen Rhader Mühlenbachs beträgt die Grundwasserneubildung in allen vier Jahren auf mehreren Flächen zwischen 50 und 100 mm/a. Auf den restlichen Flächen schwankt die Grundwasserneubildung größtenteils zwischen einem und 50 mm/a im Abflussjahr 2017 und 200 bis 250 mm/a in den Abflussjahren 2018 und 2020. Im Abflussjahr 2020 werden maximale Neubildungsraten von bis zu 350 mm/a berechnet. Im Bereich der Einzugsgebiete des südlichen Rhader Mühlenbachs und des Hammbachs beträgt die Grundwasserneubildungsrate größtenteils zwischen 200 und 250 mm/a im Abflussjahr 2017, 205 bis 300 mm/a in den Abflussjahren 2018 und 2019 sowie zwischen 300 und 350 mm/a im Abflussjahr 2020. Grund für die unterschiedlich hohen Raten in den Teileinzugsgebieten sind neben den klimatischen

Entwicklungen auch die unterschiedlichen Flächennutzungen. Die höchsten Grundwasserneubildungen kommen bei Ackerland vor. Das Einzugsgebiet Rhader Bach/Schafsbach besteht größtenteils aus Ackerflächen, genauso wie das Gebiet östlich des Hammbachs.

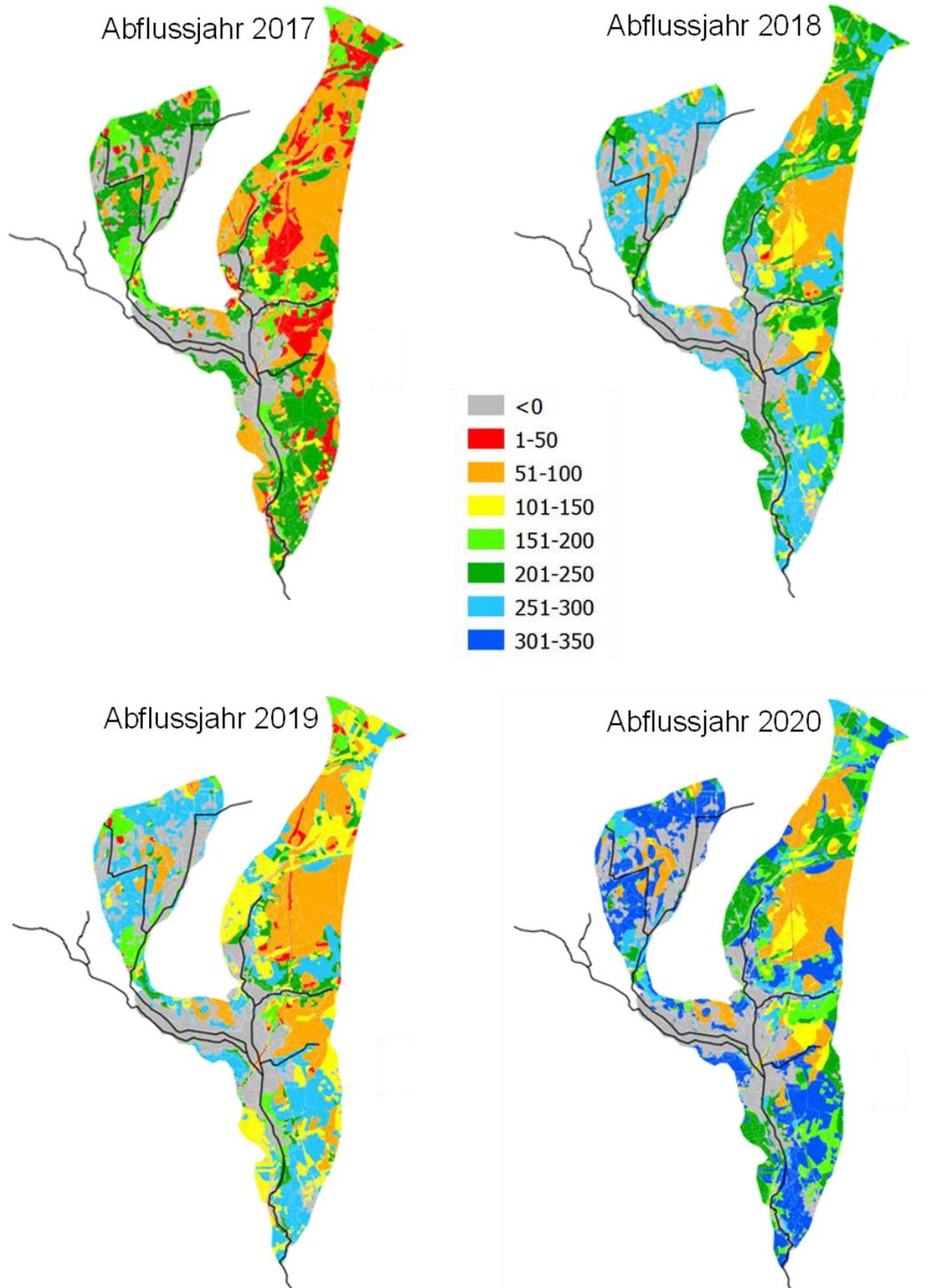


Abbildung 2: Grundwasserneubildung der Abflussjahre 2017 bis 2020 in mm/a (Radler 2022)

In diesen Bereichen wurden in den vier betrachteten Jahren auch die höchsten Grundwasserneubildungen berechnet. Die in allen vier Jahren orange eingefärbten Flächen in den Einzugsgebieten des Kalten Bachs und Rhader Mühlenbachs im Nordosten sind ebenfalls landwirtschaftlich genutzte Flächen und Grünland, weisen jedoch geringere Neubildungsraten als die restlichen Ackerflächen auf. Dies ist mit vergleichsweise großen Grundwasserflurabständen von bis zu 15 Metern in diesem Gebiet zu erklären. Die Grundwasserzehrung findet hauptsächlich im Bereich der Fließgewässer statt. Dort werden die Flächen größtenteils landwirtschaftlich genutzt. In den Bereichen negativer Neubildungsraten befindet sich ein Großteil der landwirtschaftlichen Dränagen. Diese führen einerseits zu Grundwasserzehrung und andererseits strömt Wasser in die Fließgewässer (effluente Verhältnisse), wodurch auch im näheren Umfeld der Gewässer Grundwasser gezehrt wird. Im südlichen Teil des Einzugsgebiets, im Bereich des Hammbachs, wurden keine Grundwasserzehrungen berechnet. Dies weist darauf hin, dass in diesem Bereich das Potential des Grundwassers dauerhaft unterhalb der Wasserspiegelhöhe liegt, sodass kein Grundwasser dem oberirdischen Gewässer zufließen kann. Außerdem befinden sich in diesem Bereich keine landwirtschaftlichen Dränagen mehr (Radler 2022).

3.2 Weiterentwicklung der Berechnungsmethodik

Die Wasserstände der Fließgewässer im Modell werden als Randbedingungen vorgegeben. Damit sie über die Zeit nicht als unveränderliche Größe bestehen bleiben, werden Fließgewässernetzwerke betrachtet, bei denen der aus dem Grundwasserraum erzeugte Ein- oder Ausstrom (Infiltration/Versickerung und Exfiltration/Quellstrom) über die Fließlänge bilanziert wird. Um realistische Abflüsse zu berechnen, muss deshalb der Anteil an oberirdischen Zuströmen zusätzlich berücksichtigt werden. Im genutzten Programm SPRING (delta h 2022) wird dieser Anteil als benutzerdefinierter Volumenstrom behandelt, der den FE-Knoten des Modells zeitabhängig zugegeben wird. Bislang wurde diese Größe von den gemessenen Abflüssen am Pegel Hammbach abgeleitet. Nun wurde versucht, diese Größe aus den berechneten Direktabflüssen der Teilflächen des oberirdischen Einzugsgebiets und aus dem Abflussanteil, der in den landwirtschaftlichen Dränagen gefasst wird, zu bilden.

Dazu wurde mit GIS-Methoden (ArcGIS) eine Zuweisung des Direktabflusses von den Teilflächen zu den jeweiligen Knoten des Abflussnetzwerks (bzw. der Abflusskette) erzeugt. Hierfür wurde ein Fließrouting auf Basis der Geländehöhen erzeugt, so dass jedem Knoten die Teilflächen zugeordnet werden konnten, die in den Gewässerabschnitt entwässern, der durch den jeweiligen Knoten repräsentiert wird. Die zeitliche Verzögerung konnte durch die

Verwendung von Monatsschritten vernachlässigt werden. Für die Berechnung der Zeitreihe von 48 Monaten wurden mit dieser Zuordnung für jeden Monat die Abflüsse summiert und an den jeweiligen Knoten die Abflusskette damit beaufschlagt.

Bei der Berücksichtigung der Volumenströme, die an den landwirtschaftlichen Dränagen über Randbedingungen dem Grundwasserraum entnommen werden, musste eine Vereinfachung in Kauf genommen werden, da das verwendete Programm (SPRING) es in dem erforderlichen Maß bislang nicht erlaubt, die dem Grundwassersystem über Randbedingungen entnommenen Volumenströme an anderer Stelle dem Modell hinzuzufügen. Die entnommenen Volumenströme wurden für den entsprechenden Berechnungslauf ausgelesen und als Randbedingung der Abflusskette beaufschlagt. Damit wurde die Rückkopplung vernachlässigt, die entsteht, wenn durch das Wasser der Dränagen der Wasserstand im Fließgewässer steigt und somit auf die Größe des Volumenstroms aus den Dränagen zurückwirkt. Dies wird als hinnehmbarer geringer Fehler betrachtet. Einen Vergleich der berechneten und der gemessenen Abflüsse zeigt Abbildung 3. Es zeigt sich eine relativ gute Anpassung der Berechnung bei Verwendung der beiden Abflusskomponenten *Direktabfluss* und *Entnahme über Dränagen*. Die Güte der Anpassung ergibt sich dabei weniger über die absolute Höhe der Differenz zwischen berechneten und gemessenen Werten, sondern über die Wiedergabe der jahreszeitlichen Dynamik. Beispielhaft für diese Dynamik ist ein Abschnitt am mittleren Schafsbach. Dort wechseln sich In- und Exfiltration saisonal ab (Abbildung 4).

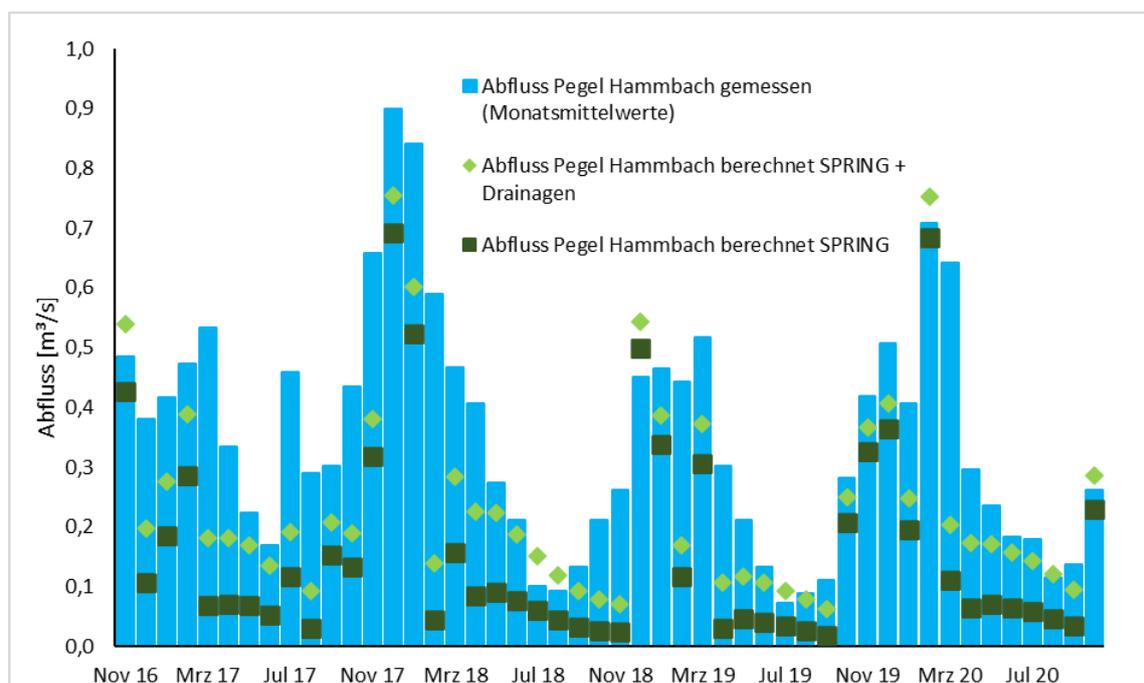


Abbildung 3: Gemessene und berechnete Abflüsse am Pegel Hammbach (Radler 2022)

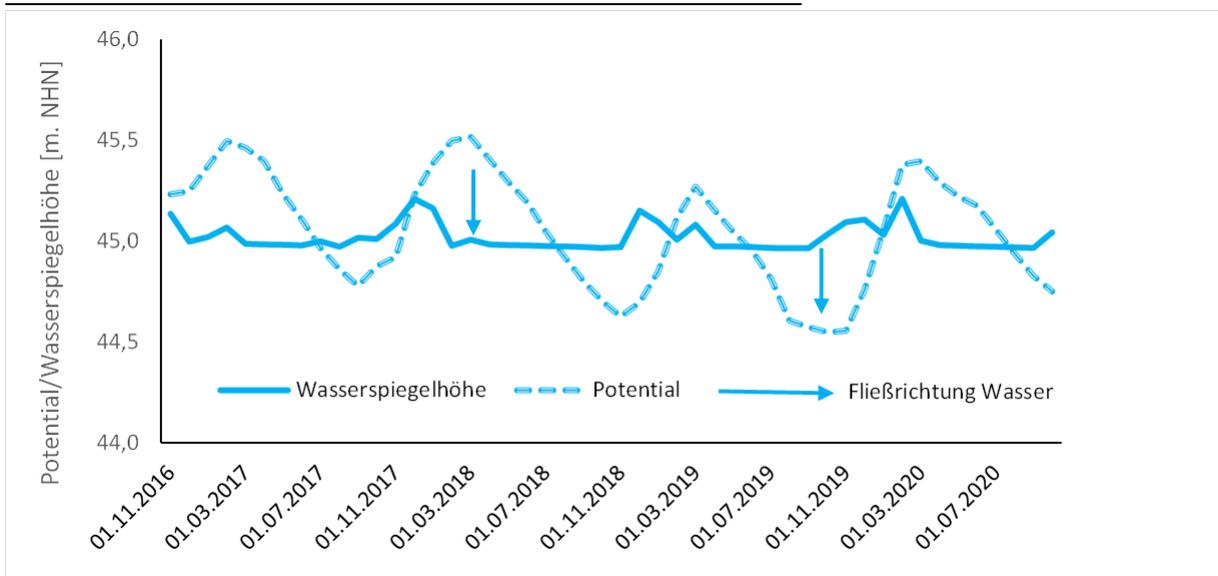


Abbildung 4: Jahreszeitlich wechselnde In- und Exfiltration am Schafsbach. Potenziale im Grundwasser und Wasserspiegellhöhe im Schafsbach (Radler 2022)

In der Abbildung 4 ist das jahreszeitlich veränderliche Potential im Grundwasser dargestellt, welches durch die Grundwasserneubildung angetrieben wird. Wenn es über das Niveau des Wasserspiegels im Schafsbach steigt, dann findet eine Exfiltration von Grundwasser in den Schafsbach statt, wenn es unter diese fällt, dann findet eine Infiltration von oberirdischem Wasser in das Grundwasser statt. Vor dem Hintergrund des zeitweisen Trockenfallens des Schafsbachs und der Untersuchung einer Wassermangelsituation ist diese Art der Betrachtung unerlässlich. Zwar erlaubt der Stand der Technik auch eine vollständig gekoppelte Modellierung der Naturkompartimente oberirdische Fließgewässer und Grundwasserraum, allerdings steigt damit der Bedarf an Daten und Parametern sehr erheblich. Die Betrachtung von Abflusketten/Abflusnetzen als Gruppen von Randbedingungsknoten des Grundwassermodells hat sich hier und in dem vorangegangenen Projekt zum Hammbach bewährt. Ein Bedarf für weitere Verbesserungen besteht noch in der Behandlung der Beziehung von Abflüssen und Wasserständen im Fließgewässer, deren Geometrien aktuell nur vereinfacht vorgegeben werden können sowie der oben angesprochenen Verknüpfung von Randbedingungen (Dränagen/Fließgewässer).

3.3 Abgleich mit aktuellen Messwerten

Aus der aktuellen Simulation mit der oben beschriebenen, angepassten Methodik und den über die Zeit nachgeführten Randbedingungen, ist exemplarisch die Grundwassersituation am Deutener Moor im Folgenden dargestellt (Abbildung 5).

Sowohl die in der ersten Projektphase berechneten Potenziale, als auch die aktuell berechneten Potenziale der Messstelle Moor sind als Ganglinie in der Abbildung dargestellt. Die gemessenen und berechneten Werte zeigen deutlich eine Verringerung der mittleren Grundwasserstände im langjährigen Trend und eine Verkürzung der Vernässungszeiten während der Wintermonate. Da das Standrohr der Messstelle über Flur ausgeführt ist, werden auch Messwerte über Gelände aufgezeichnet. Die Berechnung ergibt für diese Zeiten bis auf die Jahre 2019 und 2020 ebenfalls einen Austritt von Grundwasser an der Oberfläche. Die Grundwasserstände fallen sogar unter den Filter der Messstelle, sodass diese Werte keine Aussage über den tatsächlichen Grundwasserstand mehr liefern können. Die Berechnungen zeigen das Absinken unter das Niveau des Filters deutlich. Bei der Widerspiegelung des Grundwasseranstiegs nach einem Tiefstand zeigt die Berechnung ein zu spätes Einsetzen des Anstiegs. Wahrscheinlich ist die Porenwassersättigung im flachen Untergrund des Moors signifikant vom Direktabfluss der Flächen beeinflusst, was das Modell nicht nachbilden kann.

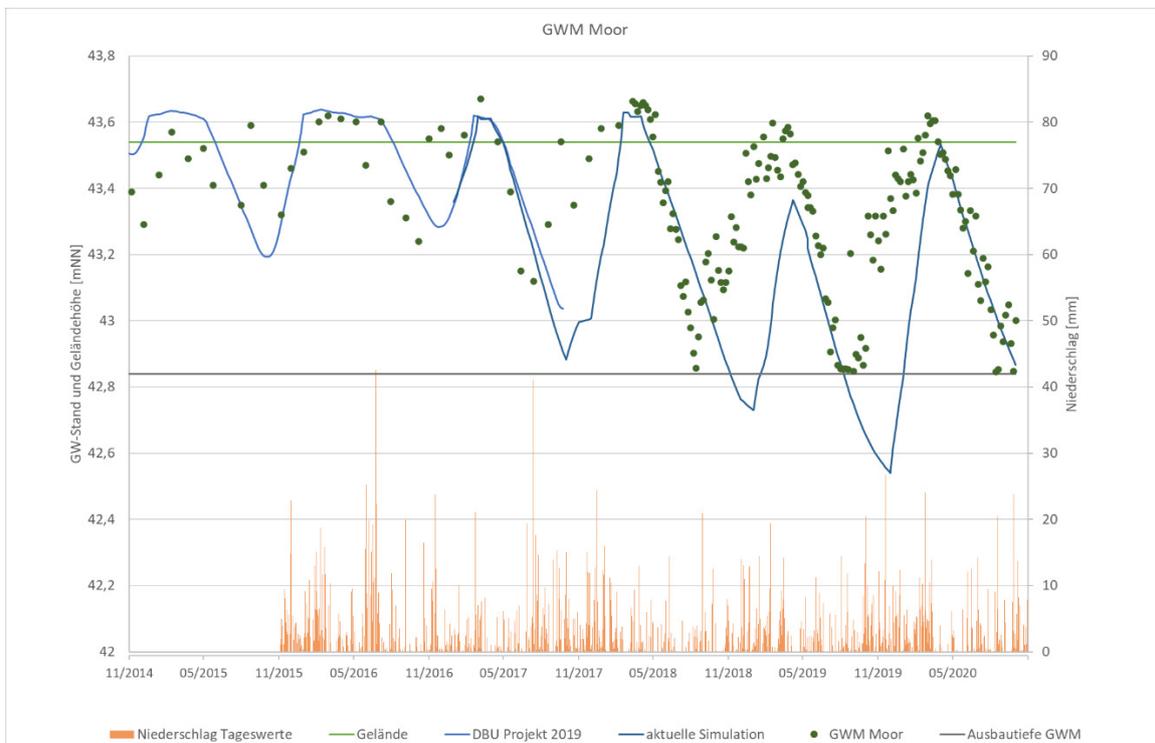


Abbildung 5: Simulation der Grundwassersituation im Deutener Moor

Eine klare Aussage lässt sich treffen, ob die Entnahme an der Brunnengalerie Üfter Mark für diesen Trend verantwortlich ist. Das Deutener Moor befindet sich ca. 2,5 km südöstlich der Brunnengalerie Üfter Mark (Abbildung 21). Die Abbildung 6 zeigt die zeitliche Entwicklung der Rohwasserentnahme. Die Förderung ist im dargestellten Zeitraum leicht rückläufig (von rund 9 Mio. m³ im Jahr 2014 auf rund 7 Mio. m³ im Jahr 2020). Somit scheidet die Rohwasserentnahme als Ursache für den aktuellen Trend (der letzten sechs Jahre) an der Messstelle Moor aus. Die Berechnungsergebnisse (abfallende GW-Stände in der Messstelle Moor) werden von der klimatischen Entwicklung getrieben, da diese ebenso wie die Förderdaten aktualisiert als Randbedingung in das Modell eingegangen sind.

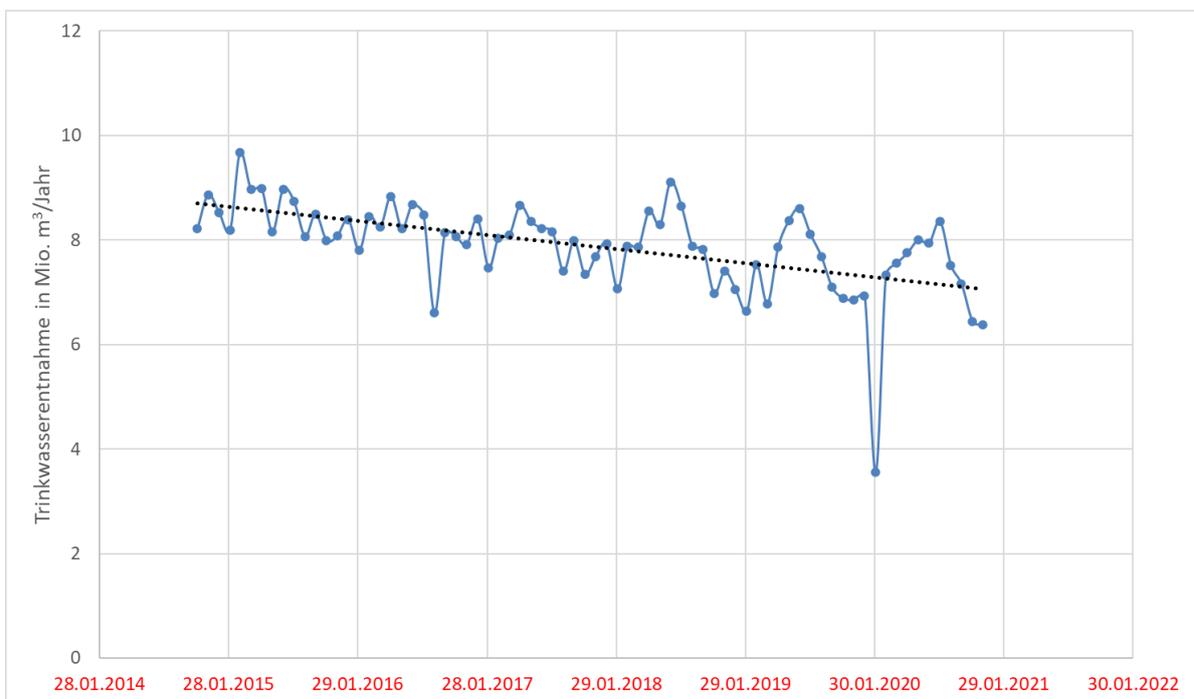


Abbildung 6: Zeitliche Entwicklung der Entnahmeraten an der Brunnengalerie Üfter Mark

4 Zur Verfügung stehendes Wasserdargebot

Aufbauend auf den Rechercheergebnissen der 1. Projektphase, in der die Abflüsse und Entnahmen 2015 bis 2017 recherchiert und ins Grundwassermodell übernommen wurden, wurden die Daten bis Ende 2020 aktualisiert. In Abbildung 7 sind die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse als Mittel der Jahre 2011 bis 2020 (10jähriges Mittel) dargestellt. Am Pegel Rhader Mühlenbach/Hambach beträgt der mittlere Abfluss (MQ) 402 l/s. Ein Teil des Wassers wird unterhalb des Pegels in den Blauen See geleitet. An der Einmündung des Wienbachs kommen weitere 455 l/s hinzu, wobei hier bereits oberhalb des Pegels das Wasser aus dem Pumpwerk Riedweg (42,8 l/s) eingeleitet wird. Aus dem Blauen See werden im 10jährigen Mittel 198 l/s zu Brauchwasserzwecken entnommen. Hierzu wird Wasser aus dem Hambach unterhalb des Blauen Sees zur Stützung des Seewasserspiegels entnommen und in diesen eingeleitet. Am Pumpwerk Hambach wird das Wasser aus dem Fließgewässer, über ein Nebengewässer, in dem auch das geklärte Wasser der Kläranlage Holsterhausen abgeführt wird, in die Lippe eingeleitet. Die langjährig mittlere Förderrate des Pumpwerks beträgt 949 l/s. Aus den Zuflüssen und der Entnahme kann in der Bilanz abgeleitet werden, dass auf dem Gewässerabschnitt des Hambachs zwischen der Einmündung des Wienbachs und dem Pumpwerk etwa 30 % der geförderten Wassermengen grundwasserbürtig hinzukommen.

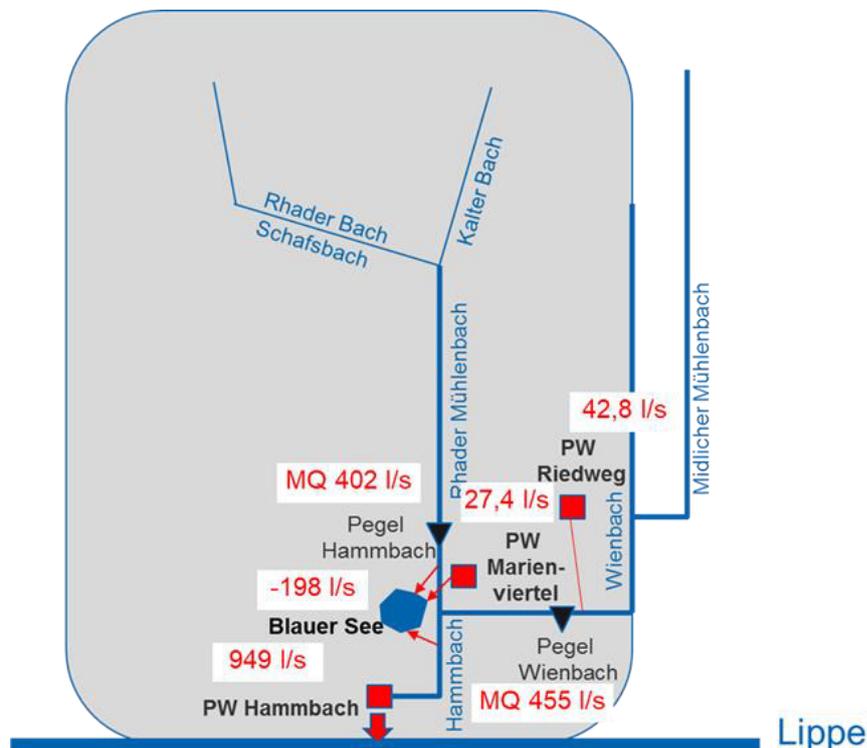


Abbildung 7: Schematische Darstellung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse

Von besonderer Bedeutung für das zur Verfügung stehende Wasserdargebot ist die Bewirtschaftung des Blauen Sees. In Abbildung 8 sind die wesentlichen Punkte dargestellt. Die Freigefällezuleitung über eine Schwelle vom Hammbach im Norden (Einlauf A) ist nur wenige Monate im Jahr aktiv. Deutlich häufiger muss zur Deckung des Brauchwasserbedarfs Wasser vom Hammbach bzw. Alten Hammbach auf der Südseite des Sees hochgepumpt werden. Auch dort besteht eine Schwelle, so dass der oberirdische Zufluss zum See, insbesondere in Trockenzeiten (z.B. trockene Sommer 2018 bis 2020), eingeschränkt ist. Das Speichervolumen des Sees selbst beträgt 280.000 m³. Im Südosten des Sees besteht ein Betriebswasserwerk, das das Wasser zu den Brauchwassernutzern abführt. Die Leistungsfähigkeit der Pumpen beträgt max. 2.740 m³/h. Das Wasserrecht zur Nutzung des Blauen Sees beträgt 17 Mio. m³/a. Das Wasserrecht wurde in den vergangenen Jahren nicht ausgeschöpft (Abbildung 9). Zudem ist seit 2015 die Entnahme absatz- und dargebotsbedingt deutlich reduziert worden. Bis 2014 betrug die Entnahme ca. 10 Mio. m³/a. In den Jahren 2015 bis 2020 hat sie sich von 5,7 Mio. m³/a auf 2,6 Mio. m³/a reduziert.

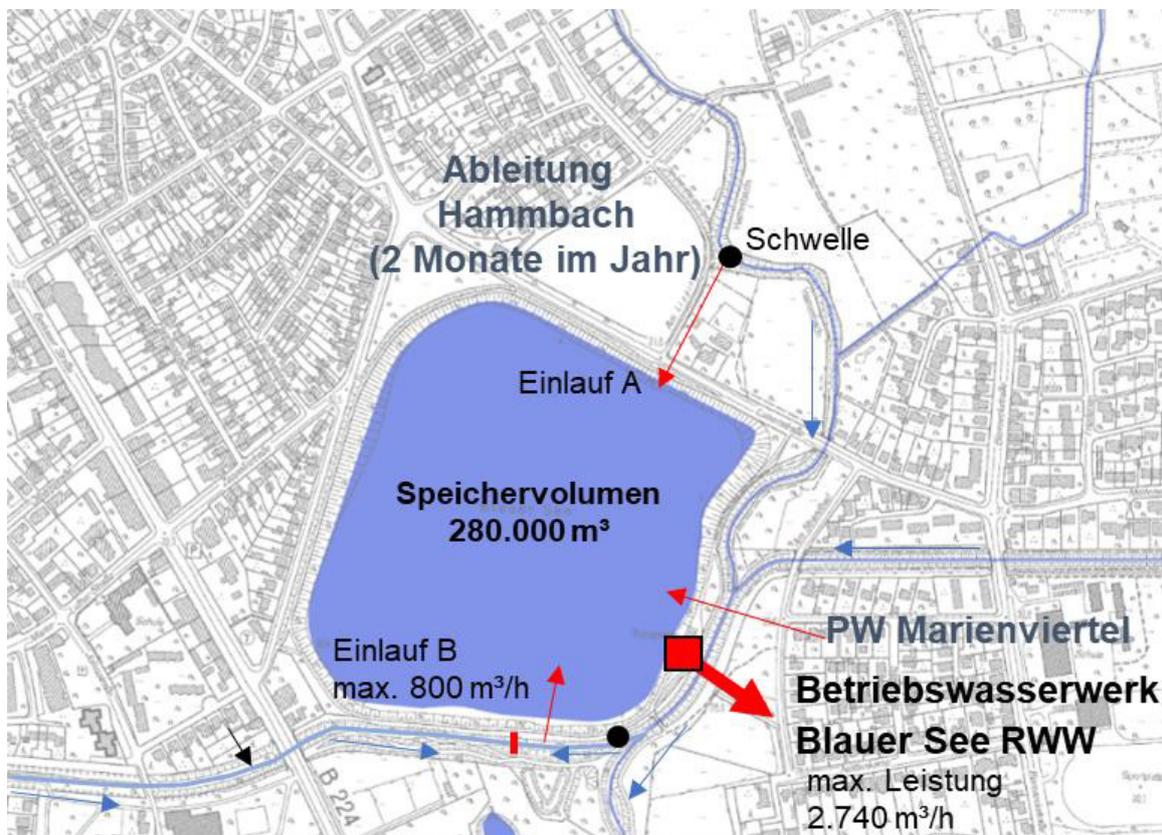


Abbildung 8: Bewirtschaftung des Blauen Sees

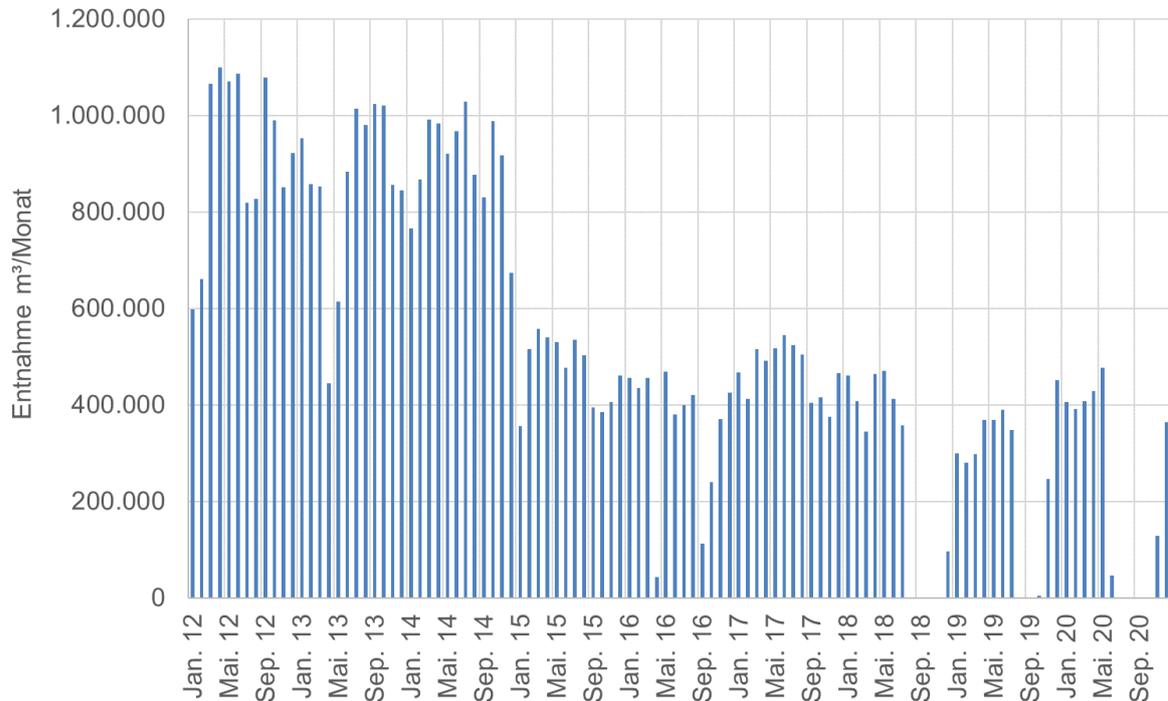


Abbildung 9: Monatliche Entnahmemengen Blauer See 2012 bis 2020

Da das Wasserrecht bei weitem nicht ausgeschöpft wird (und insbesondere in den Wintermonaten Wasser zur Verfügung steht), besteht hier ein deutliches Potenzial zur Nutzung des Blauen Sees.

Das Pumpwerk Riedweg mit einer Förderrate von 1,35 Mio. m³/a (2011-2020) ist zu weit entfernt von einer potenziellen Leitungstrasse. Die Förderrate des Pumpwerks Riedweg alleine würde nicht zur Deckung des in Frage stehenden Bedarfs ausreichen. Zudem fließt das Wasser des Pumpwerkes ohnehin über Wien- und Hammbach zum Pumpwerk Hammbach und könnte auf dem Fließgewässerabschnitt potenziell entnommen werden. Das Pumpwerk Marienviertel mit einer durchschnittlichen Entnahme von 0,86 Mio. m³/a fördert bereits heute das Wasser größtenteils in den Blauen See und kann von dort genutzt bzw. entnommen werden.

Am Pumpwerk Hammbach werden ca. 30 Mio. m³/a Bachwasser (2010-2020) in die Lippe gefördert (siehe Abbildung 7). Bei einer Nutzung der dort anfallenden Wassermengen ist zum einen zu beachten, dass oberhalb und kurz vor dem Pumpwerk Regenwassereinläufe bestehen und zum anderen, dass das Wasser im Auslauf mit dem Kläranlagenablauf gemischt wird und dort eine ausreichende Einleitqualität des Wassers aufrechterhalten werden muss. Dies hat zur Konsequenz, dass weder bei starken Niederschlägen noch bei

Niedrigwasser des Hammbachs das Wasser am Pumpwerk direkt genutzt werden kann. D.h. ein Entnahmestandort müsste oberhalb der Regenwassereinläufe angeordnet werden oder es wäre eine Verlegung bzw. Steuerung der Regenwasserbehandlungsanlagen erforderlich.

Grundsätzlich erscheint eine Entnahme von 5 bis 8 Mio. m³/a aus dem Hammbach bzw. dem Blauen See möglich. Da im Sommerhalbjahr (zur Zeit des Bedarfs der Landwirtschaft) nur eingeschränkt Wasser verfügbar ist, muss die genannte Jahresmenge überwiegend im Winterhalbjahr entnommen werden. Allerdings ist auch nicht sichergestellt, dass im Winterhalbjahr die gesamten 8 Mio. m³ (1.800 m³/h) gefördert werden können. Mit einer Entnahme von 5 Mio. m³/a würde die Entnahmereduzierung am Blauen See von 2014 nach 2015 wieder in Anspruch genommen. Zur Sicherstellung von Wasserentnahmen über 5 Mio. m³/a hinaus, müsste zusätzlich Wasser vom Pumpwerk Hammbach zum Blauen See geleitet werden. Hier bietet sich die Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs an, in der heute zur Aufrechterhaltung der Wasserführung bereits geringe Wassermengen kontinuierlich eingeleitet werden. Somit kann der Bedarf von bis zu 8 Mio. m³/a am Blauen See und am Pumpwerk Hammbach bereitgestellt werden.

5 Variantenvergleich

Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten zur Lösung der durch den Wassermangel hervorgerufenen Probleme (Abbildung 10). Zum einen kann das Wasser direkt den Landwirten zur Bewässerung bzw. den aquatischen Lebensräumen durch Einleitung zur Verfügung gestellt werden („direkte Verwendung“). Zum anderen kann Wasser im nördlichen Einzugsgebiet außerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes des Hammbachs (kein Wasser im Kreislauf fördern) versickert werden und es so den Landwirten ermöglicht werden, wasserrechtliche Erlaubnisse zur Bewässerung zu erhalten („Bilanzansatz“). Letztere Möglichkeit wurde in der 1. Projektphase vorgeschlagen. Auf Anregung der Umweltbehörden des Kreises Recklinghausen soll auch erstere im Variantenvergleich berücksichtigt werden.

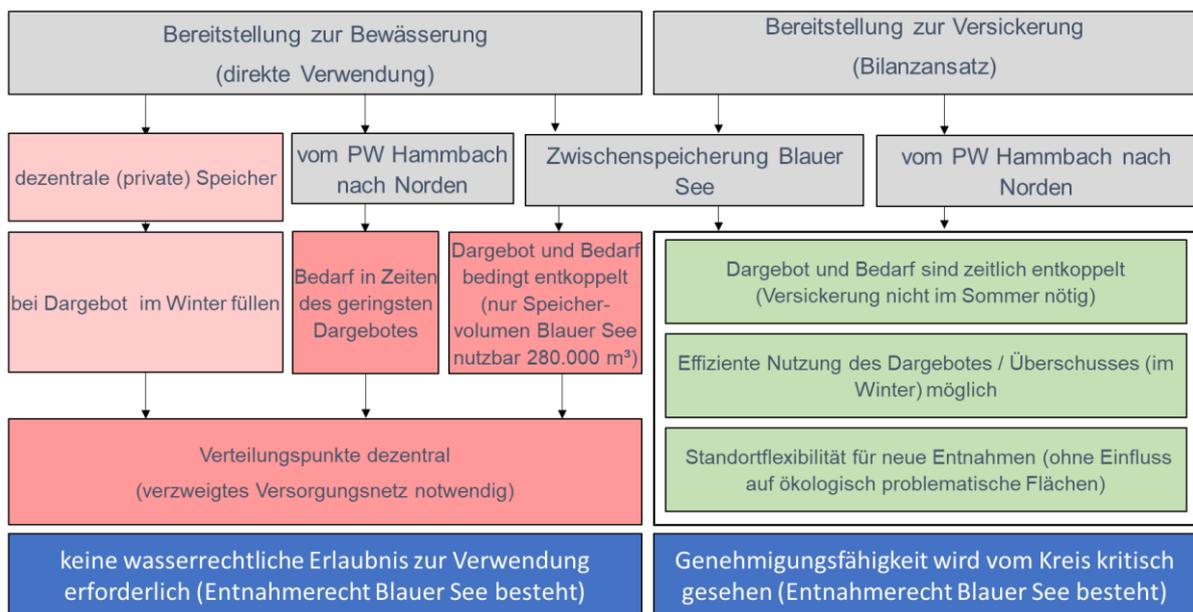


Abbildung 10: Variantenvergleich zur Verwendung bzw. zur Entnahme

5.1 Direkte Verwendung

Die Bereitstellung von Wasser zur Bewässerung kann vom Hammbach aus oder vom Blauen See aus erfolgen. Das Speichervolumen des Blauen Sees ist mit 280.000 m³ im Vergleich zum Bedarf (5 bis 8 Mio. m³/a) äußerst gering. Zur Bereitstellung von Wasser müssten dementsprechend zahlreiche lokale Wasserspeicher eingerichtet werden, da der Bedarf in Zeiten des geringsten Dargebotes besteht. Hinzu kommt, dass ein weit verzweigtes Leitungsnetz erforderlich wäre. Um dies abzuschätzen, wurden die

landwirtschaftlichen Nutzflächen (bereitgestellt von der LWK) mit Flächen geringer Flurabstände (< 1 m) verschnitten, da hier eine Bewässerung nicht notwendig erscheint. Aus den landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden außerdem alle einzeln liegenden Flächen $< 0,5$ ha ausgegrenzt (nicht bewässerungswürdig). Das erforderliche Leitungsnetz wurde so geplant, dass Flächen im Umkreis von 500 m über private Leitungen erreicht werden können. Auf dieser Basis wurden Zapfstellen und zugehörige Leitungen, entlang vorhandener Straßen bzw. Wege und nach Möglichkeit außerhalb von Naturschutzgebieten, konzipiert. Aus der räumlichen Verteilung ergibt sich ein sinnvolles Leitungsnetz zur Bereitstellung (Abbildung 11). In Summe ergibt sich ein Bedarf von 200 potenziellen Zapfstellen und einer Leitungslänge von ca. 177 km. Hinzu kommen Speichermöglichkeiten von mehreren Mio. m^3 , da das Wasser im Sommer nicht zur Verfügung steht. Zur Belieferung mit Wasser wären weit aufwendigere Energieleistungen erforderlich, da die Strecken und Höhenunterschiede weit größer sind als die zur Versickerung. Mehrere Druckerhöhungsstationen wären ebenso nötig. In Summe ist diese Variante zu verwerfen.

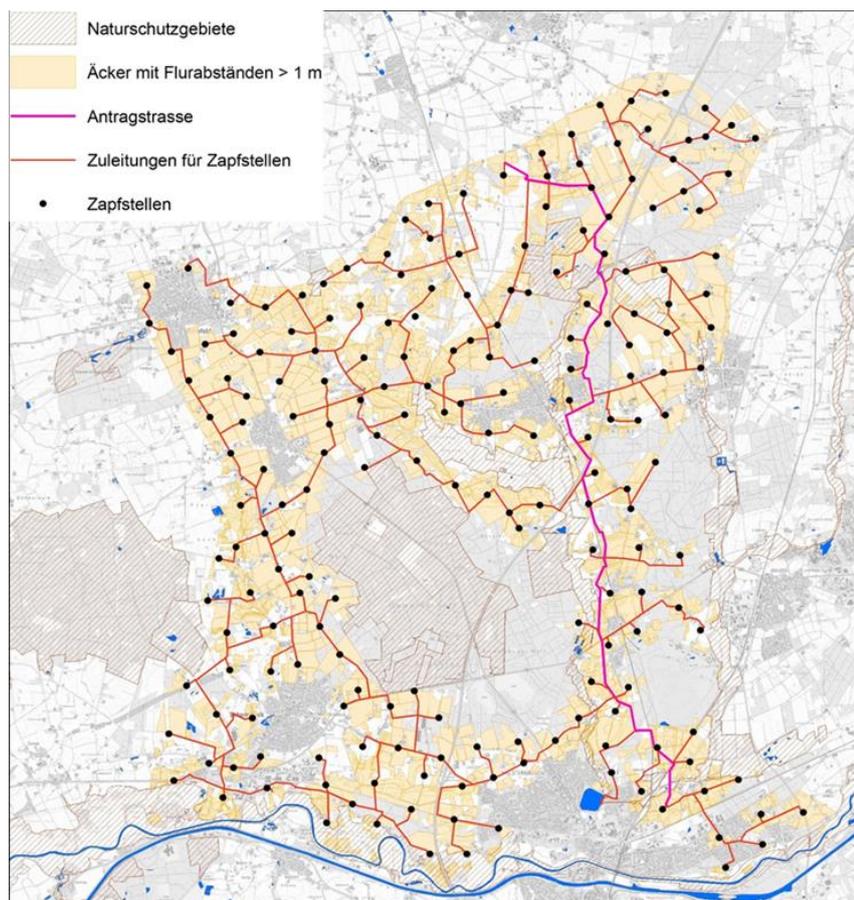


Abbildung 11: Konzeption für ein Leitungsnetz im Falle einer Bereitstellung von Wasser zur Bewässerung

5.2 Bilanzansatz

Bei der Variante „Bilanzansatz“ sind Dargebot und Bedarf entkoppelt, d.h. das Wasser, das im Sommer zur Bewässerung benötigt wird, wenn auch am Hammbach die Wasserführung bzw. die Pumpmengen am geringsten bzw. nicht vorhanden sind, kann im Winterhalbjahr nach Norden transportiert und dort versickert werden. Somit kann der winterliche Überschuss zur Auffüllung des Grundwasserkörpers genutzt werden und im Sommer der Bewässerungsbedarf in festzulegenden Grenzen gedeckt werden. Bei einem solchen Vorgehen werden weder der Hammbach noch der Ablauf des Hammbachs in die Lippe (Mischung mit dem Kläranlagenauslauf für eine ausreichende Wasserqualität auf dem Verlauf) noch die Lippe selbst in ihrem Wasserhaushalt im Sommerhalbjahr beeinträchtigt.

Nach dem abgeschlossenen Wasserrechtsverfahren zur Trinkwassergewinnung Holsterhausen und Üfter Mark ist, unter Berücksichtigung des Mindestabflusses an den Gewässern, die Wasserbilanz (Dargebot und Entnahmerechte) im Einzugsgebiet ausgeglichen, so dass keine neuen Wasserrechte mehr von den zuständigen Behörden genehmigt werden. Mit einer Stützung des Grundwasserkörpers durch eine Versickerung wird dies um den entsprechenden Betrag im Bilanzgebiet nördlich der Lippe wieder ermöglicht. Allerdings sind hier zahlreiche Randbedingungen (siehe unten) zu beachten bzw. zu prüfen, z.B. sind in den entsprechenden Wasserrechtsverfahren die Auswirkungen auf ökologisch sensible Flächen zu bewerten. Die Genehmigungsfähigkeit einer Versickerung muss mit ihren Auswirkungen auf die Strömungsrichtung, die Flurabstände und qualitative Aspekte von der zuständigen Behörde geprüft werden. Da das Wasserrecht zur Entnahme von Wasser aus dem Blauen See heute bei weitem nicht ausgeschöpft wird, ist kein neues Entnahmerecht erforderlich. Es muss lediglich der Zweck angepasst werden.

Im Falle einer Bereitstellung von Wasser zur Versickerung wird, ebenso wie bei der direkten Bereitstellung für die Bewässerung, unterschieden zwischen einer Verwendung direkt aus dem Hammbach und einer Zwischenspeicherung im Blauen See. Eine Gegenüberstellung ist in Abbildung 12 dargestellt. Generell bietet sich eine Zwischenspeicherung im Blauen See an, da hier die wasserbauliche Infrastruktur bereits vorhanden ist (Betriebswasserwerk Blauer See), eine Vergleichmäßigung der Beschaffenheit gegeben ist und ein Entnahmerecht bereits vorliegt. Dennoch wurden verschiedene Entnahmestandorte miteinander verglichen, um daraus eine Vorzugsvariante herauszuarbeiten.

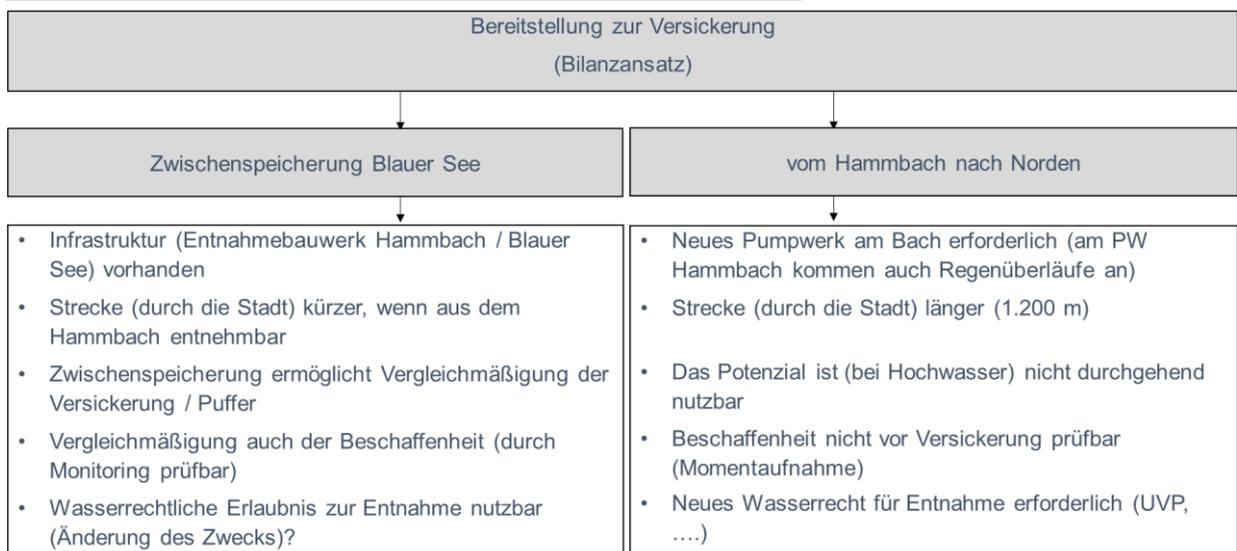


Abbildung 12: Vergleich zur Bereitstellung von Wasser zur Versickerung ohne (Varianten 1, rechts) und mit Zwischenspeicherung im Blauen See (Varianten 2, links)

In Bezug auf den Entnahmestandort am Hambach gibt es folgende Möglichkeiten. In der aktuellen Situation kann das Wasser:

- a) vor dem Pumpwerk Hambach nach Einleitung von Regenwasserüberläufen
- b) oberhalb der B224 zwischen Einleitung von Regenwasserüberläufen (unterhalb RÜ Bismarckstraße und Nöttenkamp)

entnommen werden. Aus Qualitätsgründen kommt hier nur die Variante 1b in Frage.

Bei Nutzung des Blauen Sees als Zwischenspeicher (Varianten 2 a bis c, Tabelle 1) kann der Blaue See zusätzlich an den zuvor genannten Standorten a) und b) gestützt werden und zusätzlich kommt die Möglichkeit hinzu, das Wasser vom Pumpwerk in den Alten Hambach (Rücklaufstrecke) einzuleiten, wo bereits heute eine Mindestwasserführung durch Einleitung vom Pumpwerk Hambach erfolgt (Variante 2c). Da das Wasser von dort dem Gefälle folgend zum Blauen See fließt, könnte es dort an der vorhandenen Entnahmestelle von RWW in den Blauen See gehoben werden. Eine vierte Untervariante ist ohne zusätzliche Stützung aus dem Blauen See, also Nutzung der bisherigen Entnahmemöglichkeiten aus dem Hambach (oberhalb und unterhalb des Blauen Sees) zu betrachten (Variante 2d). In Abbildung 13 sind die Varianten und Untervarianten in Karten dargestellt und in Tabelle 1 eine Gegenüberstellung mit Vor- und Nachteilen.

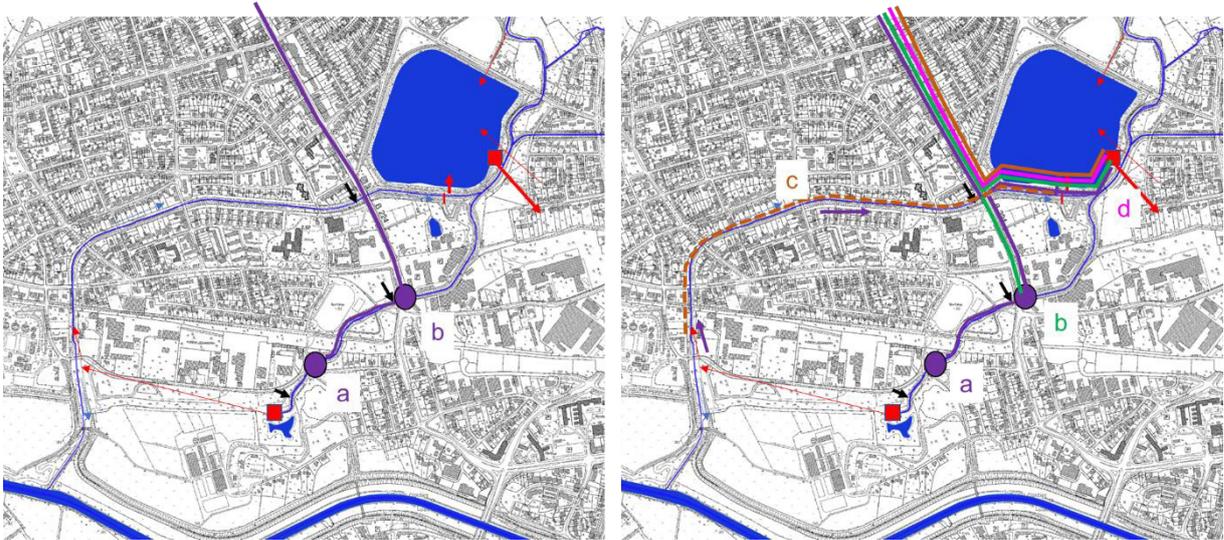


Abbildung 13: Variante1 (links) und Variante 2 (rechts) zur Entnahme aus dem Hamm bach und dem Blauen See (die schwarzen Pfeile stellen Regenwasserentlastungen dar)

Letztlich ist die Variante 2d zu bevorzugen, da sie die Vorteile der Zwischenspeicherung im Blauen See nutzt, mit dem geringsten Aufwand bzw. Kosten verbunden ist (Nutzung des vorhandenen Betriebswasserwerks Blauer See, geringere Leitungslängen), kein neues Wasserrecht erforderlich ist und nur eine geringe Beeinträchtigung durch Regenwasserentlastungen gegeben ist. Somit wird eine Entnahme am Betriebswasserwerk Blauer See mit Transport zum Versickerungsstandort im Norden bevorzugt. Sollte zukünftig der Versickerungsbedarf über das Dargebot des Hamm bachs oberhalb des Blauen Sees im Winterhalbjahr hinaus gehen (5 Mio. m³/a), so wäre hier eine Erweiterung durch eine weitere Entnahme aus dem Unterlauf des Hamm bachs möglich. Hier treten große Grundwassermengen in das Gewässer ein und könnten ohne gravierende Nachteile im Winterhalbjahr aus dem Hamm bach genutzt werden. Hierzu bietet sich die Variante 2c (Speisung der Rücklaufstrecke) an, da die Infrastruktur vom Pumpwerk Hamm bach über die Rücklaufstrecke zum Entnahmestandort B der RWW bereits vorhanden ist. Die Trasse des Alten Hamm bachs kann nur genutzt werden, wenn der Regenüberlauf an der Borkener Straße nicht in Betrieb ist bzw. durch anderweitige Maßnahmen ausgeschlossen wird. Für die fehlenden Wassermengen müssten hier im Winterhalbjahr zusätzlich ca. 200 l/s eingespeist werden, um in Summe 8 Mio. m³/a zur Versickerung im Norden zu bringen.

Die Entnahme von Wasser aus dem Hamm bach bzw. dem Blauen See und Transport bzw. Versickerung im Norden (außerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes des Hamm bachs) führt zu einer Minimierung der Pumpleistung am Pumpwerk Hamm bach, so dass dort Energie eingespart wird.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Varianten zur Wasserentnahme

	1a/b Entnahme am Hammbach ohne Zwischenspeicher	2a/b Entnahme Blauer See mit zusätzlicher Speisung vom Hammbach	2c Entnahme Blauer See mit zusätzlicher Speisung über Altem Hammbach	2d Entnahme Blauer See ohne zusätzliche Speisung vom PW Hammbach
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Errichtung nur eines Pumpwerkes am Gewässer und Ableitung entlang der B224 nach Norden (kürzeste Strecke) - Einmaliges Pumpen des Wassers 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung der Infrastruktur PW Blauer See - gleichmäßige Förderung / Versickerung des Wassers - Nutzung Überschussmengen Blauer See - Sicherheit in Bezug auf Beschaffenheit 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung der Infrastruktur am PW Blauer See und am PW Hammbach - gleichmäßige Förderung / Versickerung des Wassers - Nutzung Überschussmengen Blauer See - Sicherheit in Bezug auf Beschaffenheit 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzung der Infrastruktur PW Blauer See - gleichmäßige Förderung / Versickerung des Wassers - relativ geringer Aufwand, da Einrichtungen bereits vorhanden (ggfs. Leistungen erhöhen) - Sicherheit in Bezug auf Beschaffenheit
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Neubau Pumpstation - keine Vergleichsmässigung der Versickerungsmengen (Bei Hochwasser Entnahmepotenzial nicht nutzbar) 	<ul style="list-style-type: none"> - Neubau Pumpstation und Nutzung vorhandener, geringe zusätzliche Leitungsstrecke gegenüber 1 	<ul style="list-style-type: none"> - Neubau Pumpstation und Nutzung zwei vorhandener Anlagen - Höhenverluste wegen Gefälle auf Fließstrecke - Versickerungsverluste und ggfs. Flurabstandsverringering im Siedlungsbereich - Beeinflussung durch Regenwasserentlastung 	<ul style="list-style-type: none"> - 8 Mio. m³/a nicht in jedem Jahr möglich

5.3 Beschreibung der einzelnen Bausteine

Zur Umsetzung der zuvor beschriebenen Variante 2c mit einer Versickerungsleistung von 8 Mio. m³/a sind ein Anschluss am Betriebswasserwerk Blauer See, die Einleitung in die Rücklaufstrecke, eine Versickerungsanlage und eine verbindende Leitung erforderlich. Das Betriebswasserwerk Blauer See wird auch weiterhin von RWW betrieben, so dass das Wasser mit einer entsprechenden Druckhöhe vom Betriebswasserwerk zur Verfügung gestellt werden kann, ggfs. ist eine Erneuerung der Pumpen erforderlich. Die Bausteine werden im Weiteren beschrieben:

5.3.1 Entnahmestandort

Es wird davon ausgegangen, dass die Kosten für die erforderliche Ertüchtigung des Betriebswasserwerks von RWW im Rahmen der vertraglichen Vereinbarungen zur zukünftigen Wasserlieferung geregelt werden. Die Leitungen von dort zum Versickerungsstandort können an zwei Stellen angeschlossen werden (Abbildung 14). Hier ist ein neuer Schacht erforderlich. Entweder können die beiden DN500-Ausgänge auf der Südseite, die aktuell außer Betrieb sind, genutzt werden (Variante 1) oder ein Anschluss an die DN800 auf der Nordseite erfolgen (Variante 2). Die Kosten für den Verbindungsschacht sind Bestandteil der Kostenannahme.

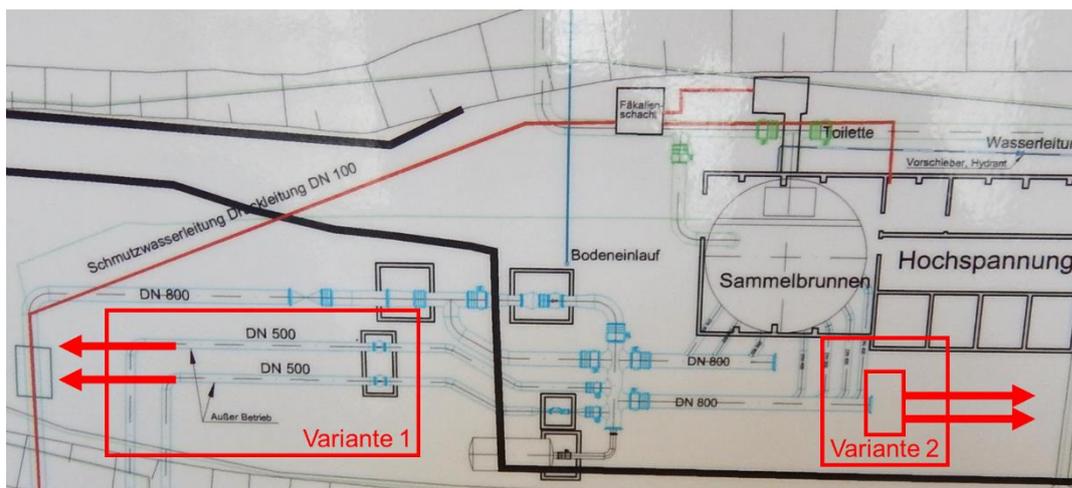


Abbildung 14: Möglichkeiten für einen Anschluss von Leitungen zur Versickerung am Betriebswasserwerk Blauer See

Darüber hinaus ist eine Ertüchtigung des Entnahmestandortes B (Alter Hammbach) erforderlich.

In der Kostenannahme wird lediglich der Bau eines Schachtes zur Speisung der Druckrohrleitung berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die ggfs. erforderliche Ertüchtigung der Pumpen im Betriebswasserwerk Blauer See und am Entnahmestandort B in den Bereitstellungspreis für das Wasser eingehen.

5.3.2 Versickerungsanlage

Die Standortfindung für eine Versickerungsanlage fand unter Beachtung der naturschutzrechtlichen und hydrogeologischen Rahmenbedingungen statt. Folgende Kriterien waren gemäß Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden (Untere Wasserbehörde, untere Naturschutzbehörde, untere Bodenschutzbehörde, Bezirksregierung) zu berücksichtigen:

- Lage außerhalb des unterirdischen Einzugsgebietes des Pumpwerks Hammbach (kein Pumpen im Kreislauf),
- Standorte westlich des Rhader Mühlenbachs/Hammbachs.
- durchlässige Böden (Sandböden BK50) bzw. Grundwasserleiter (Halterner Sande),
- außerhalb der Rhader Mergelscholle,
- Berücksichtigung der Betroffenheit schutzwürdiger Böden,
- Berücksichtigung von Altlastenverdachtsflächen,
- ausreichend hohe Flurabstände (>3 m) und möglichst weit entfernt von Bebauung,
- landwirtschaftliche Nutzflächen oder Mischvegetation sind gegenüber Wald zu bevorzugen,
- möglichst kein bzw. geringer Eingriff in Naturschutzgebiete und geschützte Landschaftsbestandteile,
- Rekultivierungsfestsetzungen / Kompensationsbindungen berücksichtigen und
- Bevorzugung eines Standortes innerhalb der Stadt Dorsten, um Kommunen- bzw. Kreis-übergreifende Verfahren zu vermeiden.

Zur Ermittlung der Auswirkungen an den zur Auswahl stehenden Standorten wurde das Grundwassermodell ertüchtigt und Simulationen durchgeführt. Ziel war vor allem die potenzielle Betroffenheit von Bebauung (Flurabstandsverringering) und die Klärung des

Anstroms von der Versickerungsanlage zu den Brunnen in der Üfter Mark. Im Genehmigungsverfahren wird zumindest eine UVP-Vorprüfung erforderlich.

Im ersten Ansatz wurden drei Räume für eine Versickerungsanlage geprüft. Einer davon befindet sich nördlich von Rhade. Hier findet eine Unterströmung der Rhader Mergelscholle statt, so dass dieser Bereich nicht zum unterirdischen Einzugsgebiet des Hambach-Systems gehört. Da hier negative Auswirkungen auf die Flurabstände in der Bebauung nicht ausgeschlossen werden konnten, wurde dieser Standort verworfen. Ein weiterer Untersuchungsraum befindet sich in einer rekultivierten Abgrabung in der Üfter-, Rüster- und Emmelkämper Mark westlich der B224. Hier bestehen Kompensationsfestsetzungen, die die Möglichkeit einer Versickerungsanlage ausschließen. Der dritte untersuchte Raum betrifft den Bereich der Bakeler Heide zwischen der Autobahn A31 im Osten und dem NSG Üfter-, Rüster- und Emmelkämper Mark (Abbildung 15). Im Norden wird er von dem Verbreitungsgebiet des Bottroper Mergels (Rhader Mergelscholle) begrenzt. Dieser Raum wurde vertieft untersucht. Hier bestehen im Ausgangszustand hohe Flurabstände, der Untergrund besteht aus Halterner Sanden, das Gebiet weist keine Naturschutzgebiete bzw. §62-Biotop (LG NW) auf und auch sonst sind keine Restriktionen vorhanden. Im Nordosten des Suchraumes besteht Ackernutzung, ansonsten wird der Bereich überwiegend von Nadelwald eingenommen. Die Auswirkungen der Versickerung auf die Grundwasserstände sind in Kap. 6 beschrieben.

Bezüglich der Art der Versickerung wurden verschiedene Varianten geprüft. Zunächst wurde die Anlage von offenen Versickerungsbecken gewählt. Aufgrund der großen Wassermengen wären solche Becken zum einen sehr groß und zum anderen müssten sie als technische Bauwerke in der freien Landschaft angelegt werden. Regelmäßige Beräumungen der Kolmationsschicht wären notwendig. Aus diesen Gründen wurden offene Becken verworfen und Sickerschlitze bzw. Versickerungsbrunnen geprüft. Die Anlage von Versickerungsschlitzen wurde am Waldrand der Bakeler Mark präferiert, da der Eingriff am Waldrand (Ackerrandstreifen) akzeptabel erschien (Abbildung 15). Die Optimierung der Versickerung erforderte die Verlegung in den Wald hinein. Hier erscheint eine Versickerungsanlage von ca. 900 m Länge entlang der Waldwege mit einem Unterhaltungstreifen als nur bedingt machbar. Aus diesem Grund wurden hier als zweite Untervariante 8 Brunnen präferiert. Die in Abbildung 15 etwas abgedunkelten Waldflächen sind im Besitz des RVR, so dass hier keine Probleme mit Eigentümern erwartet werden. Die Standorte der Sickerrigolen am Waldrand sind im Privatbesitz.

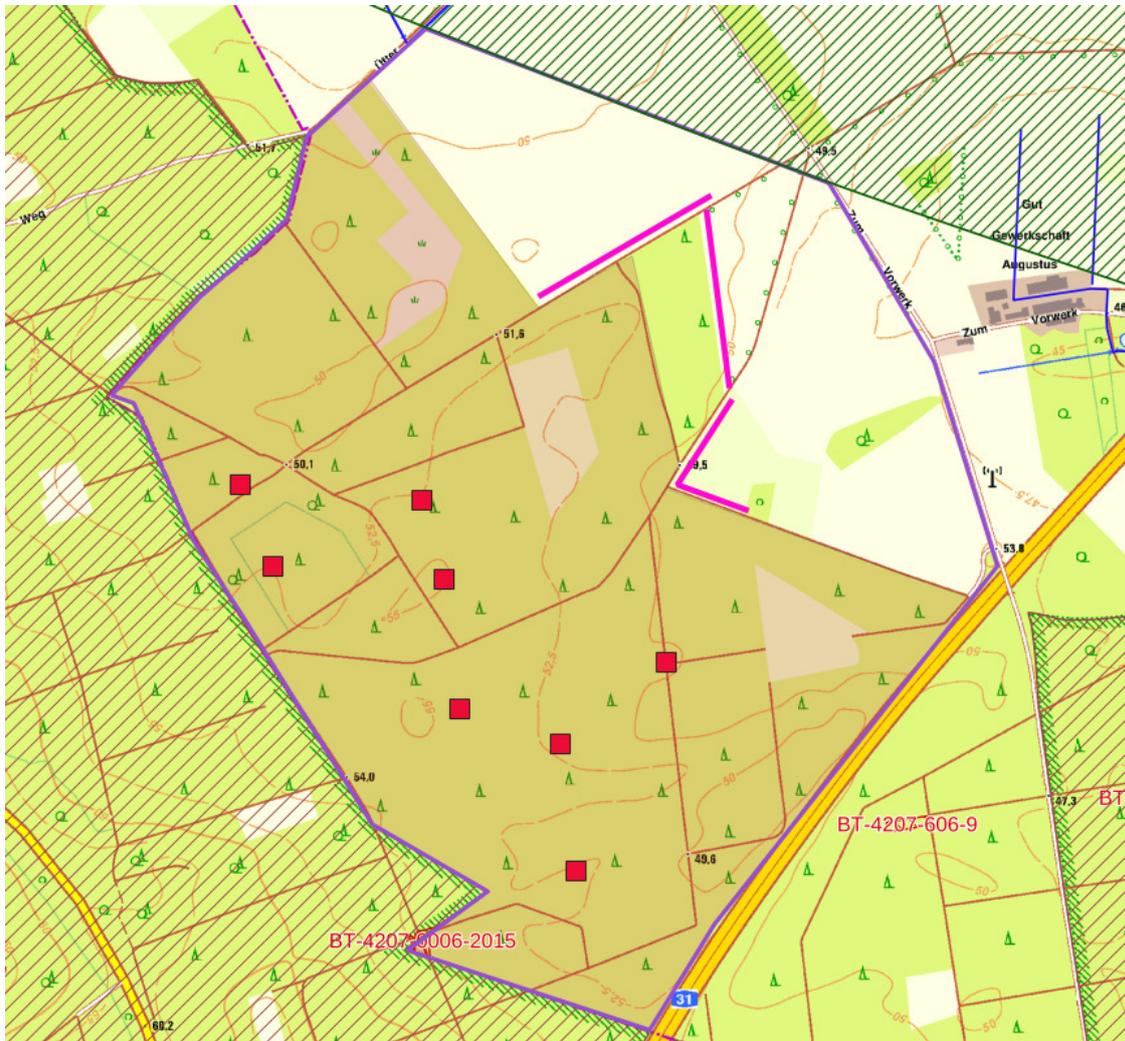


Abbildung 15: Untersuchungsraum Bakeler Mark mit Versickerungsschlitz am Waldrand (magenta) oder Brunnen innerhalb des Waldes (rote Quadrate)

Rigolen/Versickerungsschlitz

Im Falle von Rigolen oder Versickerungsschlitz zeigt Abbildung 16 den grundsätzlichen Aufbau. Der eigentliche Schlitz ist 5 m tief und 1,5 m breit. Gemäß der Simulationen ist eine Gesamtlänge von ca. 900 m erforderlich. Der Schlitz ist bis 0,5 m unter Gelände mit Kies bzw. Sand gefüllt (Abstufung erst nach konkreten Bodenuntersuchungen in einem Baugrundgutachten zu ermitteln) und wird seitlich bis in 1,5 m Tiefe mit Winkelstützelementen abgestützt. An der Geländeoberfläche ist er abgedeckt. Die Zuleitung erfolgt über einen Steuerschacht mit einer Durchflussreglung. Für den Steuerschacht ist eine Stromversorgung erforderlich. Darüber hinaus ist eine zentrale Steuereinheit zur Wasserverteilung zu den einzelnen Strängen notwendig.

Für derartige großdimensionierte Versickerungsanlagen gibt es Beispiele aus dem Hessischen Ried (Wasserverband Hessisches Ried) und dem Erftgebiet (RWE, Erftverband). Entlang der Anlage ist ein parallel verlaufender Unterhaltungsweg sowie eine Abzäunung erforderlich. Sollte aus Sicherheitsgründen ein Rückhalt potenzieller Schadstoffe erforderlich werden, könnte innerhalb der Anlage eine Aktivkohleschicht eingebaut werden, da bei einer solchen Versickerung keine durchströmte belebte Bodenzone vorhanden ist (Trinkwasserschutzgebiet). Im Umfeld sind Logger zur Datenfernübertragung vorzusehen. Bei der Erfassung der Grundwasserstände an ca. 8 Messstellen im weiteren Umfeld kann z.T. auf vorhandene Grundwassermessstellen zurückgegriffen werden. Bei 4 Einzelsträngen sind in jedem Steuerschacht Messeinrichtungen zu installieren und im nahen Umfeld 8 weitere Grundwassermessstellen zu installieren und ebenfalls mit Loggern auszustatten.

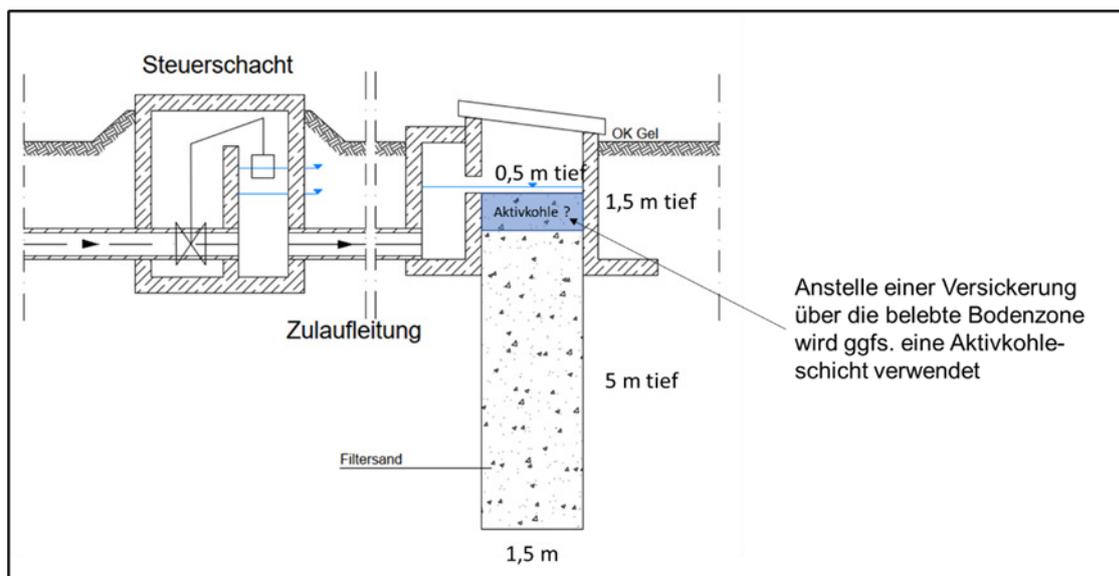


Abbildung 16: Konzeptplanung für einen Versickerungsschlitze (nach Weber & Mikat (2011)
Grundwasseranreicherungsanlagen im Hessischen Ried)

Versickerungsbrunnen

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird von 8 Versickerungsbrunnen ausgegangen. Pumpversuche an einem vorhandenen Versickerungsbrunnen westlich der B224 haben gezeigt, dass über einen Brunnen mind. 1 Mio. m³/a versickert werden können. Der Eingriff zur Errichtung von Versickerungsbrunnen ist eher punktuell, auch wenn in der Bauphase erhebliche Baustellenflächen an den 8 Standorten erforderlich werden und die Waldwege mit schweren Geräten befahren werden müssen. Zwischen den Brunnen sind auch hier

Transportleitungen entlang der Wege zu verlegen. Der Eingriff in die Landschaft nach dem Bau ist aber im Vergleich zum Versickerungsschlitz, wie auch die visuelle Störung des Landschaftsbildes, relativ gering.

Wie ein solcher Versickerungsbrunnen aussehen könnte, zeigt Abbildung 17. In Abhängigkeit von den Ergebnissen konkreter Vorbohrungen und hydraulischen Versuchen wird hier von ca. 40 m tiefen Versickerungsbrunnen ausgegangen. Der Bohrdurchmesser ist DN1000 und der Ausbaudurchmesser DN400 bis DN600. In jedem Brunnen ist ein Peilrohr, das mit automatischen Messgeräten auszustatten ist, vorzusehen, um die Versickerung steuern zu können. Vollrohrabschnitte sind mit PVC auszubauen und Filterabschnitte mit Wickeldrahtfilter. Konkrete Angaben zur Ringraumverfüllung (Kiesfilter) können erst nach Abteufen von Vorbohrungen gegeben werden. Auch bei der Versickerung über Brunnen ist eine Steuereinrichtung erforderlich, um das Wasser auf die Versickerungsbrunnen in Abhängigkeit von den sich einstellenden Grundwasserständen zu verteilen. Auch hier ist eine Stromversorgung vorzusehen. Im Brunnen ist das Peilrohr mit einem Logger auszustatten (Anzahl 8). Im weiteren Umfeld der Brunnen sind Messstellen zu errichten und mit Loggern Daten aufzuzeichnen (Anzahl: 10) ebenso an 2 weiteren vorhandenen Messstellen.

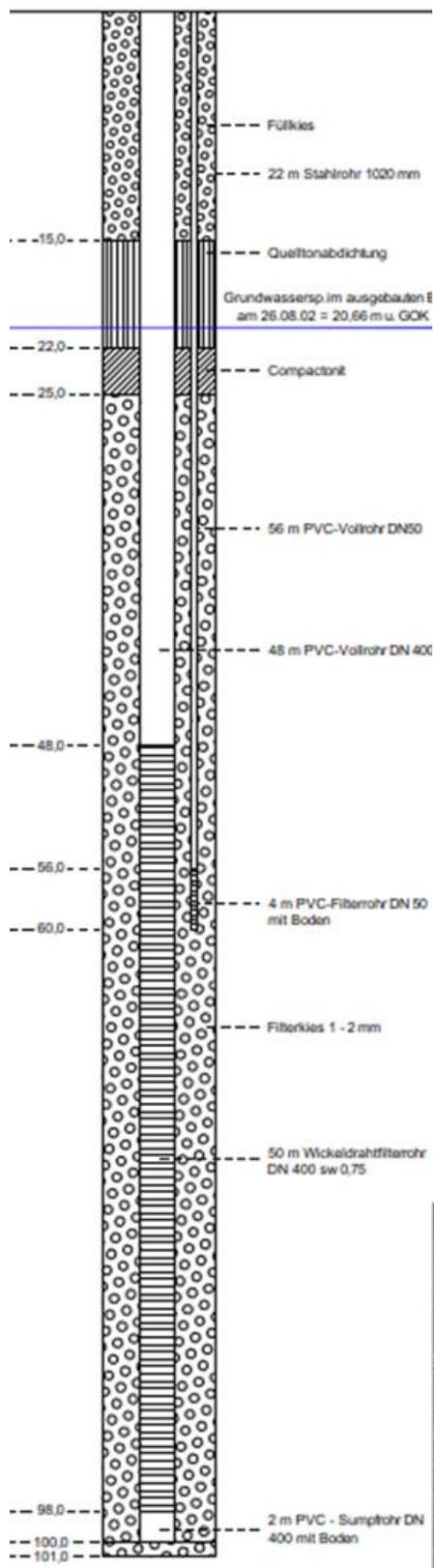


Abbildung 17: Beispiel eines Versickerungsbrunnens (von RWW)

5.3.3 Transportleitung

Zum Transport des Wassers sind eine Leitung vom Betriebswasserwerk Blauer See zum Versickerungsstandort (Transportleitung) sowie Verbindungen zwischen den Versickerungseinrichtungen (Verbindungsleitungen) erforderlich.

Hierzu wurden vier grundsätzliche Trassenvarianten erarbeitet (Abbildung 18). Variante 1 (7,5 km) verläuft durch das Kreisgebiet Wesel. Wegen des Mehraufwandes zur Genehmigung wurde diese Trasse ausgeschlossen, darüber hinaus verläuft sie durch ein Naturschutzgebiet. Variante 3 würde die Trasse, der in der Vergangenheit geplanten openGrid Europe-Leitung, nutzen können. Da der Bau der Leitung nicht weiter geplant wird und die Strecke mit 12,2 km Länge deutlich länger als alle anderen Varianten ist, wurde sie ausgeschlossen. Zudem müssen zu der Querung der Autobahn A31, wie bei allen anderen Varianten, zusätzlich der Hammbach und der Wienbach gequert werden, um zu den Versickerungsstandorten zu gelangen. Ob grundsätzlich eine gemeinsame Verlegung mit der openGrid Europe-Leitung überhaupt zulässig ist bzw. welcher Sicherheitsabstand einzuhalten ist, wurde nicht weiter geklärt.

Die Varianten 2 (7,1 km) und 4 (8,1 km) besitzen in weiten Teilen eine identische Trasse. Der Unterschied besteht in der Anbindung an das Betriebswasserwerk Blauer See. Im Falle der Anbindung auf der Südseite (stillgelegte DN500) bietet sich die Verlegung nach Westen zur B224 an. Hier ist allerdings mit zusätzlichen Aufwendungen zu rechnen, wenn die Leitung parallel der Bundesstraße gebaut würde. Nach Norden zweigt die Trasse wieder von der B224 nach Nordosten ab und trifft auf die Trasse der Variante 2. Die Trasse der Variante 2 nutzt den nördlichen Anschluss (DN 800) am Betriebswasserwerk Blauer See und verläuft dann auf der Nordseite des Blauen Sees, entlang des Söltener Landwegs und der Straße „Zum Vorwerk“ bis zur Autobahn A31. Bei den Varianten 2 und 4 müssen die Autobahn A31 und die B58 mittels Vortrieb gequert werden. Naturschutzgebiete sind bei beiden nur randlich betroffen. Da die Strecke der Variante 2 kürzer und der Verlauf nicht entlang einer Bundesstraße läuft, wo mit höheren Kosten zu rechnen ist, wurde im Weiteren die Variante 2 präferiert und in der Kostenannahme berücksichtigt.

Die in der 1. Projektphase ins Auge gefasste Einleitung am Schafsbach und eine ortsnahe Versickerung im Grundwasseranstrom des Deutener Moores wurde in einer Abstimmung mit den beteiligten Behörden als nicht zielführend erachtet, so dass keine der Leitungstrassen bis zu diesen Standorten mehr verläuft. Auch die Nutzung vorhandener Leitungstrassen der RWW bzw. der Stadt Dorsten hat nach Prüfung keine Vorteile für die Genehmigung oder den Bau der Leitung ergeben, so dass dort verlaufende Trassen nicht mehr präferiert wurden.

Die Menge von maximal 8 Mio. m³ ist über 6 Monate zu versickern. Daraus ergibt sich eine Durchleitungsmenge von 500 l/s bzw. 1.800 m³/h. Die Förderhöhe beträgt ca. 25 m. Es sind 2 parallele Leitungen vorzuziehen, so dass sich daraus zwei Leitungen á DN 600 (DA 710) je nach zulässiger Fließgeschwindigkeit ergeben. Für das Material der Leitungen wird PE-HD, SDR 17 empfohlen. Der notwendige Leitungsgraben ist entsprechend 1,8 m tief und 2,8 m breit (Einhaltung der Vorgaben BG). Auf dem Niveau der Leitungen und darunter ist eine Sandbettung erforderlich, oberhalb davon kann ein Teil des Aushubs eingebaut werden. In der Kostenannahme wird die 7,1 km lange Trasse (Variante 2) je nach Beschaffenheit der Oberfläche in Teilabschnitte differenziert. Eine Leitungsabfrage, ob und wieviel Querungen mit anderen Leitungen erfolgen muss, kann erst in der Vorplanung erfolgen und wird in der Machbarkeitsstudie nicht berücksichtigt. Die Trasse verläuft zu einem großen Teil entlang von Waldwegen, im südlichen Teil auch entlang bzw. in Asphaltstraßen. Zu berücksichtigen sind, wie oben benannt, mind. 2 Vortriebsabschnitte.

Unabhängig von der Art der Versickerung (Rigole oder Brunnen) sind zwischen den einzelnen Versickerungselementen Einzelleitungen geringeren Durchmessers zu verlegen, um von der zentralen Steuereinheit das Wasser verteilen zu können. Vom Endpunkt der Transportleitung kommen zu den Versickerungsbrunnen in Summe ca. 1.500 m Leitungen hinzu. Wenn man vier Sickerrigolen benötigen würde, wären es zusätzlich ca. 500 m.

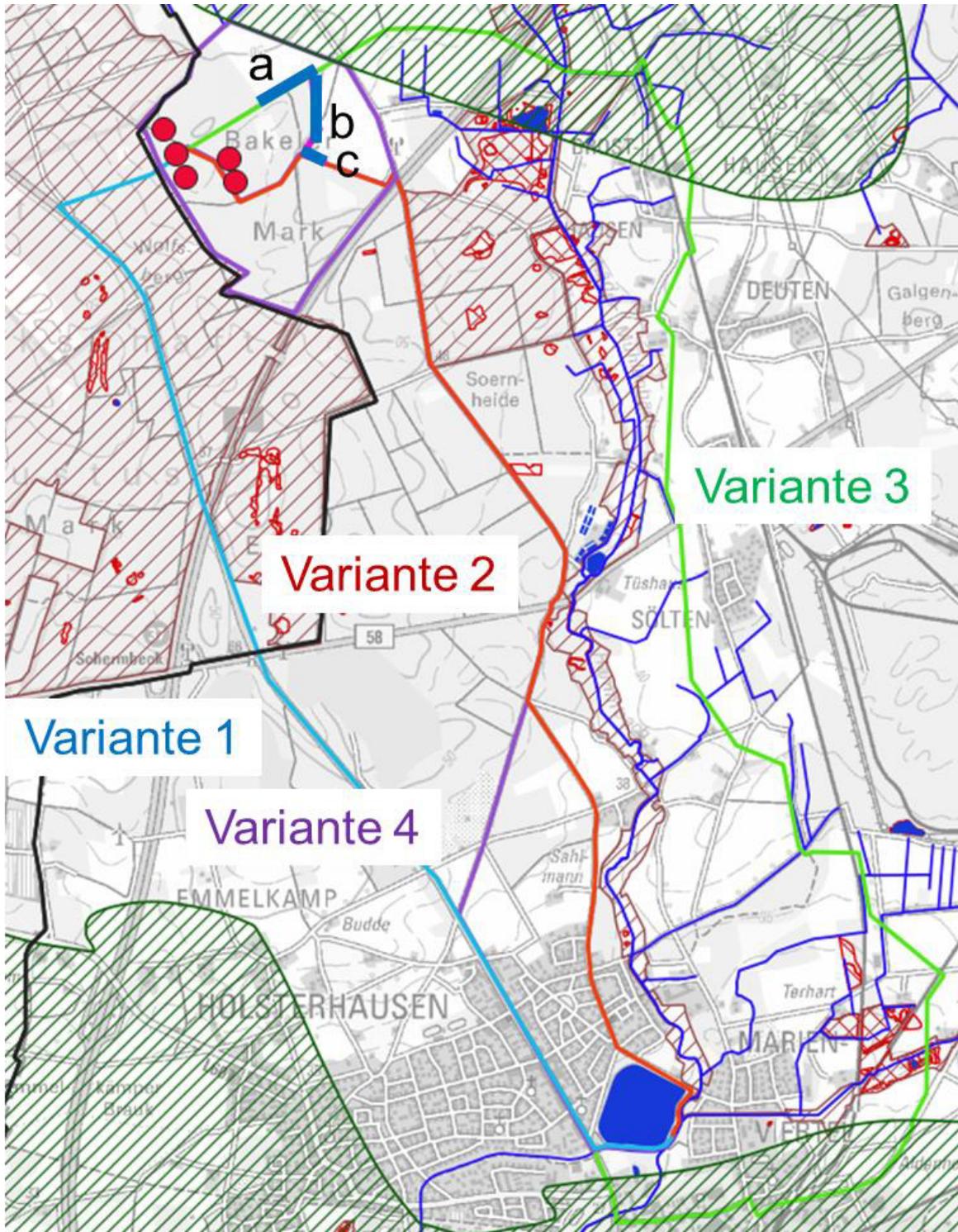


Abbildung 18: Trassenvarianten

5.3.4 Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs

Wie beschrieben, stehen über den Zulauf von Wienbach und Hammbach am Blauen See im Durchschnitt ca. 5 Mio. m³/a zur Verfügung. Um 8 Mio. m³/a bereitzustellen muss vom Pumpwerk Hammbach ein Teil des Wassers am Teich des Einleitbauwerks nach Norden in die Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs geleitet werden. Zur Beschickung der Rücklaufstrecke mit 200 l/s im Winterhalbjahr muss die Ableitung aus diesem Teich nach Norden verändert werden. Dies ist ein geringfügiger Aufwand.

Die Ableitung über die Rücklaufstrecke zum Blauen See setzt voraus, dass in den Alten Hammbach keine oder nicht zeitgleich Regenentlastungen einleiten. Die Trasse entspricht der historischen Ableitung des Hammbachs, so dass im Allgemeinen der Gewässerquerschnitt als ausreichend betrachtet werden kann. In den vergangenen Jahren sind durch verschiedene Maßnahmen Einengungen der Durchlässe vorgenommen worden, so dass mit Hilfe eines Ableitungsversuches geklärt werden sollte, ob die Rücklaufstrecke leistungsfähig genug ist. In der Kostenannahme werden keine Kosten zur Ableitung des Wassers über die Rücklaufstrecke angesetzt.

6 Auswirkungen der Versickerung auf die Grundwasserstände

Zur Prüfung der Auswirkungen einer Versickerung wurden Simulationen mit 3 Mio. m³/a, 5 Mio. m³/a und 8 Mio. m³/a durchgeführt. Als erstes erfolgte eine Simulation mittels 900 m langer Sickerrigole am Waldrand. Hier ließen sich lediglich 3 Mio. m³/a versickern, bevor eine solche Anlage den Grundwasserleiter überbeansprucht. Aus diesem Grund musste mit der Versickerungsanlage weiter nach Westen in den Waldbereich, außerhalb des Naturschutzgebietes, gegangen werden. Nach Optimierung der Standorte von Versickerungsanlagen wurden 8 Brunnenstandorte im mittleren und südlichen Bereich konzipiert, über die jeweils 1 Mio. m³/a versickert werden können. Die Auswirkungen der Versickerung über Sickerrigolen im gleichen Bereich (innerhalb des Waldes) ist vergleichbar. Die Grundwasseranstiege besitzen eine große Reichweite bis nach Rhade im Norden, bis Schermbeck im Südwesten und bis zum Rhader Mühlenbach im Osten (Abbildung 19).

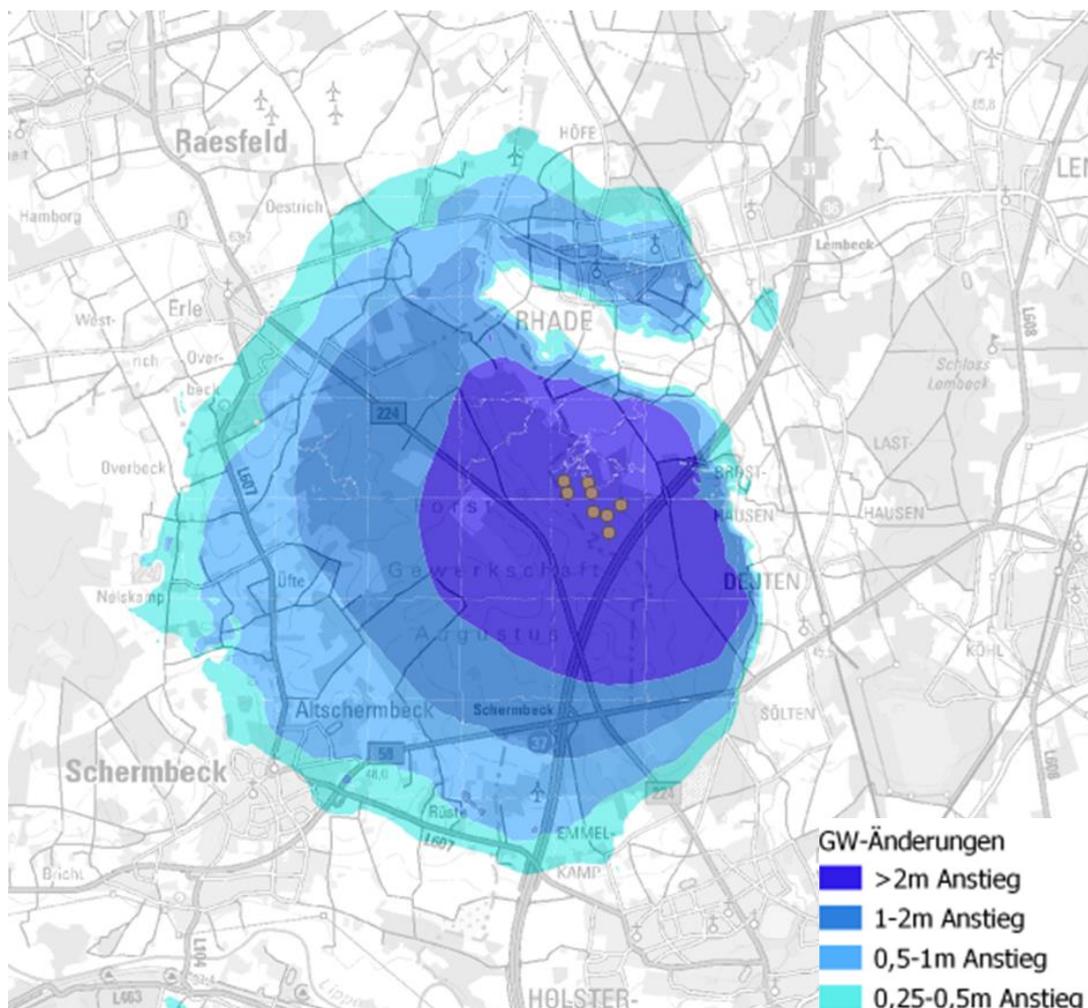


Abbildung 19: Flurabstandsverringerungen durch die Versickerung (8 Mio. m³/a)

Im Kernbereich betragen die Grundwasseranstiege deutlich über 2 m, hier sind allerdings größtenteils hohe Flurabstände vorhanden. Kritisch zu prüfende Auswirkungen ergeben sich dort, wo in der Bebauung Flurabstände < 2,5 m neu entstehen und wo auf landwirtschaftlichen Nutzflächen durch die Versickerung Flurabstände < 1 m auftreten. Grundsätzlich wären hier wasserwirtschaftliche Gegenmaßnahmen zur Aufrechterhaltung ausreichender Flurabstände möglich (z.B. Dränagen), werden aber in der Kostenannahme nicht berücksichtigt, da sie in der jetzigen Projektphase nicht konkret abschätzbar sind.

Genauer zu prüfen sind Auswirkungen am Gehöft Tappe zwischen Bakeler Mark und dem Brosthausener Wiesenmoor sowie in Teilen von Rhade, nördlich der Rhader Mergelscholle (Abbildung 20). Vernässungen landwirtschaftlicher Nutzflächen ergeben sich im Umfeld des Gehöftes Tappe sowie westlich Bannhegge (z.T. NSG Rhader Wiesen). Um Vernässungen zu vermeiden, sind hier lokal Maßnahmen zur Dränierung der Flächen erforderlich (werden in der Kostenannahme nicht berücksichtigt). Außerdem treten Vernässungen im Waldbereich Soerheide (Nadelwald) auf. Positiv können Vernässungen von Waldflächen und Wiesen innerhalb von Naturschutzgebieten betrachtet werden. Beispielsweise hat die Versickerung Auswirkungen auf die Flurabstände im Deutener Moor und in den Rhader Wiesen, wo es zu Vergrößerungen der Vernässungen kommt (Abbildung 20). Bei den von der Versickerung durch Flurabstandsverringering betroffenen landwirtschaftlichen Nutzflächen ist zumindest in der fortgeschrittenen Vegetationsperiode davon auszugehen, dass sich der Bewässerungsbedarf verringert, da die Wurzeln Kontakt zum Grundwasser erhalten bzw. ein verbesserter kapillarer Aufstieg möglich wird.

Auch bei 5 Mio. m³/a sind in den genannten Bereichen ggf. kleinflächige Gegenmaßnahmen nicht völlig auszuschließen.

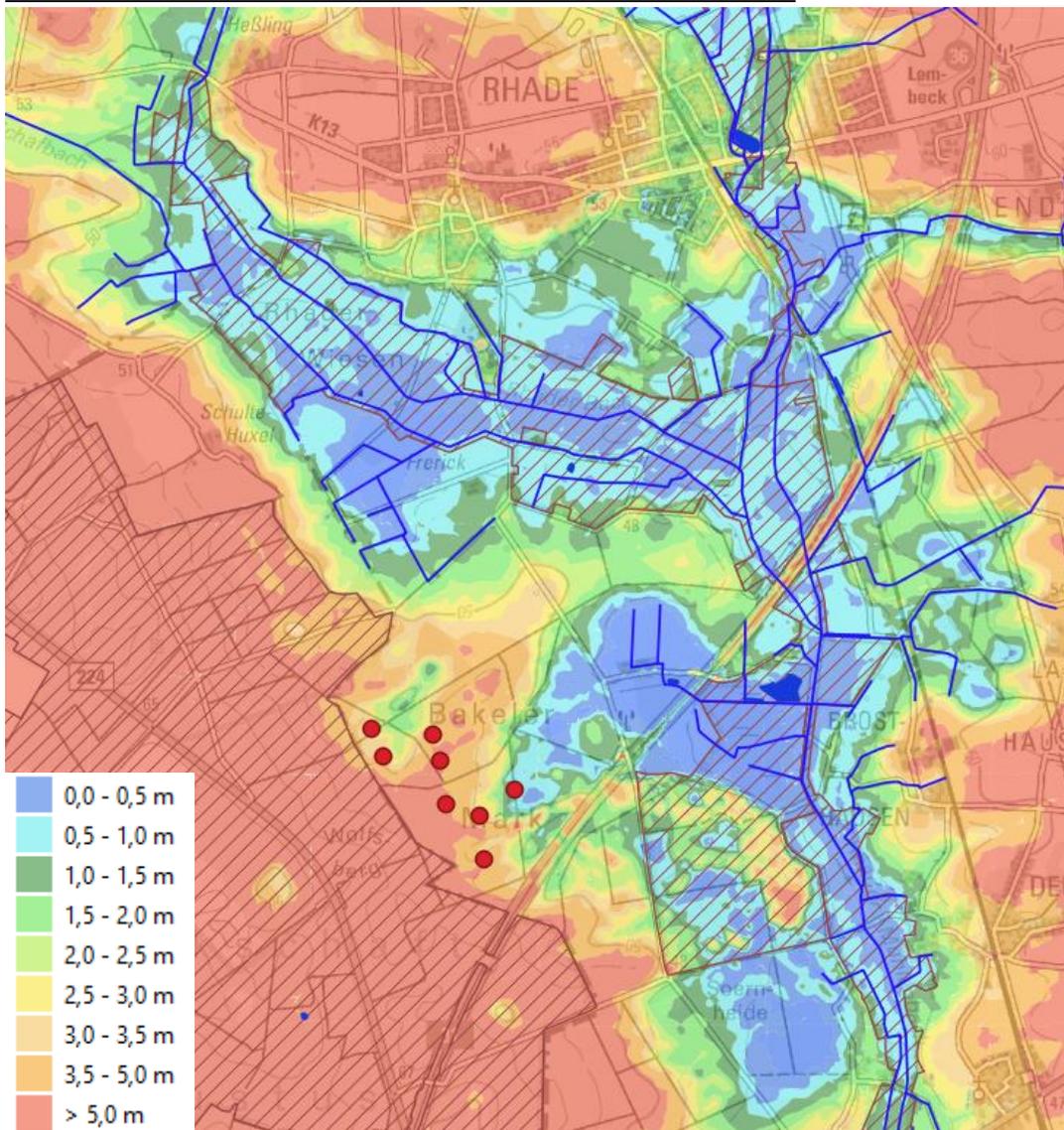


Abbildung 20: Flurabstände mit Versickerung (8 Mio. m³/a)

Durch die Versickerung darf keine nennenswerte Wassermenge zum Hammbach zurückströmen, da in diesem Fall Wasser im Kreislauf geführt würde. Im Ergebnis der Grundwassersimulation nimmt der Hammbach 7 % des versickerten Wassers auf. Damit verbunden ist auch eine Flurabstandsverringern in den Rhader Wiesen und im Deutener Moor, was positiv zu bewerten ist. Ein kleiner Teil des versickerten Wassers strömt Richtung Üfter Mark (ca. 3 – 6 %) nach Nordwesten (Abbildung 21).

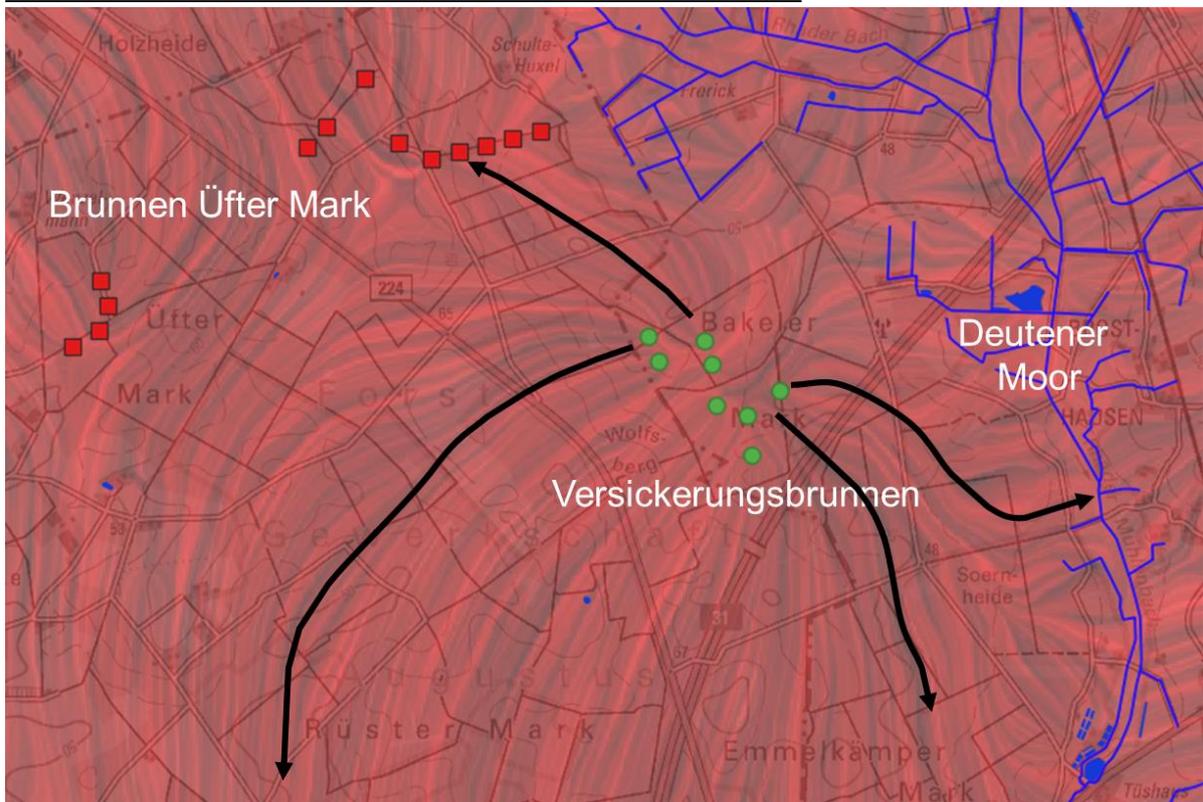


Abbildung 21: Schlierendarstellung zur Verdeutlichung der Stromlinien (Versickerung 8 Mio. m³/a)

7 Qualitative Eignung des Wassers

7.1 Geochemische Wirkung der Versickerung

Mit der geochemischen Berechnung wird der mögliche Einfluss der Infiltration von Wasser aus dem Blauen See in den Grundwasserleiter an der Versickerungsstelle untersucht. Die Betrachtung erfolgt auf Basis der anorganischen Haupt- und Nebenkomponten des Wassers. Es wird die Simulationssoftware PHREEQC (V.3.0) verwendet, um die aquatischen Spezies der gelösten Stoffe zu berechnen und so mögliche Redoxreaktionen und Lösungs- /Fällungsreaktionen zu ermitteln. Das Schema der Berechnung zeigt die Abbildung 22. Die Datenbasis zur Ermittlung der repräsentativen Konzentrationen zur Ermittlung der Modellwässer beruht für das Seewasser auf einer zehnjährigen Messreihe (2011 bis 2021) und beim Grundwasser auf fünf- bis zwanzigjährigen Messreihen von RWW-Messtellen (N01034 und N01222) in der Umgebung.

Die Modellwässer wurden in vorgeschalteten Berechnungen so angepasst, dass ausgeglichene Ladungsbilanzen vorliegen. Das Seewasser wurde rechnerisch mit O_2 und CO_2 ins Gleichgewicht gebracht. Die ausgewiesene Konzentration für Eisen stellt den filtrierte, gelösten und nicht partikulär vorliegenden Eisengehalt dar. Trotzdem ist eine Betrachtung von Eisen in oxischen Wässern mit dem hier gewählten Gleichgewichtsansatz wenig aussagekräftig, da die rechnerischen Anteile des Eisens dann klar auf der Seite des dreiwertigen Eisens liegen, dessen Gleichgewicht wiederum in einer festen Phase (z.B. einem amorphen Ferrihydrat) liegt. Die geringen Eisenkonzentrationen würden sich bei einem Transport und einer Versickerung zu wachsenden Partikeln formieren und möglicherweise auch ausfallen. Dies ist ein physikalisches Phänomen, welches mit der vorliegenden Berechnung nicht geklärt werden kann. Da das Seewasser als Brauchwasser aber bisher bereits entnommen und transportiert wurde, ist es offensichtlich bei den niedrigen Eisenkonzentrationen kein vorrangiges Problem.

Für das Porenwasser wurde neben den gelösten Stoffen noch ein Feststoffanteil berücksichtigt, der durch Reaktionen (durch Oxidation) gelöst werden kann. Dies ist zum einen Pyrit (FeS_2), stellvertretend für alle vorhandenen Eisensulfide. Es wurde ein Anteil an Arsen (Arsenopyrit) berücksichtigt. Dazu wurde das in der Datenbank enthaltene Mineral Pyrit entsprechend modifiziert, um einen molaren Anteil von 1% des Eisens im Pyrit durch Arsen zu ersetzen. Mit dieser Vorgehensweise wird Arsen nur als Tracer betrachtet, um der Anregung zu entsprechen, auch die Freisetzung von Arsen bei der Pyritoxidation zu berücksichtigen. Die Wechselwirkungen der aquatischen Arsenspezies im Grundwasserleiter waren nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Die Arsenkonzentration im

Blauen See (4,7 µg/L am 19.07.2021, 1,1 µg/L am 01.02.2022) liegt im Bereich des Geringfügigkeitsschwellenwerts (GFS) von 3,2 µg/L nach der Grundwasserverordnung (GW-V). Der Grenzwert der Trinkwasserverordnung (TW-V) liegt bei 10 µg/L und wurde in keiner Probe erreicht. Die Arsenkonzentrationen werden als geogen verursacht eingeschätzt.

Außerdem wurde organischer Kohlenstoff im Grundwasserleiter berücksichtigt. Dies erfolgte wie bei Ortmeier (2017) über die Definition einer kontinuierlichen Freisetzungsreaktion ins Porenwasser bei begrenzter verfügbarer Gesamtkonzentration. Die Konzentration von Pyrit und organischem Kohlenstoff wurden ebenfalls von den Untersuchungen von Ortmeier (2017) übernommen, bzw. abgeleitet, die im Wassergewinnungsgebiet Dorsten-Holsterhausen und Üfter Mark stattgefunden haben. Bei diesen Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Grundwasserleiter in großen Bereichen keine Eisensulfide enthält. Dies gilt für das Quartär und auch für große Bereiche der Haltener Sande, die am Versickerungsstandort den Grundwasserleiter aufbauen. Vor allem in den tieferen Horizonten der Haltener Sande wurde Pyrit-Schwefel gefunden. Der Mittelwert der Pyrit-Schwefel Konzentration wurde für die Haltener Sande mit 0,012 mmol/g in den hangenden Bereichen und 0,046 mmol/g in den liegenden Bereichen angegeben. Dem hier betrachteten möglichen Versickerungsstandort liegt die Bohrung N01034 (aus der o.g. Untersuchung) am nächsten. Dort wurde Pyrit-Schwefel nur an der Basis des Grundwasserleiters in 50 m Tiefe mit einer Konzentration von 0,24 mmol/g ermittelt. Die Gehalte an org. Kohlenstoff lagen in dieser Bohrung an der Basis bei rund 1 mmol/g. Bei der nachfolgenden Betrachtung wurde ein Mittelwert von 0,02 mmol Sulfidschwefel/g für den gesamten Grundwasserleiter angesetzt, um ein deutlich auswertbares Ergebnis zu erhalten und die Auswirkungen exemplarisch darstellen zu können. Für die Freisetzung von org. Kohlenstoff wurden die bei Ortmeier (2017) verwendeten Raten ($3,35 \cdot 10^{-4}$ mmol C/(Jahr und Liter Porenwasser)) angesetzt.

Der 1D Transport wurde zur Abbildung einer Fließstrecke des versickerten Wassers in einer Stromröhre im Grundwasserleiter betrachtet. Es wurde eine rund 5 km lange Fließstrecke zur Lippe, ein k_F -Wert von $1,4 \cdot 10^{-4}$ m/s, ein hydraulischer Gradient von 0,005, eine effektive Porosität von 0,2 und eine hydrodynamische Dispersion von 12 m angenommen.

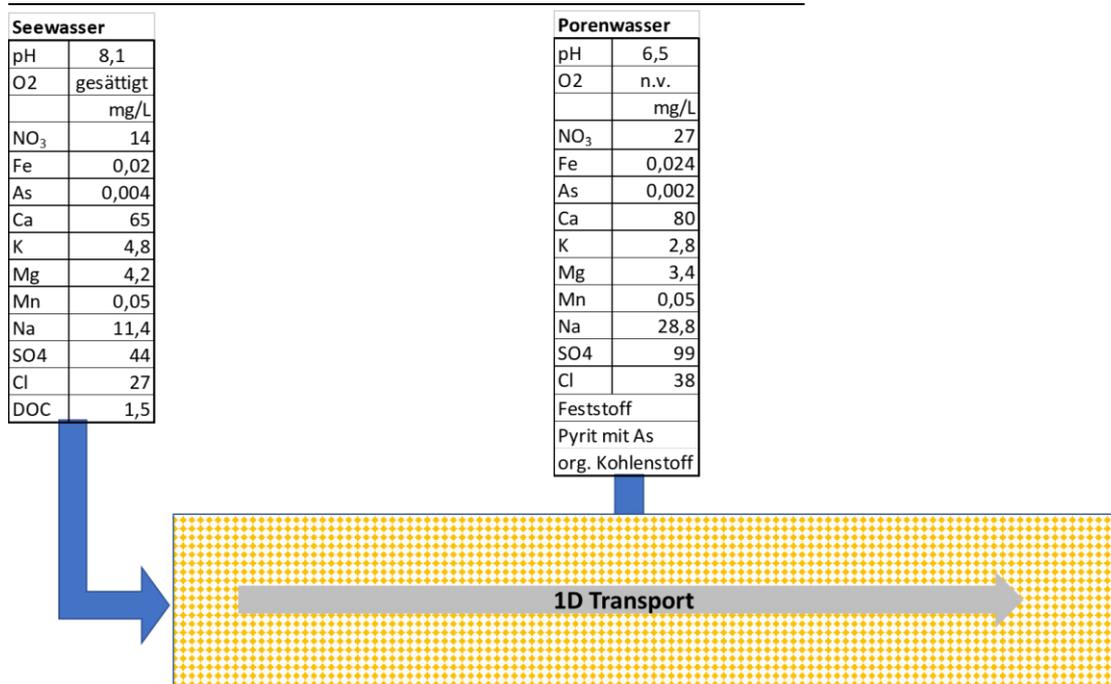


Abbildung 22: Schema der geochemischen Berechnung

Im betrachteten System befinden sich durch die berücksichtigten Feststoffe Elektronendonatoren, d.h. Stoffe, die sich durch Oxidation umwandeln und somit in Lösung gehen können. Dazu ist die gleichzeitige Anwesenheit von Elektronenakzeptoren erforderlich. Als solche fungieren Sauerstoff und Nitrat, die mit dem Seewasser eingetragen werden.

Die Nitrat-Konzentration im Seewasser von 14 mg/L entspricht einer möglichen Aufnahme von 1,13 mmol/L e⁻ bei der Reduktion des Nitrat-N zum N₂. Der bei Sättigung im Wasser gelöste Sauerstoff von rund 10 mg/L entspricht einer möglichen Aufnahme von 1,23 mmol/L e⁻ bei der Reduktion des Luftsauerstoff zum O²⁻, so dass insgesamt 2,36 mmol/L e⁻ als Oxidationskapazität im Seewasser erhalten sind. Im Porenwasser des Grundwasserleiters sind bei einer Nitratkonzentration von 27 mg/L bereits 2,18 mmol/L e⁻ als Oxidationskapazität enthalten. Wobei die Nitratkonzentration im Grundwasserleiter örtlich erheblich höher liegen kann. Die Versickerung des Wassers aus dem Blauen See erhöht die Oxidationswirkung des Porenwassers somit nur um rund 8 %.

Daher kann an dieser Stelle bereits festgestellt werden, dass von der Versickerung des sauerstoffgesättigten Wassers aus dem Blauen See keine grundlegende Veränderung des geochemischen Milieus im Grundwasserleiter abzuleiten ist. Eine wesentlich erhöhte Pyritoxidation und somit eine wesentlich erhöhte Freisetzung von Arsen aus Pyrit ist gegenüber dem heutigen Zustand daher nicht zu erwarten. Abbildung 23 zeigt das Ergebnis einer Stromlinienberechnung mit den oben angegebenen Systemparametern. Dargestellt sind die gelösten Gesamtkonzentrationen ausgewählter Stoffe.

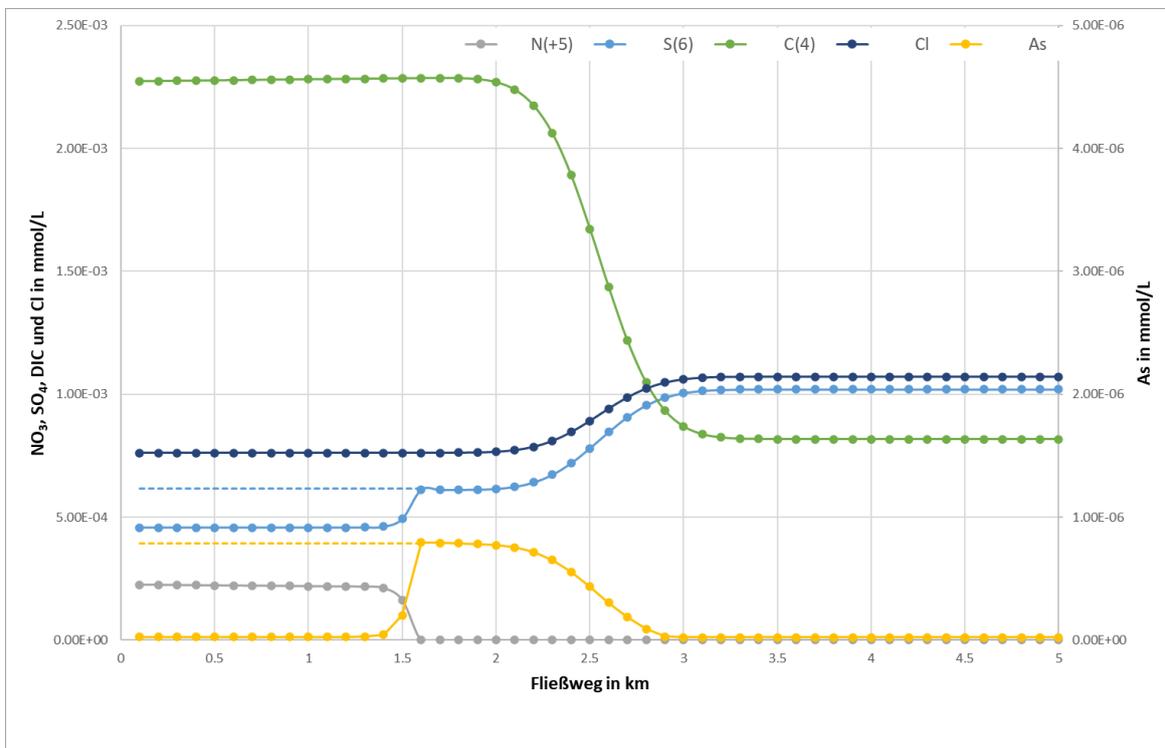
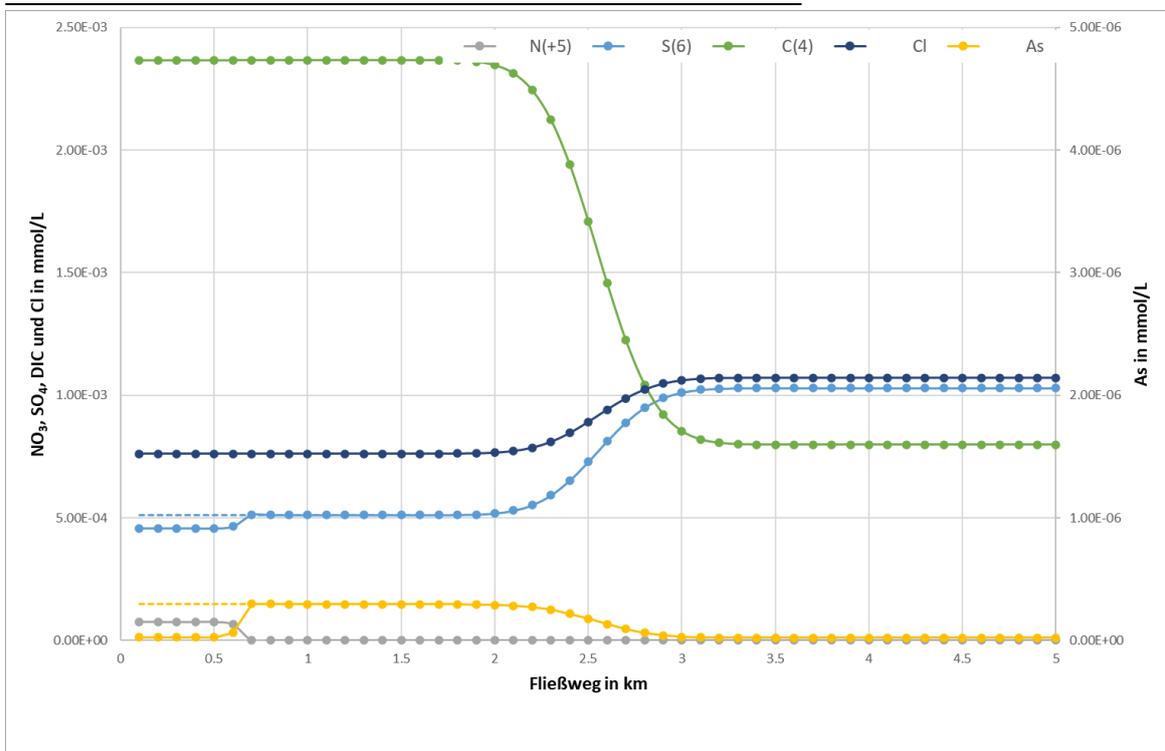


Abbildung 23: Ergebnis einer Stromlinienbetrachtung für ausgewählte gelöste Stoffe (V3) oben. Im unteren Bild ist die DOC-Konzentration im Seewasser vernachlässigt worden. Neben einer geringeren DIC-Konzentration zeigt sich eine verringerte Arsenkonzentration in der Oxidationszone aufgrund des verringerten Stoffumsatzes durch Pyritoxidation

Die Berechnung zeigt den Zustand nach 25 Jahren. Da die Abstandsgeschwindigkeit etwa 100 m/a beträgt, bewegt sich das infiltrierte Wasser bei gleichmäßiger Infiltration (Annahme für diese Berechnung) etwa 2,5 km fort. Dies ist gut an der Konzentration für Chlorid zu erkennen, welches hier als Tracer dienen kann, da es an keinen der angesetzten Reaktionen teilnimmt. Die geringere Konzentration im Seewasser verdrängt die etwas höhere Konzentration im initialen Porenwasser. Ähnlich verhält sich Sulfat, welches allerdings durch die Pyritoxidation zunimmt. Diese ist etwa 1,5 km in den GWL vorgedrungen. Gleichzeitig nimmt die Nitratkonzentration ab, da Nitrat zur Pyritoxidation verbraucht wird. Die Konzentration von gelöstem anorganischem Kohlenstoff (DIC) nimmt zu, da er bei der Oxidation des organischen Kohlenstoffs entsteht. Die Arsenkonzentration nimmt im Bereich der Pyritoxidationszone zu, da angenommen wurde, dass Arsen anteilig aus Pyrit freigesetzt wird. Die perforierte Linie, die für Arsen und Sulfat dargestellt ist, gilt für den Fall, dass Pyrit nicht im Verlauf der Berechnung aufgezehrt wird, sondern weiterhin zur Verfügung steht.

Die hier dargestellte Art der Betrachtung muss im Sinne einer Prognose der örtlich und räumlich zu erwartenden Änderungen im Grundwasserleiter stark eingeschränkt werden. Tatsächlich können nur grundsätzliche Zusammenhänge visualisiert werden und grundsätzliche Aussagen davon abgeleitet werden. Das Ergebnis stellt in jedem Fall eine Überschätzung der zu erwartenden Veränderungen dar. Die Verteilung der berücksichtigten Feststoffe konnte nur aus in der Literatur dokumentierten Untersuchungen (Ortmeyer 2017) übernommen werden, da keine eigenen Untersuchungen des Grundwasserleiters durchgeführt werden konnten.

Die Sättigung im Hinblick auf die drei Minerale Gips, Calcit, und Eisenhydroxid bzw. Ferrihydrid ergab für Gips eine Untersättigung auf dem gesamten Fließweg, für Calcit eine leichte Übersättigung im Bereich der DIC-Freisetzung und für die Eisenphase ebenfalls eine Übersättigung im Bereich der vollständigen Oxidation (Abbildung 24).

Zusammengefasst wird eingeschätzt, dass bei der Infiltration von Wasser aus dem Blauen See in den Grundwasserleiter keine negativen Veränderungen im Grundwasserkörper erwartet werden. Bei der Herstellung einer Versickerungsanlage sollten dennoch aus unterschiedlichen Teufen Proben aus dem Grundwasserleiter entnommen werden und auf Sulfidschwefel und reaktiven organischen Kohlenstoff hin untersucht werden.

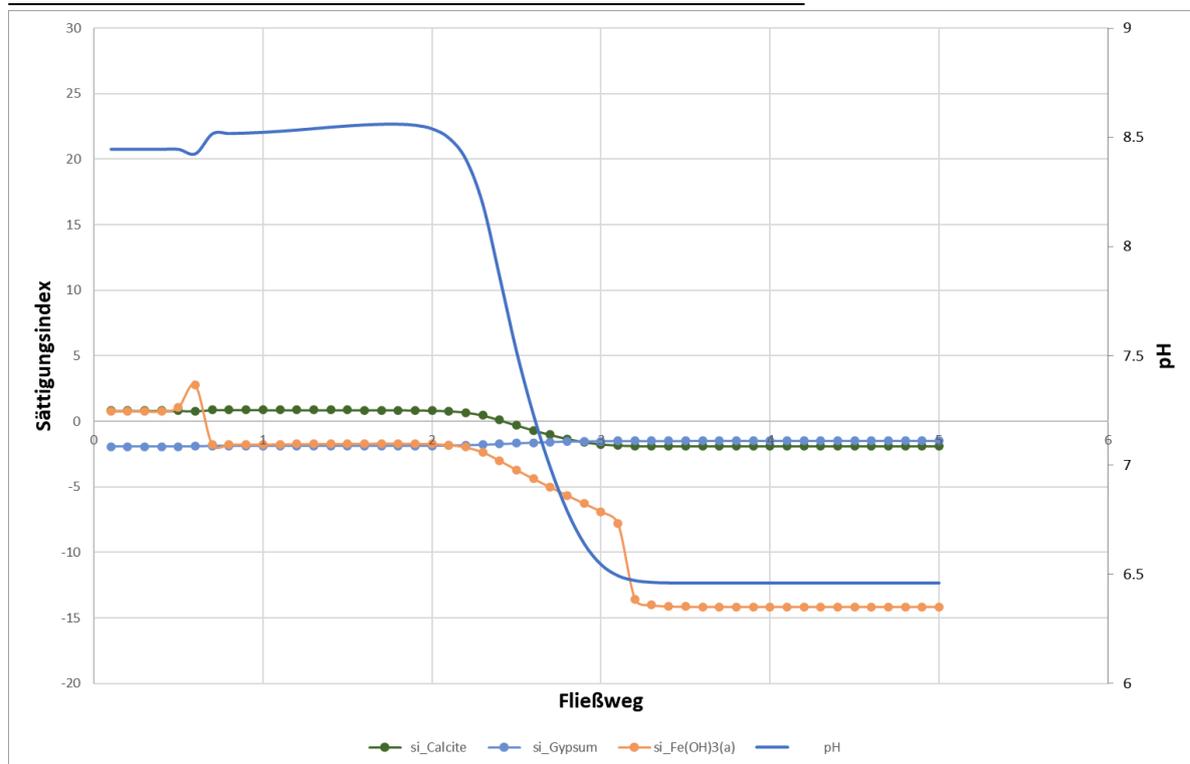


Abbildung 24: Sättigungsindices und pH-Wert

7.2 Spurenstoffe im Wasser des Blauen Sees

Das Wasser des Blauen Sees wurde in den Jahren 2021 und 2022 mehrfach auf Spurenstoffe und mögliche Kontaminationen hin untersucht. Die Analysen wurden auf insgesamt 84 Stoffe (gängige LHKW und Arzneimittel) hin untersucht und waren insgesamt mit wenigen Ausnahmen unter der Nachweisgrenze. Kein Wert überschreitet die zulässigen Grenzwerte der Trinkwasserverordnung (TrinkwV). Allerdings existieren für viele der analysierten Spurenstoffe keine Grenzwerte in der Trinkwasserverordnung, so dass Vergleichswerte und Empfehlungen der WHO, gesundheitliche Orientierungswerte des Umweltbundesamtes und rechtlich nicht bindende Zielwerte für die Bewertung herangezogen wurden.

Die Probenahme am 01.02.2022 zeigte erhöhte Werte für Metformin (0,09 µg/L), Tetrachlorethen (0,32 µg/L) und EDTA (0,69 µg/L). Metformin ist ein Medikamentenrückstand (Diabetes-Medikament). In DVGW (2015) wird ausgesagt, dass nicht genotoxische Arzneistoffe in Konzentrationen von unter 0,1 µg/l pro Stoff im Trinkwasser nach derzeitiger Kenntnislage keinerlei Anlass zur Besorgnis geben. Dies kann aber hier nur einen groben Vergleichswert liefern, da Stoffe wie Hormone, Zytostatika oder Antibiotika auch in

niedrigeren Konzentrationen eine Wirkung auf den Menschen haben können. Für Tetrachlorethen existiert ein Grenzwert in der TrinkwV und zwar für die Summe aus Tetrachlorethen und Trichlorethen (welches nicht nachgewiesen wurde) von 10 µg/L. Die analysierte Konzentration liegt somit weit (rund 30-fach) unter dem Grenzwert für Trinkwasser. In der GW-V ist der Wert von 10 µg/L ebenfalls als GFS verankert. Für den Komplexbildner EDTA wird durch die WHO eine tägliche Höchstdosis von 25 µg/ kg Körpergewicht und Tag empfohlen. Für ein Kleinkind oder Baby (4 kg Körpergewicht, 3 L Trinkwasseraufnahme am Tag) würde die o.g. EDTA-Konzentration die empfohlene maximale Aufnahme um das rund 50-fache unterschreiten.

Am 18.07. und 24.11.2022 wurden Probenahmen zu Spurenstoffen vom Alten Hammbach und vom Blauen See durchgeführt. Beide Proben wurden zunächst einer semiquantitativen Auswertung unterzogen. Dabei wurde für 159 einzelne Substanzen festgestellt, ob diese im Wasser vorhanden waren und wenn ja, ob die Konzentration im Bereich < 100 ng/L, im Bereich von 100 – 1000 ng/L oder im Bereich > 1.000 ng/L lagen. Für den Blauen See wurden für die erste Probenahme 7 Substanzen mit Konzentrationen < 100 ng/L und 2 Substanzen mit Konzentrationen zwischen 100 und 1000 ng/L festgestellt. Im Hammbach wurden 10 Substanzen mit Konzentrationen < 100 ng/L und 2 Substanzen mit Konzentrationen zwischen 100 und 1000 ng/L festgestellt (Tabelle 2).

Tabelle 2 Semiquantitative Auswertung der Wasserproben aus dem Blauen See und dem Alten Hammbach

Probenbezeichnung	Blauer See		Alter Hammbach	
	18.07.2022	24.11.2022	18.07.2022	24.11.2022
Probenahme (Datum)				
Substanz				
Acesulfam				
Antipyrin, 4-Acetamido-				
Antipyrin, 4-Formylamino-				
Bentazon				
Chloridazon, Methyl-desphenyl- (MDPC)				
Chlorthalonil-Met-M12				
Coffein				
Dimethachlor-CGA369873				
Flufenacet-Met ESA M2				
Lamotrigin				
Metalaxyl				
Metamizol-Met 4-Acetamidoantipyrin (4-AAA)				
Metamizol-Met 4-Formylaminoantipyrin (4-FAA)				
Metolachlor, S-, Met CGA368208				
Metolachlor, S-, Met ESA CGA380168				
Metolachlor, S-, Met NOA413173				
Metoprolol				
Metoprololsäure				
Saccharin				
Legende				
	< 100 ng/L			
	100 - 1000 ng/L			
	>1000 ng/L			

Darüber hinaus wurde ein Suspect Screening durchgeführt, bei dem die Proben durch Elektrosprayionisation und Massenspektrometrie analysiert wurden und die Ergebnisse von drei Durchläufen mit vier Datenbanken abgeglichen wurden. Die Ergebnisse der beiden Probenahmen zeigt die

Tabelle 3.

Tabelle 3: Ergebnisse des Suspect Screening

Probennummer			
Probenbezeichnung	Blauer See		
Kunde	RWW		
Probenahme-Objekt			
Entnahmestelle			
Probenahme (Datum)	18.07.2022		
Parameter	Klassifizierung	Identifikation	Abgeschätzte Konzentration* [ng/L]
p-Toluolsulfonsäure	Industriechemikalie	Level 1	<100
Adenin	Nukleinbase	Level 2	100-1000
Probennummer			
Probenbezeichnung	Alter Hammbach		
Kunde	RWW		
Probenahme-Objekt			
Entnahmestelle			
Probenahme (Datum)	18.07.2022		
Parameter	Klassifizierung	Identifikation	Abgeschätzte Konzentration* [ng/L]
p-Toluolsulfonsäure	Industriechemikalie	Level 1	100-1000
Adenin	Nukleinbase	Level 2	<100
Probennummer			
Probenbezeichnung	Blauer See		
Kunde	RWW		
Probenahme-Objekt			
Entnahmestelle			
Probenahme (Datum)	24.11.2022		
Parameter	Klassifizierung	Identifikation	Abgeschätzte Konzentration* [ng/L]
PFBuS	Industriechemikalie	Level 1	100-1000
Probennummer			
Probenbezeichnung	Alter Hammbach		
Kunde	RWW		
Probenahme-Objekt			
Entnahmestelle			
Probenahme (Datum)	24.11.2022		
Parameter	Klassifizierung	Identifikation	Abgeschätzte Konzentration* [ng/L]
PFBuS	Industriechemikalie	Level 1	<100

* Konzentrationen abgeschätzt anhand der Intensitäten der internen Standards Acesulfam D4, Atrazin D6, Atrazin desethyl D6, Chloramphenicol D5, Diclofenac 13C6, Diuron D6, Fenofibrat D6, Methamidophos D6

Bei diesem Screening wurden zwei zusätzliche Stoffe jeweils einmal im Konzentrationsbereich < 100 ng/L und einmal im Bereich 100 – 1000 ng/L ermittelt.

Die Untersuchung der organischen Spurenstoffe im Wasser des Hambachs und des Blauen Sees zeigt die weite Verbreitung von anthropogenen Stoffen in der Umwelt. Trotzdem wäre das Wasser gem. TrinkwV als Trinkwasser geeignet. Vor diesem Hintergrund wird auf Grundlage der bisher vorliegenden Ergebnisse aus Stichproben keine Gefährdung für das Grundwasser bei einer Versickerung gesehen. Die Spurenstoffanalytik wurde als Non-Target Screening vom IWW in Mülheim an der Ruhr unter Leitung von Frau Dr. Wiegand durchgeführt, die wir um eine Einordnung der Befunde gebeten haben. Ihre freundlicherweise zur Verfügung gestellte Einschätzung der Proben Blauer See und Alter Hambach vom 22.08.2022 sowie vom 27.01.2023 ist im Folgenden wiedergegeben. Die Probenahme hat in Absprache mit uns nach mehreren Tagen ohne Niederschläge stattgefunden.

- Das Spektrum der in den untersuchten Proben nachgewiesenen Spurenstoffe umfasst einen Pflanzenschutzmittel (PSM) Wirkstoff, PSM-Metabolite, Arzneimittelwirkstoffe, Metabolite von Arzneimittelwirkstoffen, künstlichen Süßstoffe sowie Coffein
- Über beide Proben hinweg wurden im November drei Spurenstoffe mehr detektiert als im Juli. Im November nicht mehr nachweisbar war das Fungizid Metalaxyl sowie der PSM-Metabolit Desphenyl-Chloridazon. Neu im November nachweisbar waren der künstliche Süßstoff Acesulfam, das Herbizid Bentazon, die PSM-Metabolite Methyl-desphenyl-Chloridazon und Flufenacet ESA (M2) sowie der Arzneimittelwirkstoff Metoprolol
- In beiden untersuchten Proben liegt die Konzentration der meisten nachgewiesenen Spurenstoffe unterhalb von 0,1 µg/L
- Einzig zwei Metabolite des Herbizidwirkstoffs S-Metolachlor konnten, wie auch schon in den Proben vom Juli 2022, in Konzentrationen zwischen 0,1 und 1,0 µg/L nachgewiesen werden
- Von den über beide Proben hinweg gefundenen 16 Spurenstoffen sind neun vom UBA mit einem Gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) belegt; für alle Spurenstoffe liegt die gemessene Konzentration unterhalb des GOW
- Bei den PSM-Metaboliten handelt es sich um solche, die vom UBA als nicht relevante Metabolite (nrM) eingestuft sind; entsprechend gilt für diese nicht der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für PSM-Wirkstoffe und relevante Metabolite (rM) von 0,1 µg/L für die Einzelstoffe
- Die Konzentration des PSM-Wirkstoffs Bentazon liegt unterhalb des TrinkwV-Grenzwertes

- Die PSM und PSM-Metabolit-Befunde zeugen von einem gewissen landwirtschaftlichen Einfluss
- In der Probe Alter Hammbach finden sich Metabolite von Arzneimittelwirkstoffen; es handelt sich um Humanmetabolite, die über den Urin ausgeschieden werden, sodass sie als Indikator für Abwassereinfluss gesehen werden können
- Auch Coffein und künstliche Süßstoffe gelten als Indikator für Kläranlageneinfluss, Coffein kann aber auch bei der Probenahme oder der Probenvorbereitung in die Probe gelangen
- Anhand der Spurenstoffbefunde aller Proben (Juli und November) lässt sich aufgrund der insgesamt sehr geringen Spurenstoffbelastung kein saisonaler bzw. niederschlagsbedingter Einfluss auf die Wasserqualität des Alten Hammbachs oder des Blauen Sees ausmachen

8 Kostenannahme

Für die in Kap. 5.3 geplanten Maßnahmen vom Blauen See über eine 7,1 km lange Druckrohrleitung bis zur Versickerungsanlage wurde eine Kostenannahme erstellt. Verschiedene Entnahmepunkte und Leitungstrassen wurden dabei geprüft und die Vorzugsvariante ermittelt (Variante 2). Es wurde je eine Kostenannahme für eine Versickerung über Brunnen und über eine Sickerrigole im Bakeler Wald erstellt, da die Kosten ein Kriterium für die zu bevorzugende Variante sind. Daneben spielen hier auch Erfordernisse einer (potenziellen) Wasseraufbereitung eine Rolle.

Die angesetzten Preise sind Erfahrungswerte aus dem Jahr 2021 aus vergleichbaren Baumaßnahmen (Druckrohrleitung 2xDN600 und Brunnenversickerung). Die Kosten für eine Versickerungsrigole wurden aus Erfahrungswerten beim Bau von tiefen Dränagen abgeleitet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Kostenannahme im Falle einer Brunnenversickerung und einer Rigolenversickerung

Pos.	Beschreibung	Variante Rigole	Variante Brunnen
1	Anschluss PW Blauer See	85.000	85.000
2	Druckrohrleitung		
2.1	Parallelverlegung von 2 DRL DN 600 / DA 710 PE-100-RC, SDR 17 Stumpfschweißverbindung	11.857.000	11.857.000
2.2	Verlegung in offener Bauweise	1.290.000	1.290.000
2.3	Herstellung der Unterquerungen A31, B58 in geschlossener Bauweise	1.062.492	1.062.492
2.4	Weitere Erschwernisse	0	0
2.5	Herrichten von Lager- und Arbeitsflächen neben der Trasse im Bereich von landw. Nutzflächen	150.000	150.000
2.6	Bau von Baustraßen/Unterhaltungsweg	92.750	92.750
3	Zuleitungen zu den Brunnen/Rigolen		
3.1	DRL DN 600 / DA 710 PE-100-RC, SDR 17 Stumpfschweißverbindung	1.252.500	1.252.500
3.2	Verlegung in offener Bauweise	284.010	284.010
4	Versickerungsanlage Rigole		
4.1	Versickerungsschlitz	1.709.400	
4.2	Steuerschacht	316.000	
4.3	Herrichten von Lager- und Arbeitsflächen neben der Trasse im Bereich von landw. Nutzflächen	135.000	
4.4	Zaunanlage	82.000	
4.5	Bau von Baustraßen/Bewirtschaftungsweg	31.500	
4.7	Flächenkauf	0	0
5	Versickerungsanlage Brunnen		
5.1	Brunnenbau		1.760.000
5.2	Steuerung, Stromversorgung, Monitoring		201.000
5.3	Lager- und Arbeitsflächen, Baustraße, Zäune		33.100
6	Baustelleneinrichtung 5 %	917.383	903.393
7	Ingenieur- und Landschaftsplanungen, Baugrunderkundungen, Kampfmittelüberprüfungen	4.262.653	3.785.134
	Unvorhergesehenes (5 %)	1.176.384	1.137.819
	Summe (netto)	24.704.073	23.894.198
	Umsatzsteuer (19 %)	4.693.774	4.539.898
	Summe (brutto)	29.397.846	28.434.096

Nicht enthalten sind in der Kostenannahme die Ertüchtigung des Betriebswasserwerks Blauer See (muss bei die den Betriebskosten im Bereitstellungspreis für das Wasser berücksichtigt werden), die Profilerfüchtigung der Rücklaufstrecke des Alten Hammbachs, Erschwernisse z.B. durch Querung größerer Leitungen, ein Flächenkauf und eine mögliche Aufbereitung des Wassers vor der Versickerung. Die Baustelleinrichtung über die Gesamtmaßnahme wurde mit 5 % kalkuliert und zusätzlich „Unvorhergesehenes“ mit 5 % veranschlagt. Ingenieur- und Landschaftsplanung, Baugrunderkundungen und Kampfmittelüberprüfungen wurden mit zusammen 20 % der Baukosten veranschlagt.

Eine Versickerung über Brunnen (Anzahl: 8) ist mit brutto 28,4 Mio. € etwa 0,9 Mio. € günstiger als über Sickerrigolen (Länge: 900 m) mit 29,4 Mio. €.

9 Kosten-Nutzen-Analyse

Bei der Kosten-Nutzen-Analyse sollen alle Elemente mit geldwerten Beträgen bewertet werden. Der Nutzen der untersuchten Maßnahme kann jedoch nicht mit geldwertem Nutzen beziffert werden, da landwirtschaftliche Betriebe u. U. ohne Bewässerung nicht dieselben Feldfrüchte anbauen würden, oder möglicherweise auch gar keinen Betrieb ausüben würden. Auch die Verringerung der Grundwasserflurabstände in Feuchtgebieten, d.h. der ökologische Nutzen im Sinne einer Umweltdienstleistung zählt hierzu. Ebenso kann in diesem Rahmen nicht ermittelt werden, ob, woher und mit welchem Mehraufwand eine Trinkwasserversorgung aus einem anderen Einzugsgebiet erfolgen könnte. Bei den bereits bezifferten Kosten besteht die Unsicherheit, in welchem Maße diese mit einer CO₂-Freisetzung verbunden sind. Folgende Kosten und Nutzen bzw. positive Aspekte für die Region werden gesehen:

Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> • Planung, Herstellung und Betrieb der Anlage • Verwaltung der Wasser- verteilung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewässerung von Kulturpflanzen zur Sicherung des landwirtschaftlichen Betriebs • Verringerung der Flurabstände in ökologisch wertvollen Feuchtgebieten (Deutener Moor, Rhader Wiesen) • Verbesserte Wasserführung der Fließgewässer (Schafsbach, Rhader Mühlenbach) • Sicherung der Trinkwasserversorgung (Dargebots- erhöhung) • Erhöhung der allgemeinen Klimaresilienz der Region • Verringerung der Pumpkosten am Pumpwerk Hamm- bach für Lippeverband/RAG • Aufwertung des Stadtbildes in der Stadt Dorsten durch sichtbare Wasserführung in der Rücklaufstrecke

Diskussion der Kosten

Die Herstellungskosten für die Versickerungsmaßnahme werden auf ca. 30 Mio. € geschätzt (Kap. 8). Dazu kommen laufende Kosten (die in einem separaten Teilprojekt ermittelt wurden), die jährlich als Bereitstellungspreis für das Wasser ausgedrückt werden können, inklusive dem Aufwand für die Wartung und den Betrieb der Pumpen. Das Wasser, welches nach Norden gepumpt wird, fällt am PW Hammbach weg, so dass hier eine Kosteneinsparung entsteht. Die Höhendifferenz zwischen dem Pumpwerk Hammbach und der Einleitung in die Rücklaufstrecke (Alter Hammbach) beträgt ca. 10 m, also mehr als ein Drittel der beim Transport in den Norden zur Versickerung benötigten Druckhöhe. Als

zusätzlicher Aufwand ist die Hebung des Wassers vom Hammbach in den Blauen See zu berücksichtigen. Die erforderliche Höhe ist allerdings gering (ca. 1,3 m).

Tabelle 5: Schätzung Energiebedarf Wasserhebung

Maßnahme	Jahresmenge in Mio. m ³	Druckhöhe in m	Energiebedarf* in MWh	Kosten in €	
				bei 0,3 €/kWh	bei 0,9 €/kWh
Versickerung	8	27.5	1,222	366,667	1,100,000
Rücklauf	-5	10	-278	-83,333	-250,000
Blauer See	3	1.3	22	6,500	19,500
Summe			966	289,833	869,500

(*) Ansatz eines Wirkungsgrads von Pumpe und Motor in Summe von 0,5

Möglicherweise lässt sich der Energieaufwand durch regenerative Energie decken. Zur Einordnung des Energiebedarfs sind nachfolgend Vergleichsrechnungen für ein Windrad und eine Photovoltaik (PV)-Anlage angegeben. Bei einem Windrad mit Kosten von 1.030 € pro Kilowatt installierter Leistung würde ein Windrad in gängiger Bauart (3 MW Windrad) kosten in Höhe von ca. 3.090.000 € (brutto) verursachen. Der Ertrag pro Jahr wird mit 3 MW Leistung bei 2.000 h Volllast im Jahr zu 6 GWh = 6.000 MWh überschlagen. Rund 5.000 MWh könnten über den Bedarf hinaus ins Netz eingespeist werden.

Bei einer Einspeisevergütung von 0,048 €/ kWh (in den ersten 5 Jahren 0,089 €/ kWh) ergibt sich ein Erlös von 240.000 € bis 445.000 €. Unter Vernachlässigung von Zinsen für Fremdkapital hätte sich ein Windrad nach 10 Jahren durch die Einspeisung selbst finanziert. Zusätzlich würde der selbstverbrauchte Strom produziert.

Bei einer PV-Anlage (1 MW Anlage, z.B. als Floating-PV-Anlage auf dem Blauen See, ca. 1 ha Flächenbedarf bei 1.800 € pro kW) würden Kosten von rund 1.800.000 € (brutto) entstehen. Bei 1.500 Sonnenstunden pro Jahr könnte jährlich eine Strommenge von 1.500 MWh erzeugt werden. Allerdings kann der Strom nicht direkt zum Betrieb der Anlage verwendet werden, da 24 h pro Tag versickert werden muss. Nach 2 bis 6 Jahren wäre die Anlage durch selbstverbrauchten Strom bilanzmäßig finanziert.

Diskussion des Nutzens

Sollte es ohne Versickerung zu einer nicht zulässigen Zehrung des Grundwassers kommen und ein „Bewässerungsverbot“ für die Landwirtschaft ausgesprochen werden, hätte dies

einen hohen wirtschaftlichen Schaden (Ernteauffälle bis hin zur Aufgabe der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen, Entzug der Existenzgrundlage der Landwirte und Wegfall von Arbeitsplätzen in der Lebensmittelproduktion). Zusätzlich zu den direkten Auswirkungen für die ortsansässigen Landwirte würde ein Ernteausfall (bis hin zur Aufgabe der Flächen) einen Import an Lebensmitteln/ Rohstoffen aus anderen Regionen zur Kompensation des Ausfalls zur Folge haben, was langfristig ebenfalls negativ auf die Ökobilanz wirkt. Darüber hinaus ist neben der Vermeidung von Schäden auch ein echter Vorteil in der Durchführung der Bewässerung zu sehen, nämlich die Möglichkeit der Erweiterung und/oder Existenzsicherung des landwirtschaftlichen Betriebes.

Durch die Zugabe von Wasser in den Grundwasserleiter wird der Wasserhaushalt stabilisiert, der gerade in Trockenperioden durch verschiedene Entnahmen (Wasserversorger, Landwirtschaft, etc.) stark beansprucht wird. Durch die Vergrößerung des Grundwasserdargebots werden Nutzungskonkurrenzen der Entnahmeberechtigten (Inhaber bestehender Wasserrechte) minimiert. Der Nutzen der Anreicherung lässt sich in dieser Hinsicht nicht finanziell beziffern, er trägt aber zur Konfliktvermeidung zwischen Wasserversorger, der Landwirtschaft als regionaler Produzent von Lebensmitteln und der Ökologie bei.

Neben den wirtschaftlichen Aspekten ist der ökologische Nutzen der Maßnahme zu bewerten. Durch die Versickerung zur Stabilisierung des Wasserhaushalts wird einem periodischen bis dauerhaften Trockenfallen der Fließgewässer (u.a. Fischsterben durch Sauerstoffmangel und Lebensraumverlust) aktiv entgegengesteuert. Dies trägt in einem sehr hohen Maß zum Erhalt der Biodiversität im ländlichen Raum und besonders in den Naturschutzgebieten bei. Mit dem „Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz“ weist auch die Bundesregierung auf die Bedeutung zum Erhalt und Schutz von Mooren als auch den Wasserrückhalt im ländlichen Raum hin.

Durch die Versickerung von Wasser würde eine ökologische Aufwertung der Feuchtgebiete erfolgen. Abbildung 25 zeigt die Ausbreitung einer Vernässung bei mittleren Zuständen im Ist-Zustand und bei einer Versickerung. Der Wasserhaushalt der Feuchtgebiete unterliegt einer saisonalen Dynamik, so dass mit häufigeren und längeren Nassphasen zu rechnen wäre.

Als Teil der Üfter Mark gehört die Region zu einem großen Naherholungsgebiet mit geschützten Heidelandschaften. Da zukünftig als Folge des Klimawandels mit einem anhaltenden Trend zu mehr Trockenphasen zu rechnen ist (z.B. DVGW 2022), ist mit einer weiteren Zuspitzung der Interessenskonflikte zu rechnen. In diesem Sinne bewirkt die Versickerung eine Stärkung der Klimaresilienz, die als weiterer Nutzen zu sehen ist.

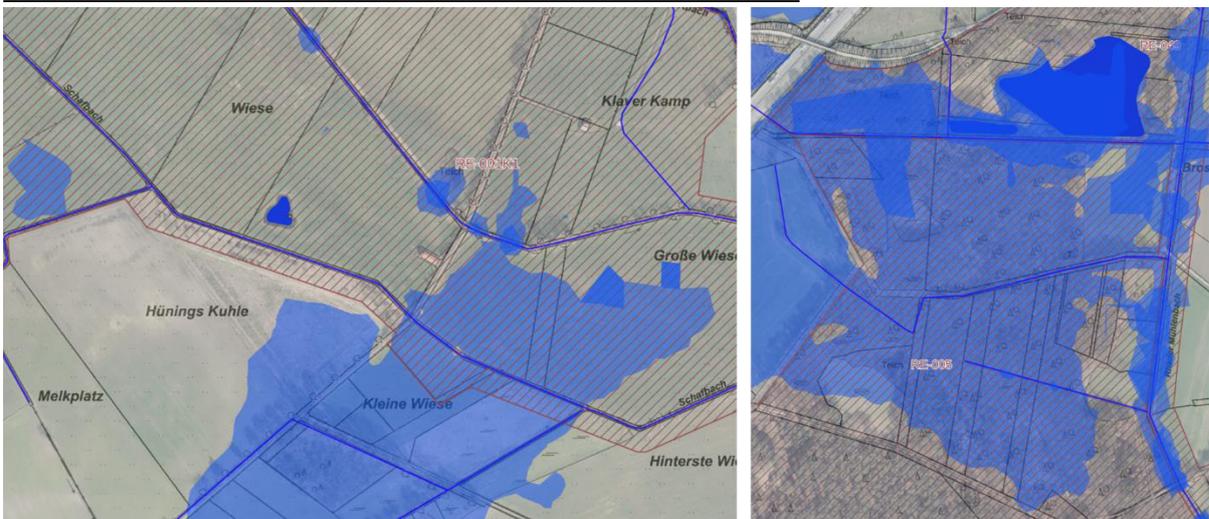


Abbildung 25: Zunahme der Vernässung Rhader Wiesen und Deutener Moor (helleres blau)

Der Nutzen für die Sicherung der Trinkwasserversorgung ist durch die jährliche Entnahmemenge an der Brunnengalerie Üfter Mark beschrieben. Diese beträgt gemäß bestehendem Wasserrecht 8.000.000 m³/ Jahr. Bei einem mittleren Wasserverbrauch von 127 L pro Kopf am Tag entspricht dies der Versorgung von rund 172.000 Einwohnern, z.B. der Einwohnerzahl der Ortschaften Dorsten, Schermbeck, Raesfeld und Gladbeck (77.000 Dorsten, 14.000 Schermbeck, 11.000 Raesfeld, 75.000 Gladbeck). RWW versorgt aus dem Wasserwerk Holsterhausen (Wasserfassungen Holsterhausen und Üfter Mark) insgesamt 350.000 Einwohner.

Der Nutzen einer Versickerung im Norden des Hammbachgebiets ist für die Begünstigten unterschiedlich zu bewerten. Eine naturwissenschaftlich-technische Ermittlung eines Begünstigungsanteils kann nicht durchgeführt werden. Insbesondere eine Ableitung von Anteilen aus dem Verbleib der 8 Mio. m³/a (z.B. Abstrom zu den Brunnen Üfter Mark, den NSG bzw. dem Hammbach/Rhader Mühlenbach) ist nicht zielführend. Lediglich die Ersparnis, die durch verminderte Pumpkosten am Pumpwerk Hammbach entsteht, kann einigermaßen zugewiesen werden.

Die Verrechnung der gewünschten (Wieder-) Vernässung von Feuchtgebieten gegen die auskömmliche Ertragsstruktur in der Landwirtschaft und dem nachhaltigen Betrieb der Trinkwassergewinnung ist nicht möglich.

Ohne eine Förderung der öffentlichen Hand ist die hier untersuchte Maßnahme nicht durchführbar. Eine Unterstützung wäre durch Mittel von kommunaler, Landes- oder Bundesebene bzw. auch von europäischer Ebene vorstellbar. Es müsste das Ziel sein, mit der

öffentlichen Förderung die Maßnahme so weitgehend zu tragen, dass die Anteile der in der Region betroffenen Haushalte und landwirtschaftlichen Betriebe eine tragbare Last ergeben.

10 Weitere mögliche Maßnahmen

In der Phase 1 des Projektes wurden bereits weitere Maßnahmen empfohlen, die für sich genommen nur eine gewisse Minderung der Wasserknappheit mit sich bringen. An allererster Stelle steht hier die Minimierung des Wasserverbrauchs sowohl der Bürger als auch in der Landwirtschaft (siehe Anhang 6.3 des Gesamtberichtes). Weitere Punkte können unter dem Stichwort „Wasser im Raum halten“ umschrieben werden. Hierzu gehören Regenwasserversickerung in der Bebauung, Retention von Drainage- und Regenwasser bzw. verzögerte Ableitung, die Einrichtung von Kulturstau zur Abflussverzögerung und die Minimierung der Verdunstung durch Waldumbau (Laubwälder statt Nadelwälder). Der letztgenannte Aspekt ist hierbei, aufgrund des größeren Waldanteils, am bedeutendsten. Eine verzögerte Ableitung von Oberflächenwasser kann durch gezielte Maßnahmen (Einstau Brosthausener Wiesenmoor (Kap. 11), aber auch durch Unterlassen von Pflegemaßnahmen an Gräben erfolgen, dort wo dies unschädlich möglich ist.

Letztlich muss aber auch eine Anpassung der Land- und Forstwirtschaft an die Bedingungen des Klimawandels erfolgen.

Auch bei Umsetzung der Versickerungsmaßnahmen sind die übrigen Maßnahmen nicht außer Acht zu lassen, da sie zu einer Minimierung der (energetischen) Aufwendungen beitragen.

11 Maßnahmenumsetzung Deutener Moor

Im vorausgegangenen, von der DBU geförderten, Projekt wurden provisorische dammartige Verschlüsse im Naturschutzgebiet (NSG) Deutener Moor eingerichtet und die Wasser- bzw. Grundwasserstandsentwicklung beobachtet. Im Projekt KlimaBeHageN wurden die gesammelten Erfahrungen in einen weitergehenden Einstau des Niedermoores umgesetzt.

11.1 Hydrologische Situation

Im Deutener Moor sind drei West-Ost verlaufende Grabensysteme vorhanden, die in den Rhader Mühlenbach (auch als Midlicher Mühlenbach bezeichnet) einmünden. Das Grabensystem im Deutener Moor ist in Abbildung 26 dargestellt.

Der südliche **Graben 1.20** „entspringt“ diffus im Deutener Moor, besitzt wie die übrigen Gräben ehemalige Einstauvorrichtungen und ist auf der gesamten Länge nur im Winter wasserführend. Der Abschnitt im Osten grenzt südlich an eine Grünlandfläche an (südlich des Grabens besteht eine Brache) und ist im Gelände kaum als Graben zu erkennen. Erst auf den letzten Metern weist er einen deutlichen Geländeeinschnitt auf.

Der **Graben 1.21** beginnt in einer landwirtschaftlichen Nutzfläche, unterquert einen Weg und verläuft südlich des Brosthausener Wiesenmoores durch das NSG Deutener Moor zum Rhader Mühlenbach. Er wird dort umgeben von Bruchwäldern, nur im Unterlauf grenzen Grünlandflächen an. Der o.g. Wegedurchlass ist nicht funktionstüchtig, d.h. verstopft oder zerstört. Hier kann nur bedingt Wasser in das NSG zufließen, so dass eine Beeinflussung der landwirtschaftlichen Nutzfläche bei einem Einstau ausgeschlossen ist. Im weiteren Verlauf ist der Graben 0,3 m bis 0,5 m tief in das Gelände eingeschnitten und 2 m bis 5 m breit. Erst im Unterlauf ist er deutlicher in das Gelände eingeschnitten.

Der **Graben 1.23** beginnt südlich des Feuerlöschteiches westlich der A31 und besitzt einen Durchlass unter der Autobahn. Beidseitig der Autobahn bestehen Einleitungen, für die wasserrechtliche Erlaubnisse vorliegen. Der Durchlass ist teilweise zusedimentiert. Auf der Ostseite der Autobahn verläuft der Graben am Nordrand des Brosthausener Wiesenmoores durch das Naturschutzgebiet Deutener Moor. Auch er ist nur gering im Gelände eingeschnitten, z.T. ist der Verlauf im Gelände nur diffus erkennbar. Auf der Südseite des Grabens ist eine Verwallung vorhanden, die lediglich am Westende des alten NSG Brosthausener Wiesenmoor eine Öffnung aufweist. Im Unterlauf auf der Höhe des Teiches ist er dann tiefer eingeschnitten. Südlich grenzt eine Grünlandfläche an.

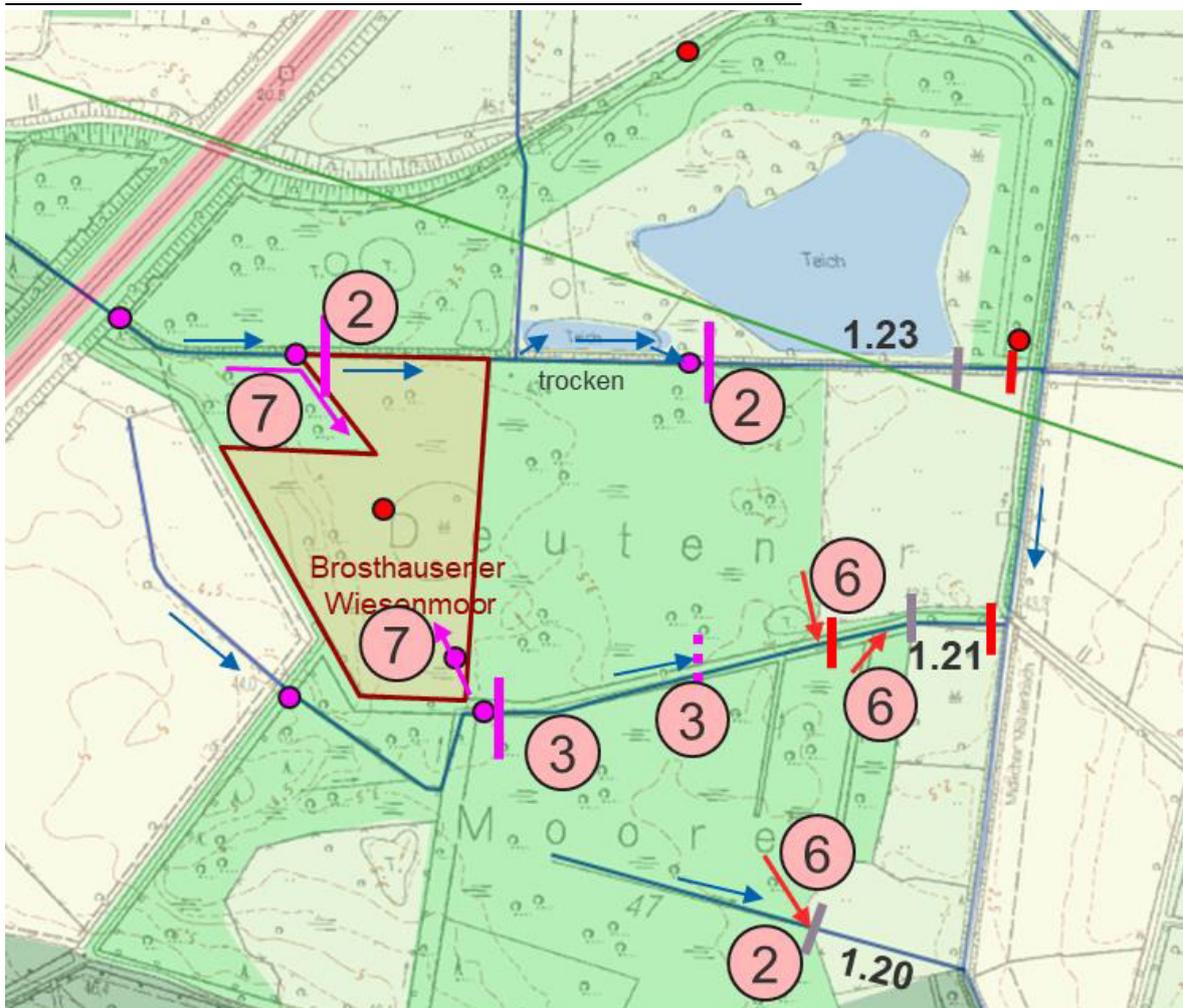


Abbildung 26: Hydrologische Situation und Maßnahmenkarte (2: Erneuerung der Rückhaltenrichtung durch einen Damm mit Überlauf, 3: dauerhafter dammartiger Verschluss des Grabens, 6: Verschluss seitlicher Zuläufe, 7: Grabeneinstau zum Brosthausener Wiesenmoor durch den Damm, rote und magentafarbene Punkte: Grundwasser- und Rammfilter-Messstellen)

Im Unterlauf der Gräben 1.21 und 1.23 bestehen Einstaueinrichtungen. Hier ist das Sohlgefälle relativ steil, so dass ihre Reichweite im Graben vergleichsweise gering ist. Die Schummerungskarte des Reliefs (Abbildung 27) zeigt zahlreiche Drainagegrabenstrukturen. Insbesondere eine nordwest-südost-gerichtete Struktur diagonal durch das Brosthausener Wiesenmoor ist im Bereich der von Gehölzen freigestellten Fläche im Gelände nur schwer erkennbar, im Gegensatz zum Bereich des Einlaufs in den Graben 1.21. Im Verlauf des

Grabens 1.21 sind weitere zulaufende Grabenstrukturen vorhanden, wie sie die Schummerungsdarstellung anzeigt.

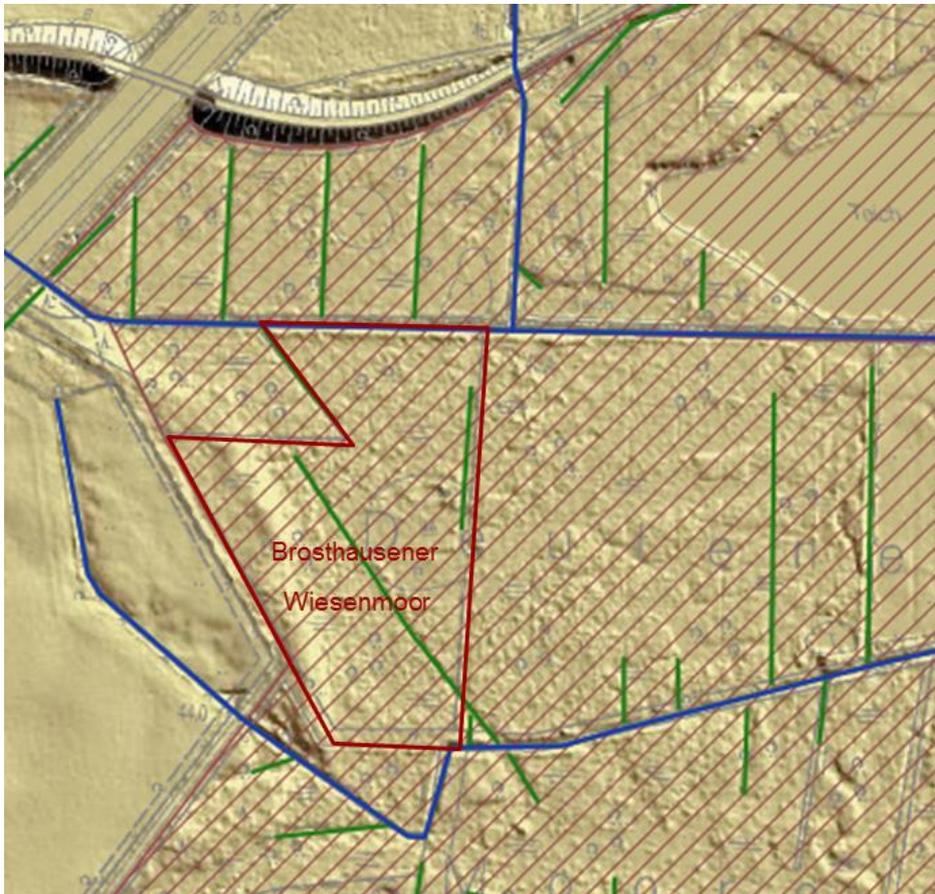


Abbildung 27: Schummerungskarte des Reliefs im Deutener Moor mit Hervorhebung der Drainagestrukturen (grün).

11.2 Maßnahmendetailplanung und bauliche Umsetzung

Ein temporärer Einstau durch provisorische Dämme wurde bereits in der 1. Projektphase (2018-2019) konzipiert, durchgeführt und durch Messungen begleitet. Auf der Basis der Ergebnisse wurden dauerhafte Maßnahmen geplant.

2020 wurde eine Detailplanung zum dauerhaften Verschluss der Entwässerungsgräben im Deutener Moor erstellt. Für die Umsetzung war eine Genehmigung der Unteren Wasserbehörde unter Beteiligung der Naturschutzbehörde, der Biologischen Station Kreis Recklinghausen, des Wasser- und Bodenverbandes sowie des Eigentümers (Regionalverband Ruhrgebiet RVR) erforderlich. Von letzteren Beiden wurde ein Einverständnis zur Umsetzung der Maßnahme eingeholt. Im Oktober 2020 erfolgte die

Genehmigung und Beauftragung der Baudurchführung. Vor der winterlichen Vernässung des Gebietes erfolgten dann die Baumaßnahmen.

Bei den Maßnahmen geht es vor allem um die Gräben 1.20, 1.21 und 1.23. Folgende Maßnahmen wurden geplant:

Nr. 2 Erneuerung des Aufstaus durch einen Damm mit Überlauf am Graben 1.23

Am **Graben 1.23** wurden dammartige Verschlüsse mit sandgefüllten Jutesäcken und ingenieurb biologischen Sicherungsmaßnahmen (Erlenstecklinge) über die gesamte Gewässerbreite gesetzt. Der Bau erfolgte, wird bei Nr. 3 beschrieben. Allerdings mussten gezielte Überlaufschwelle n vorgesehen werden (Abbildung 28 und Abbildung 29), da hier ein Abfluss der angeschlossenen Oberlieger gewährleistet werden muss. Zur Minimierung des Eingriffes in die Bestände des Quellgrases *Catabrosa aquatica* wurde die Eingriffsfläche so gering wie möglich gehalten. Der Aufstau am westlichen Damm (Abbildung 29) sollte so erfolgen, dass die Grabenstruktur nach Süden auf einige Meter mit Wasser gefüllt wird, d.h. die Überlaufschwelle wurde etwa 0,1 m bis 0,2 m höher gesetzt als bei dem bisherigen provisorischen Damm. Eine oberflächliche Überflutung des Moorbereiches ist nicht vorgesehen, um in Bezug auf die geochemischen Verhältnisse kein Risiko einzugehen. Die Überlaufschwelle n wurden mit veränderlichen Dammbalken ausgestattet. Auf der Abflussseite war eine Erosionssicherung, ebenfalls mit Sandsäcken erforderlich. Am östlichen Damm (Brücke) erfolgte ebenfalls der Bau mit veränderlichen Dammbalken und Sandsacksicherung (Abbildung 28). Allerdings mussten hier umfangreiche seitliche Sicherungen mit Sandsäcken vorgenommen werden, um eine Umströmung zu unterbinden. Die Zuwegung zu beiden Standorten ist durch das sumpfige Gelände erschwert. Die Maßnahmen konnten nur bei Trockenheit durchgeführt werden (Oktober/November 2020). Ein Antransport mittels leichtem Kettenfahrzeug (Abbildung 30) war zwingend erforderlich, so dass eine Trasse von Totholz und Brombeeren frei geräumt werden musste (keine Baustraße). Der Zugang zum westlichen Standort musste von Süden durch den Waldbestand erfolgen. Der östliche Standort wurde von Norden aus über eine Feuchtgrünlandbrache angefahren.

Am Waldrand des Grabens 1.20 waren Reste eines ehemaligen provisorischen Dammes vorhanden. Auch hier erfolgte ein dammartiger Verschluss auf der gesamten Graben- bzw. Muldenbreite durch Sandsäcke. Der Standort wurde von Osten über die landwirtschaftliche Nutzfläche angefahren. Die Reste der Altanlage wurden entsorgt.



Abbildung 28: Bau des Dammes mit Überlaufschwelle im Nordosten (Graben 1.23)



Abbildung 29: Fertiggestellter Damm mit Überlaufschwelle und Messstelle im Nordwesten (Graben 1.23)

Nr. 3 Dauerhafter dammartiger Verschluss des Grabens 1.21

Es waren zwei dammartige Verschlüsse mit sandgefüllten Jutesäcken und ingenieurb biologischen Sicherungsmaßnahmen über die gesamte Gewässerbreite zu setzen. Die Sicherungsmaßnahmen bestehen aus Schwarzerlentrieben im Abstand von 0,2 m bis 0,3 m, die bis zu einer Tiefe von 0,5 m eingeschlagen wurden (Abbildung 31). Am westlichen Standort war ein provisorischer Damm aus der ersten Projektphase vorhanden. Die künstlichen Materialien wurden entfernt, das Totholz verblieb im Graben. An beiden Dämmen ist keine Überlaufschwelle erforderlich, da der Graben von Westen keinen Zufluss hat. Die Einstauhöhe wurde so hoch gewählt, dass die grabenartige Struktur zum Brosthausener Wiesenmoor einige Meter eingestaut wird und entspricht in etwa der Höhe des bisherigen provisorischen Damms. Eine oberflächliche Überflutung des Moorbereiches war nicht vorgesehen, um in Bezug auf die geochemischen Verhältnisse kein Risiko einzugehen. Die seitlichen Sicherungen wurden soweit nötig durch Sandsäcke ersetzt. Die Zuwegung zu beiden Standorten war auch hier erschwert. Die Maßnahmen konnten nur bei Trockenheit durchgeführt werden (Oktober/November 2020). Ein Antransport mittels leichtem Kettenfahrzeug war zwingend (Abbildung 30), um bei den Moorböden keine Schäden zu verursachen. Auch hier wurde eine Trasse von Totholz und Brombeeren frei geräumt (keine Baustraße).



Abbildung 30: Bodenschonender Materialtransport im Moor



Abbildung 31: Damm im Südwesten (Graben 1.21) nach Fertigstellung

Nr. 6 Verschließen von Abläufen zu den Gräben

Im Gebiet sind an mehreren Stellen Abläufe (ca. 0,5 m breit) aus dem Gebiet in die Entwässerungsgräben vorhanden, deren Verschluss sinnvoll war. Hier erfolgte in Handarbeit ein Verschluss mit umliegendem Bodenmaterial bzw. sandgefüllten Jutesäcken (Abbildung 32) im Oktober/November 2020. Der Antransport des Materials erfolgte über die landwirtschaftliche Nutzfläche. Innerhalb des Waldbereiches wurde das Material händisch zum jeweiligen Standort gebracht. Im Winter, bei hohem Wasserstand, wurden Nacharbeiten durch zuvor bereit gestellte Sandsäcke vorgenommen.

Die bisher vorhandenen Staueinrichtungen werden von der Biologischen Station betrieben und wurden während der Versuchsdurchführung nicht verändert.

Im Winter 2020/21 und 2021/22 erfolgte eine regelmäßige Kontrolle der Dämme, Umläufigkeiten wurden über zusätzliche Maßnahmen händisch behoben.



Abbildung 32: Sandsackdamm an einem Seitengraben des Grabens 1:21 (rechts) und Sandsacklager für spätere Ausbesserungen

11.3 Grundwassermonitoring

An den in der Abbildung 26 gekennzeichneten Standorten (rote und magentafarbene Punkte) erfolgte eine Messwerterfassung über die Dauer des Projektes mit Funkloggern, wie in der 1. Projektphase. Darüber hinaus erfolgten regelmäßige Ortsbegehungen zur Dokumentation der Nässeverhältnisse im Gebiet und ggfs. zur Reparatur von Schäden (z.B. durch Wildschweine).

Die Dämme wurden Ende November 2020 fertiggestellt. Im Graben 1.23 war zu dieser Zeit bereits ein Abfluss vorhanden, so dass es unmittelbar nach Fertigstellung des jeweiligen Dammes zu einem Einstau kam (Abbildung 33). Die Gräben 1.21 und 1.20 waren zu diesem Zeitpunkt trocken bzw. die Grabensohle war nur nass. Der Einstau erfolgte dort erst im Verlauf des Winters (Abbildung 34). Im weiteren Verlauf des Einstaus waren bei den regelmäßigen Kontrollen nur wenige Nacharbeiten erforderlich. Die Sandsackdämme waren stabil und in ihrer Breite ausreichend, so dass Umläufigkeiten nur in wenigen Ausnahmen auftraten. Lediglich Wildschweinwühltätigkeiten mussten ausgebessert werden. Während

des Winters 2020/21 wurde an dem nördlichen Graben 1.23 die Balkenhöhe verändert, bis ein optimales Aufstauergebnis eintrat.

Abbildung 33 zeigt die Wasserstandsentwicklung im Aufstaubereich vor den Dämmen in der Startphase des Einstaus im November/Dezember 2020. Am Pegel vor den Dämmen West und Ost (Graben 1.23) ist ein Einstau von zunächst 0,2 m (Damm West) bzw. 0,3 m (Damm Ost) erkennbar. Das Niveau der Überlaufschwelle wird am Damm Ost Mitte Dezember erreicht. Am Damm West erreicht der Wasserspiegel die Überlaufschwelle im Dezember noch nicht. Der Damm am Graben 1.21 (Damm Süd) reagiert erst nach Niederschlagsereignissen und staut erst ab Dezember 2020 ein (Abbildung 34). Die Überlaufhöhe wird nicht erreicht.

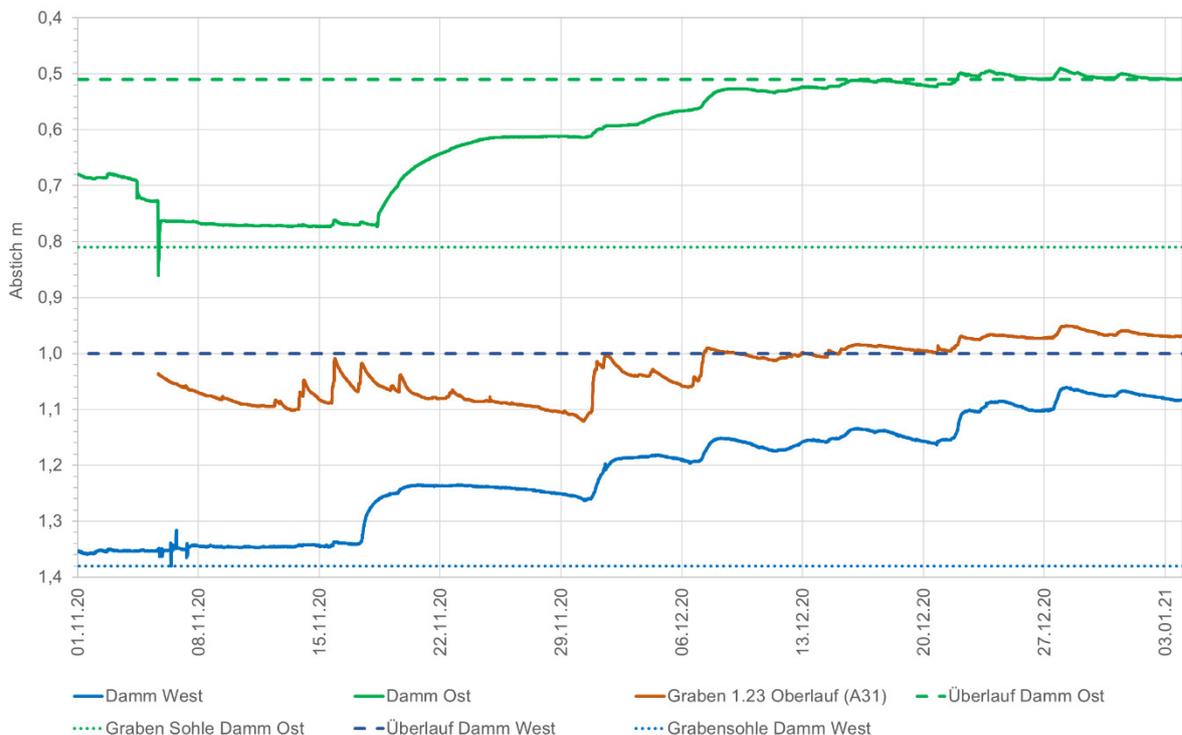


Abbildung 33: Startphase des Einstaus November/Dezember 2020, Graben 1.23

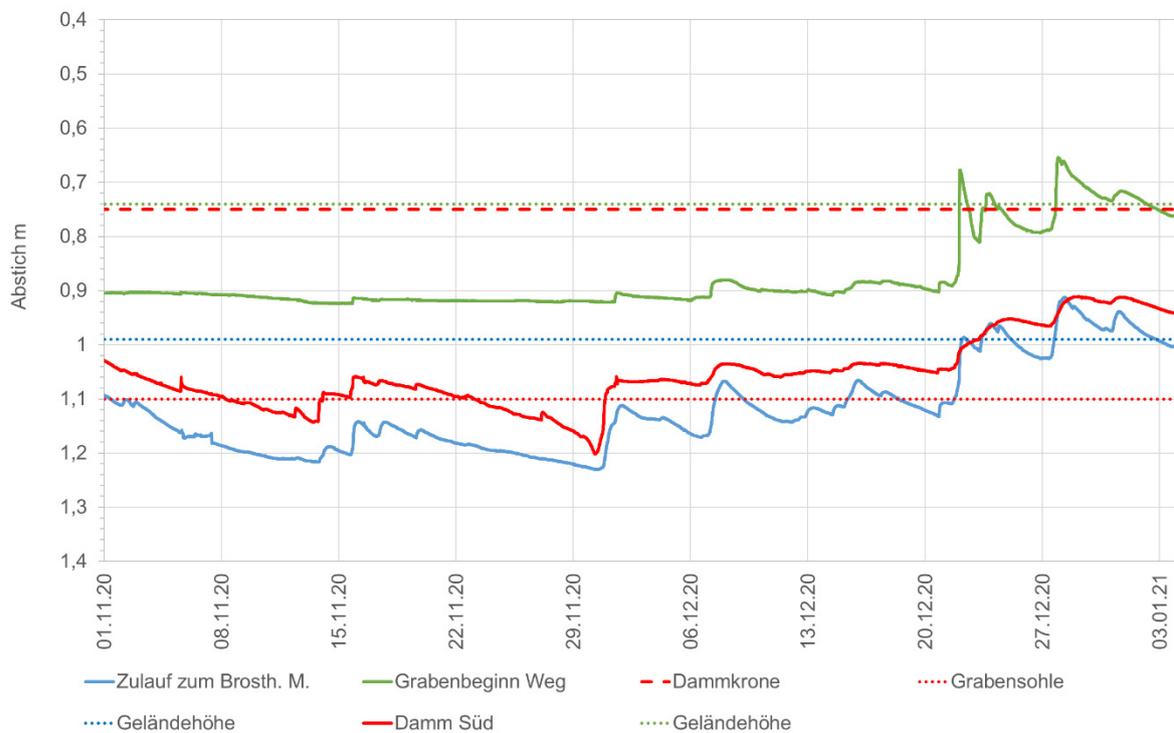


Abbildung 34: Startphase des Einstaus November/Dezember 2020, Graben 1.21

Abbildung 35 und Abbildung 36 zeigen die Wasser- bzw. Grundwasserstandsentwicklung im Bereich der Gräben von November 2020 bis Juli 2021. Am Graben 1.23 erreicht der Damm Ost bis Juni 2021 die Überlaufhöhe. Mitte Januar 2021 wurde ein weiterer Balken aufgelegt, auch die dadurch erzeugte Aufstauhöhe von ca. 0,35 m konnte gehalten werden. Dies gelang am Damm West nicht. Ein zwischenzeitlich aufgelegter Dammbalken wurde wieder entfernt, zumal eine massive Umströmung auf der Nordseite drohte. Auch das tiefere Niveau wurde beim Aufstau im Winter nicht erreicht. Dennoch reichte der Aufstau um die nach Südosten anschließende Mulde zum Brosthausener Wiesenmoor auf bis zu 20 m Länge einzustauen. Der Betrag des Aufstaus in Bezug zur Grabensohle betrug auch hier ca. 0,35 m. Der nördlich gelegene Bruchwald wurde durch die Maßnahme vernässt und das Wasser suchte sich hier den Weg durch den Wald, so dass der Dammbalken nicht bis zur Überlaufhöhe eingestaut wurde.

Graben 1.21 ist am Damm Süd ab Anfang Dezember 2020 wasserführend, erst Mitte Januar erreicht er ein stabiles Niveau von ca. 0,2 m Wassertiefe. Mit der Hitzeperiode Anfang August 2020 fallen die Wasserstände rapide ab, ohne dass der Graben austrocknet. Die Sommerniederschläge lassen anschließend die Wasserstände wieder mehrfach sprunghaft ansteigen (Abbildung 36). Ähnlich sieht es auch am Beginn des Grabens aus, wobei er dort

vor Mitte Dezember 2020 und ab Juni 2021 trockenfällt. Die maximalen Wasserstände verbleiben am Damm Süd ebenso wie am Damm Südost etwa 0,15 m unterhalb der Dammkrone. Der Einstau durch den Damm bzw. die Anhebung des Grundwasserspiegels beträgt ca. 0,2 m. Der Einstau reicht deutlich (bis zu knapp 20 m) in die Muldenstruktur Richtung Brosthausener Wiesenmoor nach Nordwesten (Ganglinie „Zulauf zum Brosth. Moor“).

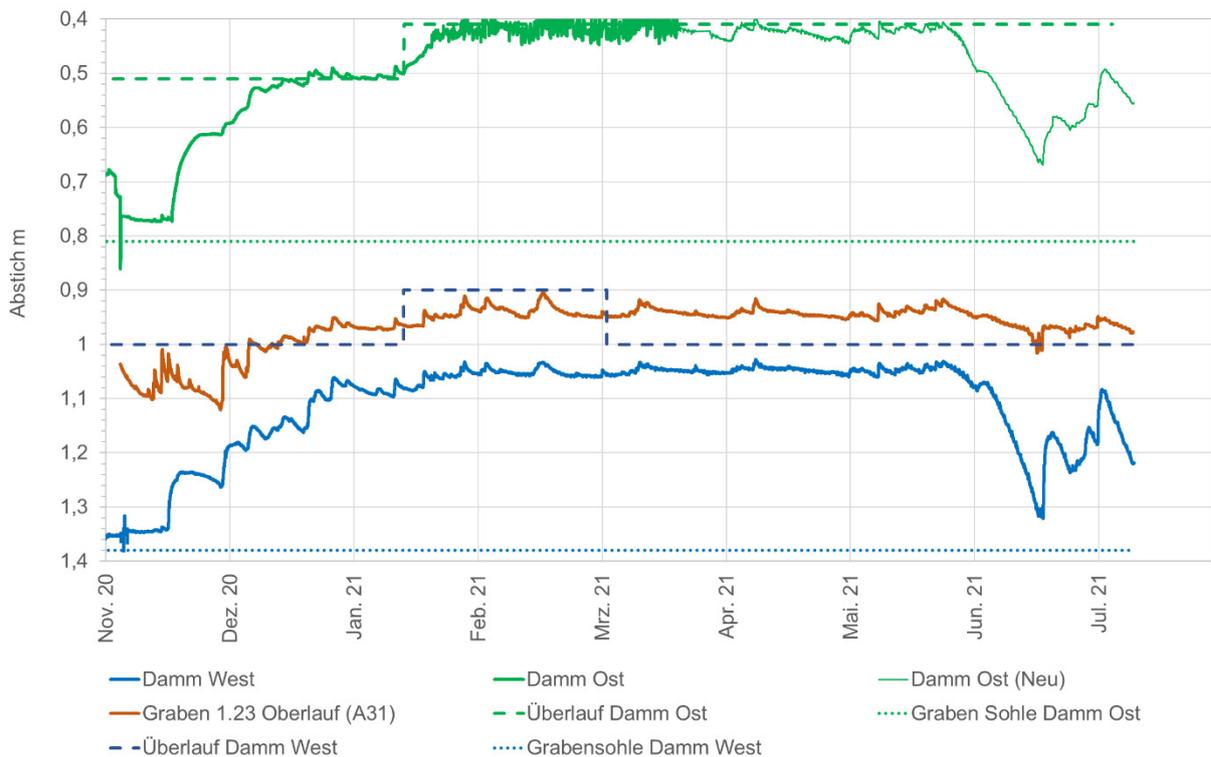


Abbildung 35: Ganglinien Graben 1.23 November 2020 bis Juli 2021

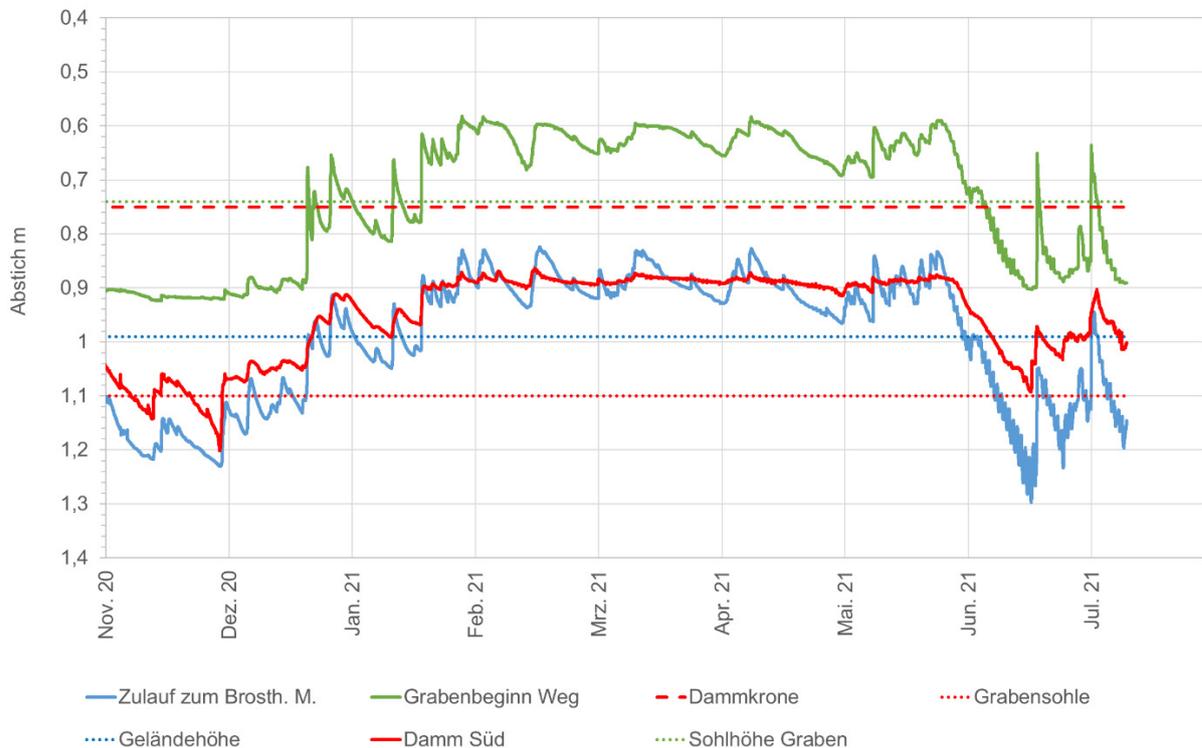


Abbildung 36: Ganglinien Graben 1.21 November 2020 bis Juli 2021

Nachdem der Grundwasserstand die Geländehöhe unterschreitet, ist ab Juni ein deutlicher Tagesgang mit niedrigen Wasserständen am Nachmittag und hohen Wasserständen nach Sonnenaufgang erkennbar. Offensichtlich verdunstet tagsüber bei Sonneneinstrahlung mehr Wasser als aus dem Grundwasserleiter nachströmt und nachts gleicht sich dies durch die geringere Verdunstung wieder aus. Diese Tagesschwankungen können bis zu 0,07 m ausmachen (Abbildung 38 unten).

Abbildung 37 zeigt die Flurabstände (Nässesituation) bei hohen Grundwasserständen im Deutener Moor. Die Nässesituation wurde abgeleitet aus der Höhenlage der Wasserflächen und den Flurabständen an den Messstellen. Weite Teile des Gebietes sind unter Wasser bzw. sumpfig. Flurabstände von über 0,25 m treten vor allem im Süden auf. Die Dämme führen zu einem vollständigen Einstau der Gräben über ihre gesamte Länge. Am Graben 1.23 sind alle Überlaufschwelle aktiv, im Graben 1.21 die drei Wehre im Osten. Der Graben 1.21 ist durchgehend sumpfig. In Abbildung 38 sind die Flurabstände an der GWM 934 auf der nassen Wiesenbrache des Brosthausener Wiesenmoores seit Frühjahr 2018 dargestellt. Die Grundwasserstände in den einzelnen Jahren unterscheiden sich vor allem darin, wie lange die Flurabstände im Sommer über 0,5 m liegen und wie lange die Wasserstände im Winter über Gelände liegen. Die Länge der sommerlichen Trockenphase nimmt von 2019

bis 2021 deutlich ab. 2019 waren es ca. 3 Monate und 2020 2 Monate. 2021 wurde ein Flurabstand von $>0,5$ m nur sehr kurzzeitig erreicht. Nach dem „Normaljahr“ 2021 kommt es im Jahr 2022 zu einer Frühjahrs- und Sommerdürre, die zu einer langanhaltenden Periode hoher Flurabstände geführt hat. Auch an anderen Messstellen im Umfeld wurden 2022 die tiefsten Grundwasserstände bzw. die langanhaltendste Trockenheit gemessen.

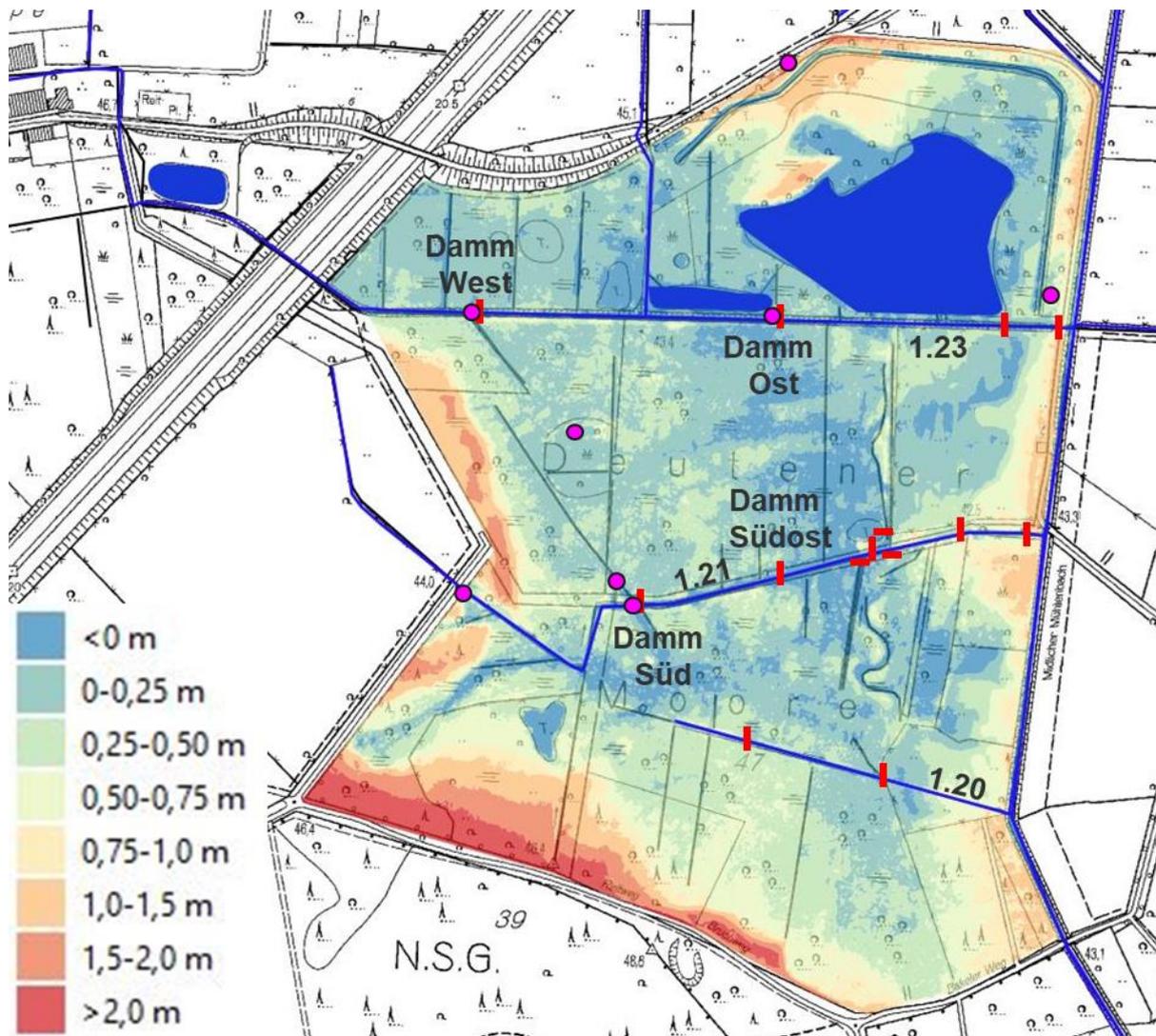


Abbildung 37: Nässesituation im März 2021 (rot: Stau-einrichtungen, magenta: Messstellen)

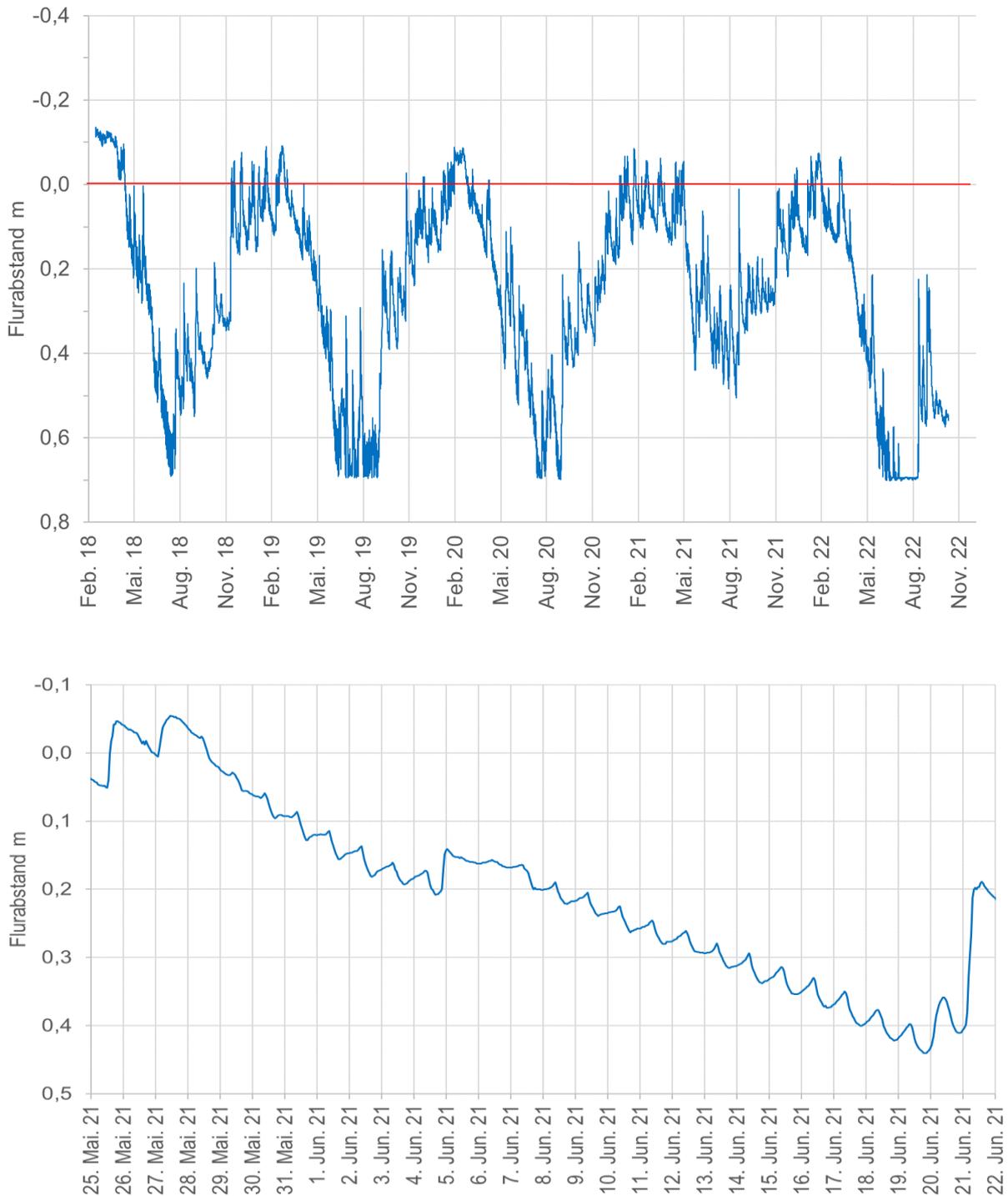


Abbildung 38: Flurabstände im Brosthausener Wiesenmoor 2018 bis 2022 (oben) und Tagesgang Mai/Juni 2021 (unten) (RWW GWM 934, nasse Wiesenbrache)

Die Situation in der Vegetationsperiode ist sehr stark von den Frühjahrs- und Sommerniederschlägen abhängig. Auch hier ist, wie bei der Ganglinie „Zulauf zum Brosth. Moor“, ein deutlicher Tagesgang von bis zu 0,04 m erkennbar. Die unterschiedlichen

klimatischen Situationen überprägen deutlich den Erfolg durch den Einstau der Entwässerungsgräben. Sprunghafte Ereignisse durch die Stauwirkung sind nicht erkennbar. Da jedoch nördlich und südlich des Brosthausener Wiesenmoores ein Grundwasseranstieg von 0,4 m (Norden) bzw. 0,2 m (im Süden) durch den Einstau insbesondere im Frühjahr verursacht wird, ist naheliegend, dass auch im Bereich dazwischen die Flurabstände in dieser Phase verringert werden. Allerdings können die Dämme die Effekte einer Frühjahrstrockenheit nicht auffangen, was die Messdaten im trockenen Frühjahr und Sommer belegen (Abbildung 39 und Abbildung 40).

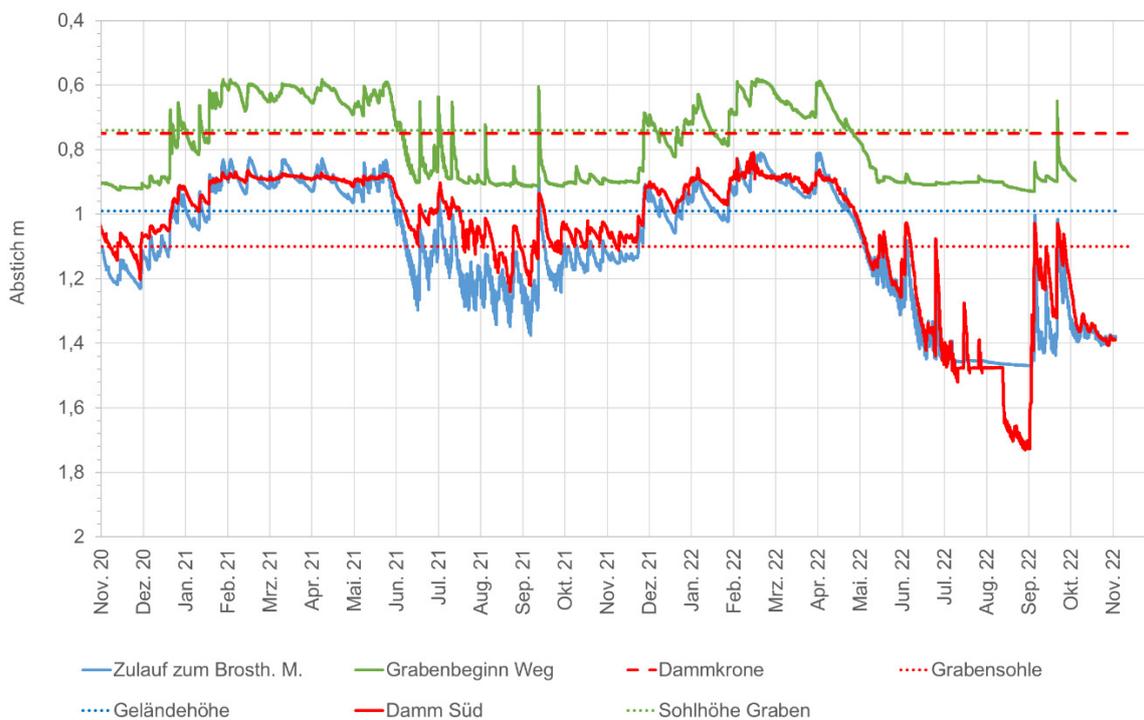


Abbildung 39: Ganglinien Graben 1.21 („Normaljahr“ 2021 und Trockenjahr 2022)



Abbildung 40: Ganglinien Graben 1.23 („Normaljahr“ 2021 und Trockenjahr 2022)

11.4 Weitergehende Maßnahmenvorschläge

11.4.1 Reduzierung Bestockungsgrad

Die im Vorgängerprojekt empfohlene Reduzierung des Bestockungsgrades im Deutener Moor konnte in der Projektlaufzeit nicht umgesetzt werden. Ist aber weiterhin zwischen Biologischer Station Recklinghausen und dem Eigentümer der Flächen (Regionalverband Ruhrgebiet) beabsichtigt. Die Reduzierung des Gehölzanteils führt zur Verringerung der sommerlichen Verdunstung, so dass die Grundwasserzehrung in Trockenmonaten geringer ausfällt und der Grundwasserstand weniger stark absinkt.

11.4.2 Einleitung Schafsbach

Die im Vorgängerprojekt erarbeitete Einleitung in den Schafsbach (Naturschutzgebiet Rhader Wiesen) wurde mit den zuständigen Behörden diskutiert und von diesen aus Naturschutzsicht als nicht erforderlich eingestuft. Daher wurden hierzu keine weiteren Planungen durchgeführt.

11.4.3 Versickerung am Westrand des Deutener Moores

Der im Vorgängerprojekt erarbeitete Vorschlag für eine Rigolenversickerung im unmittelbaren Grundwasseranstrom des Deutener Moores wurde wegen der Bedenken in Bezug auf die hydrochemischen Auswirkungen auf die Kennarten des Kalkflachmoores in Abstimmung mit der Unteren Wasser- und Naturschutzbehörde nicht weiterverfolgt.

Im Zuge der Versickerung von Wasser zur Verbesserung der Wasserbilanz (Kap. 5.2), kommt es zu großflächigen Flurabstandsverringerungen, die auch das Deutener Moor und den Schafsbach betreffen (Kap. 0).

12 Entscheidungshilfetool

Die Unterstützung bei der Entscheidungshilfe soll einen Mehrwert für die Praxis erbringen. Für die Genehmigungsbehörden sind im Falle von Wasserrechtsanträgen verschiedene Prüfschritte durchzuführen, bei denen auch die Gesamtsituation im Grundwasserkörper eine Rolle spielt. I.d.R. muss der Antragsteller ein Gutachten bereitstellen, dass die Verträglichkeit der beantragten Entnahme nachweist. Diese gutachterliche Aussage wird von der Genehmigungsbehörde und ggfs. vom Geologischen Dienst geprüft. Grundlage sind auch hier behördlich verfügbare Daten zum Grundwasserkörper bzw. der Grundwassersituation. Aus der Grundwassermodellbearbeitung im Projekt KlimaBeHageN können der Genehmigungsbehörde für den untersuchten Raum wichtige Erkenntnisse und Daten zur Verfügung gestellt werden, die der zukünftigen Entscheidungsfindung dienen. Als Entscheidungshilfe sind für die Behörden nach Möglichkeit Sachdaten im GIS-Format von großer Bedeutung. Im Rahmen des Projektes wurden den Behörden (BezReg Münster und Kreis Recklinghausen) Grundwassergleichen und weitere Daten zur Abgrenzung von Einzugsgebieten bei Anträgen von Wasserrechten zur Verfügung gestellt.

Im Vorgängerprojekt wurde eine Ampelkarte für das Einzugsgebiet der Trinkwasserentnahmen von RWW und dem unterirdischen Einzugsgebiet des Hammbachs erarbeitet. Darin sind die Teileinzugsgebiete ausgewiesen, in denen bilanztechnisch weitere Grundwasserentnahmen möglich bzw. nicht möglich sind. Diese Einstufung dient den Behörden als Entscheidungshilfe bei Anfragen zu Wasserrechten. Die GIS-Daten zur Ampelkarte wurden den Behörden im Rahmen des Projektes ebenfalls zur Verfügung gestellt (Abbildung 41).

Grundsätzlich ist es in diesem Zusammenhang erforderlich, die Wasserrechte und die tatsächlichen Entnahmen regelmäßig zu aktualisieren bzw. zu kennen. Allerdings ist dies eine Daueraufgabe der Behörde, bei der ein zeitlich befristetes Projekt keine adäquate Unterstützung leisten kann. Das Werkzeug für diese Aufgabe ist das digitale Wasserbuch, was behördlich gepflegt wird. In Abstimmung mit der Unteren und Höheren Wasserbehörde wurde im Rahmen des Projektes eine einmalige Aktualisierung der Angaben aus dem digitalen Wasserbuch und dem Datenbestand im Grundwassermodell vorgenommen. Darüber hinaus sind auch aktuelle Schätzungen der erlaubnisfreien Entnahmen zur Versorgung der Tiere in der Viehhaltung und der durch landwirtschaftliche Dränagen entnommenen Mengen sinnvoll. Ziel ist eine Aktualisierung der Wasserbilanz für das Einzugsgebiet.

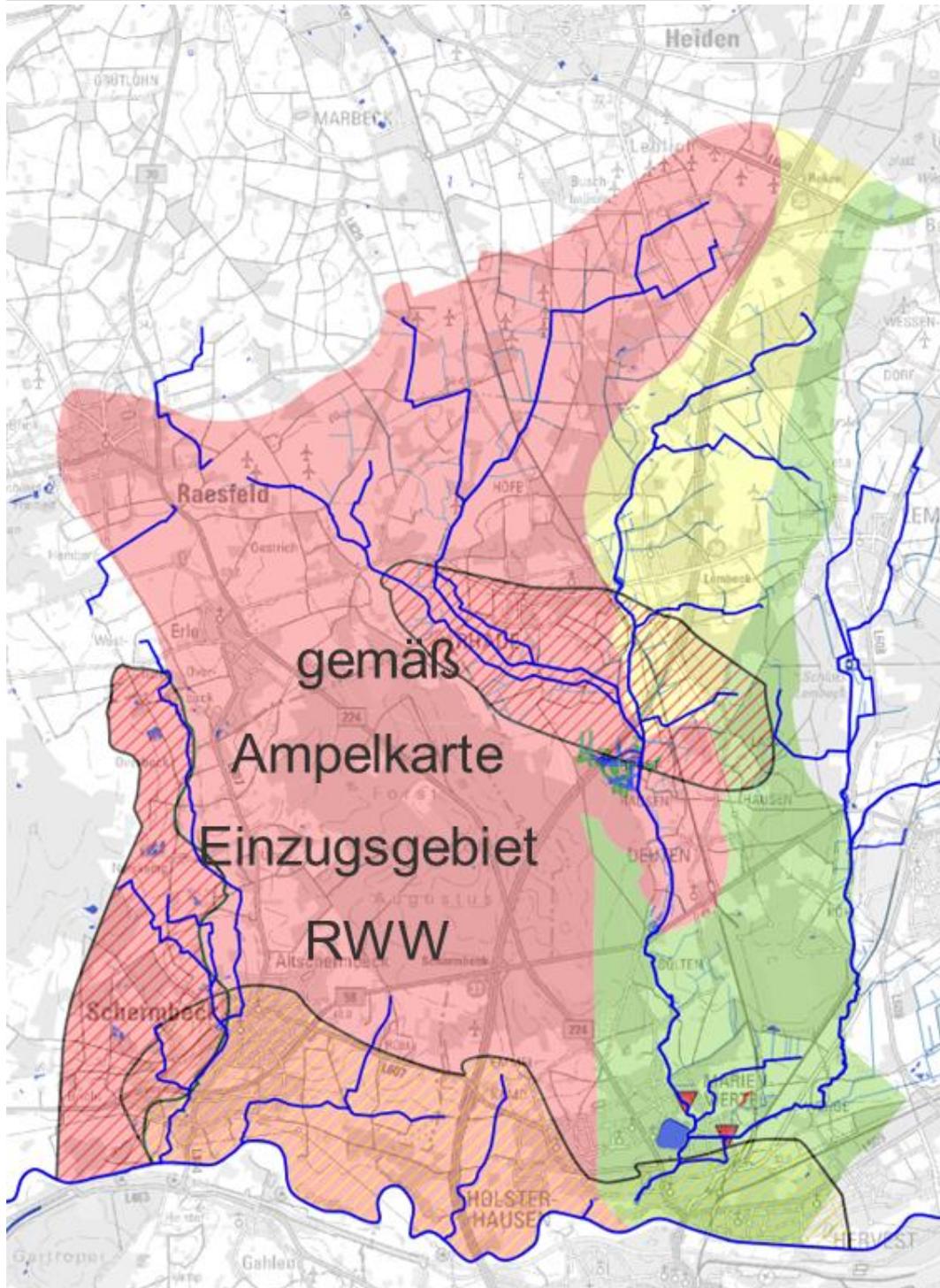


Abbildung 41: Ampelkarte als Entscheidungshilfe für die Behörden

Die Wasserrechte aus dem Datenbestand des Kreises Recklinghausen haben sich im Vergleich zu 2018 nicht geändert. 14 Wasserrechte mit Entnahmen von in Summe 359.840 m³/a sind abgelaufen, ein Wasserrecht für die Versickerung von 668.563 m³/a ist ebenfalls abgelaufen. Die Wasserrechte werden jedoch weiterhin aufgeführt, da die Eigentümer noch nicht darauf hingewiesen wurden, dass die Rechte abgelaufen sind. Die Behörde geht daher davon aus, dass die Wasserrechte weiterhin genutzt werden.

Im Wasserbuch, das von der Bezirksregierung Münster gepflegt wird, sind 16 Wasserrechte mit in Summe 438.300 m³/a weggefallen (1 davon: Speisung in Teiche mit 135.000 m³/a). 21 Wasserrechte mit einer Summe von 144.384 m³/a wurden neu vergeben. Dem Grundwasserleiter stehen demnach rund 294.000 m³/a mehr Grundwasser zur Verfügung als 2018. 14 dieser neuen Wasserrechte mit in Summe 113.800 m³/a befinden sich im Einzugsgebiet der Fließgewässer, sieben neue Wasserrechte im Einzugsgebiet der Brunnenanlagen mit in Summe 30.584 m³/a.

Die 16 entfallenen Wasserrechte im Gesamtgebiet liegen im roten Bereich der Ampelkarte (Bearbeitung 2018, Abbildung 41). Die neu hinzugekommenen Wasserrechte befinden sich im roten (8) und zum größten Teil im grünen Bereich (13). Da die neuen Wasserrechte insgesamt weniger Grundwasser entnehmen als die weggefallenen, entsteht keine Verschlechterung der Situation. Im roten Bereich der Ampelkarte verbessert sich die Situation. Im Wasserbuch werden 15 Wasserrechte mit einer Summe von 149.600 m³/a weiterhin aufgeführt, die abgelaufen sind.

Die tatsächliche Grundwasserentnahme kann von dem Wasserrecht abweichen, diese wird jedoch nicht erfasst und kann somit zur Beurteilung des Wasserdargebots nicht herangezogen werden. Unter Berücksichtigung der abgelaufenen Wasserrechte (des Kreises und der Bezirksregierung) verringert sich das zur Verfügung stehende Wasservolumen um rund 9.500 m³/a (da ein Wasserrecht zur Versickerung abgelaufen ist und dieses in etwa der Summe der abgelaufenen Wasserrechte zur Entnahme entspricht).

Neben den Wasserrechten besteht in kleineren und mittleren Betrieben in der Landwirtschaft die Möglichkeit, Grundwasser zum Tränken der Tiere und zur Stallreinigung erlaubnisfrei zu nutzen. Im Vorgängerprojekt wurde diese Wassermenge auf Basis des Bedarfs bei der Tierhaltung und dem durchschnittlichen Viehbesatz im Projektgebiet ermittelt. Da die Grundlagen unverändert sind, bleibt der Bedarf von 445.000 m³/a bestehen, 1/3 dieser Entnahmen sind über Wasserrechte abgedeckt.

Das Grundwasserdargebot im Projektgebiet ist mit 27,80 Mio. m³/a ebenso wie die Speisung und Entnahmen der Fließgewässer unverändert geblieben. Die Wasserrechte betragen 2022 in Summe 26,66 Mio. m³/a (25 Mio. m³/a RWW für die Trinkwassergewinnungsanlagen

Holsterhausen und Üfter Mark und 1,66 Mio. m³/a für Dritte). Unter Berücksichtigung der Vorfluter ergibt sich eine Entnahme von 27,2 m³/a. Somit liegt das Dargebot um 620.000 m³/a über den Entnahmen (Abbildung 42). Werden die erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen in Höhe von rund 275.000 m³/a ebenfalls berücksichtigt, liegt das Dargebot nur noch 345.000 m³/a über den Entnahmen.

Die abgelaufenen Wasserrechte beeinflussen diese Berechnung aktuell nicht, da sich die Wasserrechte zur Entnahme und Versickerung gegenseitig aufheben.

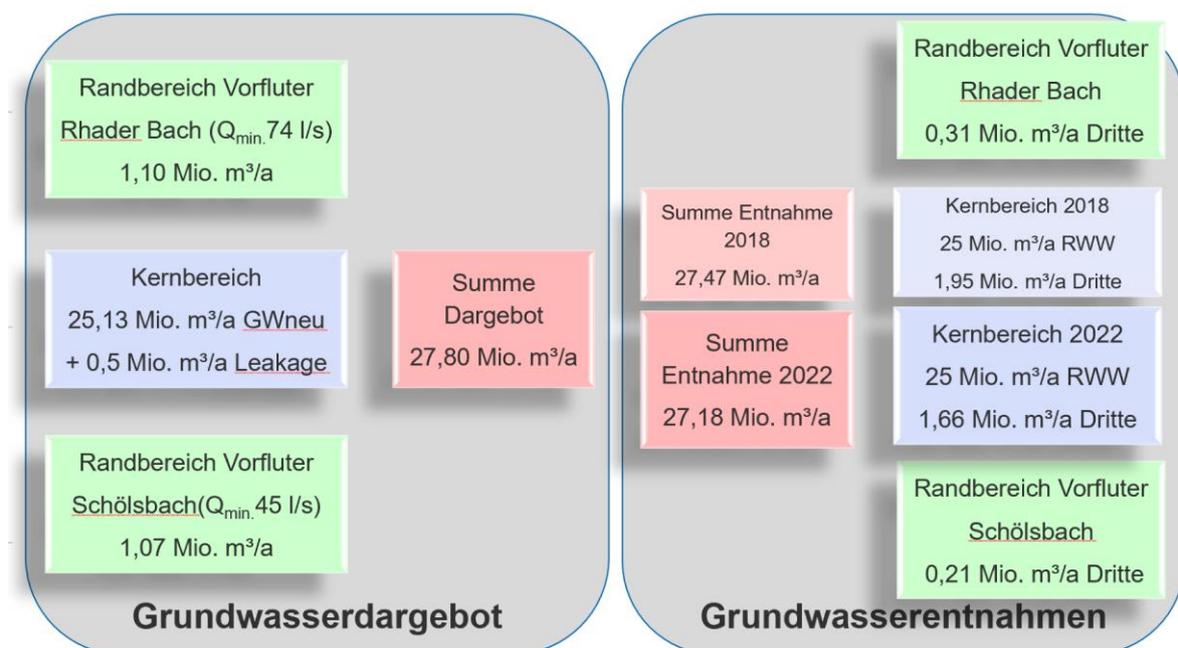


Abbildung 42: Wasserbilanz im Projektgebiet, Vergleich 2018 und 2022.

Um die aktuelle Situation der Entnahmen aus dem Grundwasserleiter abzubilden, sind die tatsächlichen Entnahmen aussagekräftiger als die genehmigten Wasserrechte.

Für das Wassermanagement (Bilanz) in dem bearbeiteten Gebiet müssen die tatsächlichen Entnahmen mit höherer zeitlicher Auflösung systematisch erfasst werden. Wir empfehlen die Entwicklung eines online-Tools zur Erfassung der tatsächlichen Entnahme aus dem Grundwasserleiter, dieses könnte für das gesamte Kreisgebiet angewendet werden. Die erfassten Werte könnten mit dem Wasserbuch abgeglichen werden. Auch über die abgelaufenen Wasserrechte würde die Behörde so den Überblick behalten. Aktuell werden die abgelaufenen Wasserrechte erst gelöscht, wenn die Besitzer darauf hingewiesen wurden, dass kein Wasser mehr entnommen werden darf.

13 Fazit

Die Versickerung von Wasser aus dem Blauen See ist die einzige wirksame Maßnahme zur Vergrößerung des nutzbaren Wasserdargebots im untersuchten Teil-Grundwasserkörper. Alle anderen zuvor in Betracht gezogenen Maßnahmen (Regenwasserversickerung von Gebäuden, Waldumwandlung hin zu Laubwäldern zur Erhöhung der Grundwasserneubildung, Verschließen von Dränagen und Gräben zum Rückhalt von Wasser) sind für sich genommen sinnvoll, können aber nur flankierend wirken. Die zur Erhöhung des Dargebotes notwendigen Versickerungsanlagen sind technisch umsetzbar und ökologisch verträglich. Eine Genehmigungsfähigkeit scheint dadurch gegeben, dass in anderen Regionen Deutschlands ein derartiges Vorgehen bereits praktiziert wird. Ein Grundwassermanagement, d.h. eine an den Bedarf angepasste Steuerung der Versickerung und ein Abgleich mit den Grundwasserständen in sensiblen Bereichen, ermöglicht eine Minimierung der Umweltauswirkungen. Der Nutzen wird als sehr hoch bewertet, da die Landwirtschaft in Anbetracht der Auswirkungen des Klimawandels zukünftig von der Verfügbarkeit von Wasser abhängen könnte. Die Kosten sind hoch und nicht kurzfristig über die landwirtschaftlichen Erträge zu erbringen. Die Wasserbeschaffenheit des Wassers aus dem Blauen See ist nach den derzeit ermittelten Daten für eine Versickerung geeignet, allerdings ist die zukünftige Entwicklung der gesetzlichen Bewertung bezüglich der gefundenen Spurenstoffe nicht absehbar.

Die Arbeiten konnten inhaltlich und fristgerecht gemäß des Arbeitsprogramms durchgeführt werden. Insbesondere die Maßnahmenumsetzung konnte dank der Mitwirkung aller Beteiligten mit wenig administrativem Aufwand und zügig erfolgen. Damit konnten die Arbeiten, im ebenfalls von der DBU geförderten Vorgängerprojekt, fortgeführt werden.

Nur unter Einbeziehung aller Akteure im Raum sind die wasserwirtschaftlichen Probleme lösbar. Das bedeutet aber auch, dass sich alle Akteure aufeinander zu bewegen müssen, um eine faire Lösung zu erzielen.

Essen, den 20. Januar 2023

ppa.



Dr. Johannes Meßer

i. V.



Dr. Florian Werner

14 Literatur

Delta h (2022): Version 6 des Programms SPRING. Simulation of Processes in Groundwater. Ein Produkt der delta h Ingenieurgesellschaft mbH. www.spring.delta-h.de

DVGW (2022): Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot Deutschlands
Überblick zu aktuellen Ergebnissen der deutschen Klimaforschung

DVGW (2015): DVGW-Information WASSER Nr. 54 April 2015. Arzneimittelrückstände im
Wasserkreislauf; eine Bewertung aus Sicht der Trinkwasserversorgung

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des
Landes NRW (2015): Bewirtschaftungsplan 2016-2021 (Teil Grundwasser) für die
nordrheinwestfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas; Düsseldorf.

Radler, N. (2022): Untersuchung der Wasserhaushaltsgrößen im Einzugsgebiet des
Hambachs bei Dorsten vor dem Hintergrund einer Wassermangelsituation und der
bilanztreuen Grundwassermodellierung. Masterarbeit an der Universität Kassel,
Fachgebiet für Hydrologie und Stoffhaushalt, Fachbereich Bauingenieur- und
Umweltingenieurwesen.



Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW:
Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft,
Landschaft & Wasserversorgung (KlimaBeHageN)

**Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung
und Berücksichtigung sozioökologischer Aspekte**

Projektlaufzeit: 01.06.2020 – 28.02.2023

Erstellt von:

Michael Hesse

Mitarbeit von:

Axel Vorwald

Tim Bergmann

Universität Kassel (UK)

Fachgebiet Agrartechnik

Witzenhausen, 27.01.2023

Inhalt

1	Kurzfassung des Berichtes	1
1.1	Vorgehensweise und Datengrundlage	1
1.2	Prognosen für zukünftigen Bewässerungsbedarf und Handlungsempfehlungen	2
1.3	Sozioökologische Systeme	2
2	Einleitung	5
2.1	Einführung in das Projekt KlimaBeHageN	6
3	Stand der Wissenschaft	9
3.1	Bewässerungstechnik	9
3.1.1	Mobile Beregnungstechnik	11
3.1.2	Teilmobile und stationäre Beregnungstechnik	14
3.1.3	Reihenregnerverfahren	16
3.1.4	Mikrobewässerung	17
3.2	Bewässerungssteuerung	21
3.2.1	Klimatische Wasserbilanz	22
3.2.2	Geisenheimer Methode	24
3.2.3	Bodenfeuchtesensoren	26
3.2.4	Aktuelle Praxis und Ausblick Bewässerungssteuerung	29
3.3	Bewässerungsbedürftigkeit und -würdigkeit von landwirtschaftlichen Kulturen	31
4	Material und Methoden	33
4.1	Projektregion Dorsten/Haltern	33
4.1.1	Standortverhältnisse in der Projektregion	33
4.1.2	Landwirtschaftliche Bodennutzung im Projektgebiet	37
4.2	Bewässerungsbetriebe im Projektgebiet	38
4.2.1	Modellbetrieb A	39
4.2.2	Modellbetrieb B	41
4.2.3	Modellbetrieb C	41
4.2.4	Potenziell am Einstieg in die Bewässerung interessierte Betriebe	42
4.3	Software zur Modellierung des Bewässerungsbedarfes	43
4.3.1	Software CROPWAT und AquaCrop	43
4.3.2	Beratungssystem „agrowetter-Beregnung“ des Deutschen Wetterdienstes	44
4.4	Klimamodellierung	47

4.5	Bewässerungsmodellierung	50
4.5.1	Datengrundlage und Methodik	50
5	Auswertung und Darstellung der Ergebnisse	56
5.1	Aktuelle Bewässerung bei den Beispielbetrieben	56
5.1.1	Erfassung der Bewässerungspraxis und des vorliegenden Wasserbedarfes	56
5.1.2	Klimatische Entwicklung in Abhängigkeit verschiedener Szenarien	64
5.1.3	Bewässerungsbedarf für das Projektgebiet unter Klimaszenarien	67
5.2	Optimierungspotenzial für ressourcenschonende Bewässerung	70
5.2.1	Optimierungspotenzial der Bewässerungstechnik	70
5.2.2	Potenzial zur Optimierung des Bewässerungsmanagements	72
5.2.3	Ressourcenschutz durch Kulturspektrum und Bodenbearbeitung	74
5.3	Potenzielle sozialökologische Auswirkungen einer Wasserverknappung	76
5.3.1	Problemstellungen durch klimatische Veränderungen	76
5.3.2	Einfluss klimatischer Veränderungen auf Umwelt und Naturschutz	76
5.3.3	Ressourcenschonender Umgang mit Wasser	78
6	Diskussion	80
7	Fazit	85
8	Literaturverzeichnis	86

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BBCH	Skala über das phänologische Entwicklungsstadium von Pflanzen
CWSI	Crop Water Stress Index
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
dm	Dezimeter
dt	Dezitonne
DWD	Deutscher Wetterdienst
DynAKlim	Projekt „Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“
ET _C	Verdunstung einer Kultur unter gut bewässerten Bedingungen
ET _{C adj}	Verdunstung einer Kultur unter Bedingungen abweichend v. Standard
ET _P	potenzielle Evapotranspiration
ET ₀	Referenzverdunstung
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FK	Feldkapazität
FDR	Frequency-Domain-Response
h	Stunde
ha	Hektar
hPa	Hectopascal
HRW	Hochschule Ruhr-West
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K _C	Vegetationskoeffizient
kg	Kilogramm
KlimaBeHageN	Projekt „Klimabewusstsein im Hammbachgebiet Nordrhein-Westfalen: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserversorgung“
km/h	Kilometer pro Stunde
K _S	Wasserstresskoeffizient
kW	Kilowatt
KWB	Klimatische Wasserbilanz
l	Liter
LWK NRW	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
m	Meter
mm	Millimeter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
Mio.	Millionen
nFK	nutzbare Feldkapazität
P	Niederschlag

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

pF	Wert für die Wasserbindungsfähigkeit im Boden
ppm	Parts per million
PWP	permanenter Welkepunkt
RCP	Representative Concentration Pathway
RWW	Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
t	Tonne
TDR	Time-Domain-Reflectometry
Vol.-%	Volumenprozent
W	Watt
Y_{aktuell}	aktueller Biomasseertrag einer Kultur
Y_{max}	maximal möglicher Biomasseertrag einer Kultur
%	Prozent
°C	Temperatur in Grad Celsius

1 Kurzfassung des Berichtes

Das Fachgebiet Agrartechnik des Fachbereichs 11 der Universität Kassel (Ökologische Agrarwissenschaften) in Witzenhausen hat im Rahmen des von der DBU geförderten Projektes KlimaBeHageN die Aufgabe übernommen, Optionen für eine ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung unter Berücksichtigung des aktuellen Standes technischer Einsparmöglichkeiten zu entwickeln und außerdem sozioökologische Aspekte einer absehbaren Verknappung der Ressource Wasser darzustellen.

Die Erfahrungen der letzten Jahre mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen und langanhaltenden Trockenperioden weisen darauf hin, dass eine unbegrenzte Verfügbarkeit von Wasser nicht mehr selbstverständlich und sorgsamerer Umgang mit der Ressource dringend geboten ist. Unsere Aufgabe als Projektpartner war es, aus landwirtschaftlichem Blickwinkel die Möglichkeiten von Wassereinsparungen bei gleichzeitiger Beibehaltung der Produktivität zu untersuchen.

1.1 Vorgehensweise und Datengrundlage

Basierend auf einer Umfrage der LWK unter den landwirtschaftlichen Betrieben des Projektgebietes, von denen 29 Bewässerungsmaßnahmen durchführen, wurden drei durch ein möglichst repräsentatives Anbauspektrum und unterschiedliche Bewässerungsmethoden charakterisierte Akteure identifiziert, die sich als Beispielbetriebe für eine Studie zur Verfügung stellten. Bei diesen wurden im Rahmen mehrerer Betriebsbesuche Details zur verwendeten Technik und Mengenangaben zum Wasserverbrauch erfasst, wobei sich allerdings herausstellte, dass hinsichtlich der ausgebrachten Bewässerungsmengen nur Schätzwerte vorlagen. Genaue Zeit- und Mengenangaben waren bis auf eine Ausnahme von keinem der beteiligten Betriebe zu erhalten, da eine präzise Erfassung fehlte. Dementsprechend war es auch nur annähernd möglich, die Angemessenheit der durchgeführten Maßnahmen zu beurteilen.

Für das Projektgebiet ist generell festzustellen, dass es bis zum jetzigen Zeitpunkt keine präzise Mengenerfassung und keine verlässliche Dokumentation der zur Beregnung genutzten Wassermengen gibt und somit auch die Grundlage fehlt, durch technische Optimierung erreichbare verbrauchsbezogene Einsparungen exakt zu beziffern.

Als Ansatz für die Prognostizierung des sich im Rahmen des Klimawandels verändernden Bewässerungsbedarfes wurde das Kulturspektrum und der Anbauumfang der Jahre 2020/2021 zugrunde gelegt. Auf Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes für Niederschläge und Temperatur sowie unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit wurde eine klimatische Wasserbilanz nach dem Geisenheimer Modell erstellt und für jede Kultur der im jeweiligen Wachstumsstadium benötigte optimale Zusatzwasserbedarf berechnet.

Um die Differenz zwischen Pflanzenbedarf und von der Bewässerungstechnik abhängigen Verlustmengen (z.B. durch Verdunstung und nicht zielgenaue Applikation) kalkulieren zu können, werden je nach genutzter Technik unterschiedliche Aufschlagsfaktoren berücksichtigt, wodurch sich die in der Praxis benötigte Wassermenge entsprechend erhöht.

2021 bearbeiteten im Projektgebiet 380 Betriebe (252 > 5 ha und 128 < 5 ha) 7.863 ha Fläche (Sand bis lehmiger Sand) für Futteranbau (3.512 ha, 43 %), Getreide (1.663 ha, 22 %), Grünland

(1871 ha, 24 %), Gemüse (761 ha, 9,7 %) und Obst (27,4 ha, 0,5 %). Zur optimalen Versorgung aller angebauten Kulturen wäre nach einer Bewässerungsempfehlung auf Basis der Software "agrowetter-Berechnung" des Deutschen Wetterdienstes ein Zusatzwasserbedarf von 4.837 287 m³ notwendig gewesen. Unter Berücksichtigung durchschnittlicher Ausbringungsverluste wäre 2021 für die optimale Wasserversorgung aller Kulturen ein Gesamtbedarf von etwa 6 Mio. m³ nötig gewesen. Dagegen hätte im wesentlich trockeneren Vorjahr 2020 der Bedarf für eine optimale Versorgung aller Flächen über 10 Mio. m³ betragen.

Laut eigener Aussage führten 29 der 380 Betriebe Bewässerungsmaßnahmen mit einer Verbrauchsmenge von 665.000 m³/a durch, wobei in 27 Fällen Trommelsysteme mit Großregnern, außerdem eine Kreisberegnung und fünf Tropfbewässerungsanlagen zum Einsatz kamen. 15 der 29 Betriebe wünschen sich eine Erhöhung um 222.000 m³/a und 20 zusätzliche Betriebe wollen zukünftig mit 2.000.000 m³/a in die Bewässerung einsteigen, wodurch sich ein Gesamtbedarf von ca. 3 Millionen m³ ergeben würde. Die Diskrepanz dieser Angaben zu dem oben genannten rechnerischen Bedarf legt die Vermutung nahe, dass der tatsächliche Verbrauch im Projektgebiet die deklarierten Mengen übersteigt.

1.2 Prognosen für zukünftigen Bewässerungsbedarf und Handlungsempfehlungen

Zur Kalkulation eines durch den Klimawandel sich verändernden Bewässerungsbedarfes wurden auf Basis der Representative Concentration Pathways (RCPs) 2.6, 4.5 und 8.5 drei Optionen berechnet. Es zeigt sich, dass je nach Szenario sowohl bei geringen als auch bei erheblichen klimatischen Veränderungen hinsichtlich der Jahresbilanz kein ins Gewicht fallender erhöhter Bedarf zu prognostizieren ist, wenn alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft sowie Kulturführung und Bewässerung optimal gemanagt werden.

Dies bedeutet, dass eine für die jeweilige Kultur geeignete Bewässerungstechnik mit möglichst geringem Energieaufwand zur Anwendung kommt und für Zeitpunkt und Menge der Wassergaben angemessene Entscheidungen getroffen werden. Zusätzliches Einsparpotenzial ergibt sich durch den Einsatz trockenheitstoleranter Sorten und eine frühere Aussaat, Verdunstungsminimierung durch angepasste Anbau- und Bearbeitungsmethoden, Mulchsaatverfahren, hohe Bestandsdichten, Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte. Grundsätzlich gilt, dass für effiziente Maßnahmen spezifisches Wissen und Erfahrung der Betriebsleiter sowie eine gute fachliche Praxis unerlässlich ist. Zusammengefasst:

Genauere Kenntnis der Bedarfsfaktoren (Pflanzenart, Entwicklungsstadium, Bodenart, Kleinklima, aktuelles Defizit)

Verdunstung reduzieren und Wasser halten (Zeitpunkt der Bewässerung, zielgenaue Gabe, Bodenbearbeitung und -verbesserung, Mulchen, Oberflächenabfluss vermeiden)

Passgenaue Technik (Ausbringung, Energiebedarf, Nutzerfreundlichkeit)

1.3 Sozioökologische Systeme

Als Sozioökologische Systeme bezeichnet man miteinander verbundene und voneinander abhängige Systeme, die sich auf die Wechselwirkung zwischen Menschen und Natur in verschiedenen Zusammenhängen beziehen. Demzufolge sind Menschen Teil von Ökosystemen und formen diese von der lokalen bis auf die globale Ebene, während sie gleichzeitig grundlegend von der Fähigkeit dieser Systeme abhängen, Ökosystemdienstleistungen für das

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

menschliche Wohlbefinden und die gesellschaftliche Entwicklung bereitzustellen. Sozioökologische Interaktionen spielen sich vor dem Hintergrund globalen Wandels und anderer zeitlicher Dynamiken ab.

Aufgrund der prognostizierten Klimaveränderungen sind im Kontext der Wasserproblematik erhebliche sozioökologische Auswirkungen und daraus resultierende Folgen für die beteiligten Akteure zu erwarten.

Neben einer jahreszeitlichen Umverteilung von Niederschlägen und Zunahme der Risiken für Überschwemmungen und Starkregenereignisse sind auch vermehrt Niedrigwasserstände und Temperaturanstiege im Wasser sowie folglich sinkende Sauerstoffgehalte und höhere Konzentrationen von Nährstoffen zu erwarten.

Trockenheit und ansteigende Temperaturen bringen außerdem Probleme im Bereich der Abwasserableitung in Form von Geruchsbelästigung und einen Anstieg des Korrosionsrisikos für Leitungen mit sich.

Durch die zu erwartende eingeschränkte Verfügbarkeit ist eine Nutzungskonkurrenz um die Ressource Wasser zu befürchten, die zu einem erhöhten Rechtfertigungsdruck für die Landwirte führen kann. Neben einer zunehmenden Kritik vonseiten anderer Akteure (Privathaushalte, Industrie, Naturschutz) am Umfang des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs sind auch Zwistigkeiten zwischen den landwirtschaftlichen Nutzern zu befürchten, wenn nachbarschaftliche Konflikte über die den einzelnen Betrieben zustehende Menge Wasser auftreten.

Akzeptanz für die Notwendigkeit des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs lässt sich am ehesten erreichen, wenn es gelingt, die Bedeutung lokaler/regionaler Erzeugung von Nahrungsmitteln offensiv zu kommunizieren und notwendige Bewässerungsmaßnahmen ressourceneffizient zu managen.

Es zeichnet sich ab, dass die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen im Projektgebiet neu geordnet (geregelt) werden muss. Bisher sind Landwirte auf der Grundlage von behördlich genehmigten mittel- bis langfristigen Mengenzuteilungen (Erlaubnis) berechtigt, Entnahmen aus dem Grundwasserleiter oder Oberflächengewässern durchzuführen. Für das genutzte Wasser entstehen keine Kosten, lediglich Zeitpunkt und Menge des Verbrauchs sind in Wasserbüchern zu dokumentieren, worüber in der Regel keine Kontrolle stattfindet.

Die sich andeutende zukünftige Bepreisung des Wassers wird zu einer Herausforderung für die landwirtschaftlichen Betriebe führen und stellt eine komplexe Aufgabe für die damit befassten Institutionen dar. Hier gilt es, mit Augenmaß vorzugehen und die Preisgestaltung so zu handhaben, dass die betroffenen Landwirte Perspektiven für ein wirtschaftliches Überleben haben. Von politischer Seite besteht Handlungsbedarf, die zusätzlichen finanziellen Belastungen durch Unterstützung und Förderprogramme im Hinblick auf eine regional verankerte Ernährungssicherung abzufedern.

Auf Betriebsseite wird es notwendig, genaue Kalkulationen hinsichtlich der unter den veränderten Bedingungen notwendigen Deckungsbeiträge vorzunehmen und gegebenenfalls das Kulturspektrum entsprechend anzupassen.

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

Um unnötigen Wasserverbrauch und auch die Auswaschung von Nährstoffen zu vermeiden, können von landwirtschaftlicher Seite folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Optimierung der Bewässerungstechnik
- Sensor- und Onlinegestütztes Management
- Verringern von Verdunstung durch eine Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität
- Anbau von Zwischenfrüchten zur Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und Erosionsminderung
- Anstreben einer besseren Wasserhaltefähigkeit des Bodens
- Düngung exakt dem Pflanzenbedarf anpassen

2 Einleitung

Die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturen ist von großer Bedeutung, wie bereits Albrecht D. Thaer feststellte: „Ein Ackerbauer, der in der Lage ist, Wasser dem Boden nach Bedarf zu entnehmen und zu geben, hat den höchsten Grad der Zufriedenheit erreicht.“ (Roth et al., 2005).

In Europa hat der Bewässerungslandbau eine mehrere Jahrhunderte alte Tradition, wobei in Deutschland aufgrund der klimatischen Verhältnisse die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen lange Zeit ohne Bewässerungsmaßnahmen praktikabel war. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts wurden hier erste Bestrebungen zum Zusatzwassereinsatz auf Grünlandflächen unternommen, aus denen sich im Laufe der Zeit die aktuelle Bewässerungslandwirtschaft entwickelt hat (Achtnich, 1980a).

Nach Angaben von Destatis (2021) betrug die landwirtschaftlich genutzte Freilandfläche mit der Möglichkeit zu Bewässerung in Deutschland im Jahr 2019 rund 768.300 ha, wobei davon etwa 506.500 ha Landfläche tatsächlich bewässert wurden. Dies entspricht im Referenzjahr etwa 2,8 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche von 18.128.000 ha (Destatis, 2022a). In diesen Daten sind die Flächen, auf denen Frostberegnung durchgeführt wird, nicht enthalten. Zur Einordnung sei erwähnt, dass der landwirtschaftliche Anteil am Süßwasserverbrauch weltweit 69 % beträgt, während es in Deutschland nur 1,4 % sind.

Der Zusatzwassereinsatz zur Versorgung bestimmter landwirtschaftlicher Kulturen ist elementar, damit Anforderungen an Produktqualitäten und Erträge erfüllt werden können. Diese Zielsetzung ist auch von Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der Landwirtschaft vor Ort im Vergleich zu anderen Produktionsregionen (Fricke, 2022b). Darüber hinaus ergeben sich durch Bewässerungsmaßnahmen zudem weitere positive Effekte, beispielsweise eine verbesserte Nährstoffeffizienz der Kulturen (Riedel, 2017).

Gleichzeitig ist der Schutz des Wassers, das laut Europäischem Parlament und Rat der Europäischen Union (2000) „keine übliche Handelsware, sondern ein ererbtes Gut“ darstellt, eine zentrale Anforderung bei der Ressourcennutzung. In diesem Kontext stellen das langfristige Absinken von Grundwasserständen sowie die Überversorgung landwirtschaftlicher Kulturen mit Wasser und anschließender Nährstoffauswaschung in tiefere Bodenschichten und das Grundwasser potenzielle Gefahren dar (Paschold, 2004; Fricke, 2022b).

Die vorliegende Arbeit mit dem Titel „Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung und Berücksichtigung sozioökologischer Aspekte“ wird im Rahmen des Projektes KlimaBeHagen erstellt, an dem die Universität Kassel als Projektpartner beteiligt ist und das in Kapitel 2.1 näher vorgestellt wird.

Die Problemstellung besteht darin, dass durch klimatische Änderungen in der Zukunft sowohl Auswirkungen auf die landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen als auch auf die Gesamtgesellschaft in Nordrhein-Westfalen als Gebiet mit einer hohen Bevölkerungsdichte zu erwarten sind (Kreins et al., 2015).

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit besteht darin, zunächst die Ausgangssituation der Bewässerungslandwirtschaft im Projektgebiet hinsichtlich der eingesetzten Technik, des Bewässerungsmanagements sowie der angebauten Kulturen zu erfassen. Die Forschungsfrage

beinhaltet einerseits die Betrachtung der Auswirkungen dreier abgestufter klimatischer Perspektivszenarien für die Bewässerungslandwirtschaft in der Region. Andererseits wird die Frage behandelt, auf welchem Wege eine Einsparung von Zusatzwasser beim Anbau landwirtschaftlicher Kulturen im Raum Dorsten/Haltern im Vergleich zur gegenwärtigen Situation möglich ist.

Konkret stehen die Handlungsfelder Technikeinsatz und Bewässerungssteuerung im Fokus, Bodenbearbeitung und Kulturwahl werden zusätzlich betrachtet. Weiterhin soll die Frage nach den möglichen sozioökologischen Auswirkungen verschiedener Szenarien beleuchtet werden.

Zunächst wird eine umfassende Literaturrecherche zu alternativen Systemen der Zusatzwasserapplikation sowie zu möglichen Entscheidungshilfen bei der Steuerung von Bewässerungssystemen vorgestellt. In Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen wurden darüber hinaus drei repräsentative Betriebe identifiziert, welche bereits Teil der Bewässerungslandwirtschaft vor Ort sind. Es erfolgt der Versuch der Beurteilung vergangener Bewässerungsmaßnahmen anhand einzelner Kulturen, bei dem unter anderem die Software „agrowetter-Beregnung“ des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zum Einsatz kommt.

Im weiteren Verlauf erfolgt die Recherche zu drei klimatischen Szenarien in Bezug auf Niederschlag, Verdunstung und Klimatische Wasserbilanz sowie daraus resultierenden Konsequenzen für die Landwirtschaft in der Projektregion (Rolfes et al., 2019). Darüber hinaus werden Maßnahmen zur Optimierung der Bewässerungslandwirtschaft erarbeitet, welche als Zielsetzung einen schonenden Umgang mit der Ressource Wasser verfolgen. Nach einer Auseinandersetzung mit den möglichen sozioökologischen Folgen verschiedener Szenarien bei der Bewässerung wird der Sachverhalt abschließend diskutiert und ein Fazit gezogen. Dies erfolgt sowohl im Hinblick auf die perspektivisch zu erwartende Verknappung der Ressource Wasser als auch auf die daraus resultierenden Auswirkungen des Ressourcenkonfliktes für die Landwirtschaft und Bevölkerung (Kreins et al., 2015).

2.1 Einführung in das Projekt KlimaBeHageN

Das Projekt „Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW: Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserversorgung“ (KlimaBeHageN) wird in Teilbereichen der Kreise Wesel, Recklinghausen und Borken durchgeführt. *Abbildung 1* zeigt die in Kapitel 4.1 näher thematisierte Projektregion.

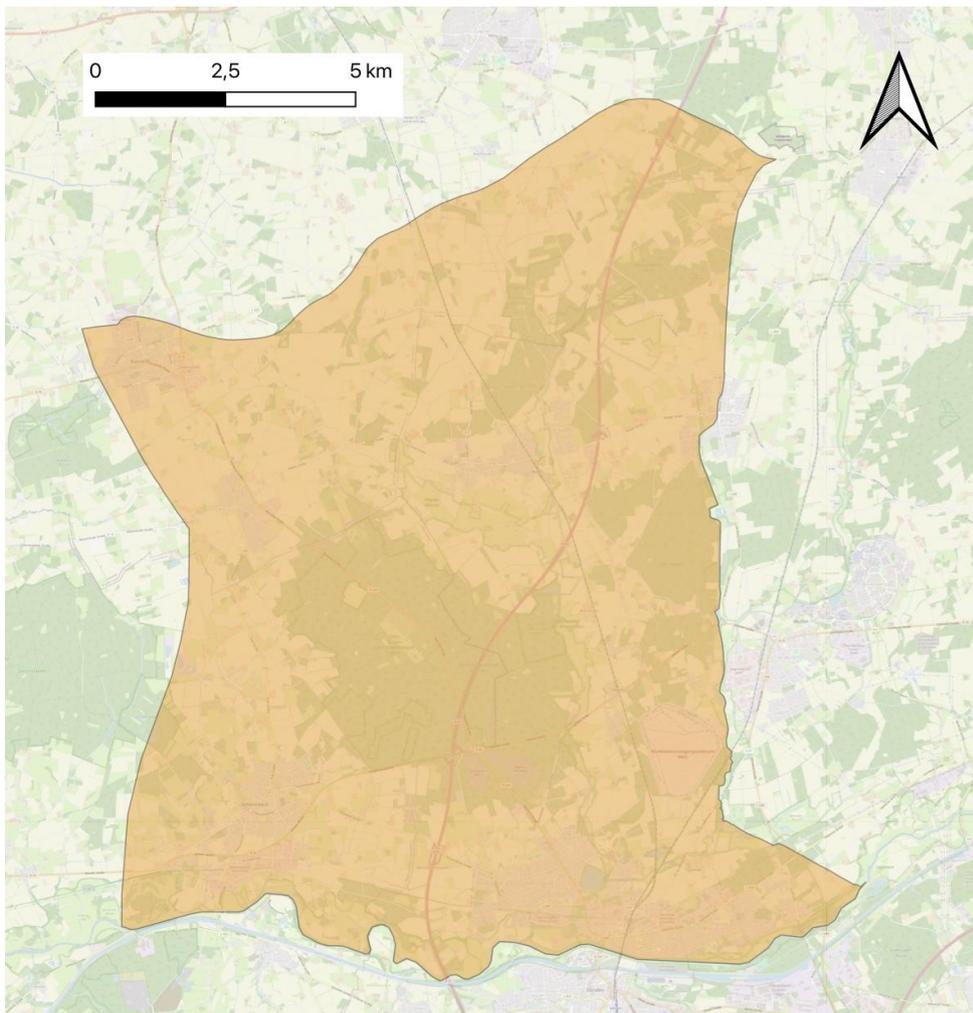


Abbildung 1: Darstellung der Modellregion KlimaBeHageN, Quelle: Eigene Darstellung nach Datengrundlage der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Inhaltlich stehen Überlegungen und Ansätze zum nachhaltigen Wassermanagement im regionalen Kontext des Hammbachgebietes vor dem Hintergrund zukünftiger klimatischer Änderungen im Fokus. Das Projekt läuft vom 01.06.2020 bis zum 28.02.2023.

Zwischen April 2009 und März 2014 gab es bereits ein Vorläuferprojekt unter dem Titel „DynAKlim - Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet)“. Zentraler Gegenstand war neben dem Ausbau der Anpassungsfähigkeit des Ballungsraumes an klimatische Herausforderungen auch die Bearbeitung weiterer Projektziele. Dazu zählten etwa die gemeinsame Entwicklung eines Anpassungsmanagements mit Verwaltung und Politik sowie die Unterstützung einer auf klimatische Belange ausgerichteten Förderung für die Wirtschaft (Umweltbundesamt, 2016).

Das Projekt KlimaBeHageN wird von der Deutschen Bundestiftung Umwelt (DBU) gefördert. Projektpartner sind die Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW), Landwirtschaftskammer Coesfeld, Nordrhein-Westfalen (LWK NRW), Lippe Wassertechnik GmbH, der Westfälisch-Lippische Landwirtschaftsverband e.V. sowie die Hochschule Ruhr West

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

Mühlheim und die Universität Kassel, Agrartechnik Witzenhausen. Aufgaben sind die Ermittlung des landwirtschaftlichen Wasserbedarfes und die Erarbeitung von Bewirtschaftungsoptionen landwirtschaftlicher Nutzflächen im Hinblick auf die Ressource Wasser. Weiterhin erfolgt die Entwicklung von Konzepten zur Nutzung als Stütze des Grundwasserdargebotes anstelle der bisherigen Ableitung in Oberflächengewässer. Eine weitere Thematik ist der Wasserrückhalt in Moorbereichen, außerdem werden Organisationsstrukturen und Finanzierungsmöglichkeiten für die Bewässerung vorgeschlagen (EGLV, 2022).

Die praktische Beteiligung der Universität Kassel vor Ort hat am 19.07.2021 im Rahmen einer Fahrradexkursion des Konsortiums im Umfeld der Stadt Dorsten begonnen. Ziel war die persönliche Kontaktaufnahme zwischen Vertretern der Projektpartner sowie die Besichtigung der lokalen Gegebenheiten. Es wurde ein landwirtschaftlicher Bewässerungsbetrieb mit Ackerbau, Sonderkulturen, Biogasanlage und Tierhaltung, ein regionaler Moorstandort sowie ein Betriebswasserspeicher und ein örtliches Pumpwerk besichtigt. Im weiteren Projektverlauf fanden regelmäßige Jour Fixes mit Frau Wilmer-Jahn von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW) und Herrn Hery als Vertreter der Hochschule Ruhr West (HRW) statt. Es erfolgte ein kontinuierlicher Austausch mit den ausgewählten Beispielbetrieben hinsichtlich der gegenwärtigen Bewässerungspraxis sowie der Bewässerungsmaßnahmen in den letzten Jahren.

3 Stand der Wissenschaft

Im folgenden Kapitel werden grundlegende Aspekte technischer Möglichkeiten der Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen und das Management von Maßnahmen behandelt. Im Rahmen dessen wird zunächst die Technik für den Einsatz von Zusatzwasser vorgestellt, anschließend werden Möglichkeiten der Bewässerungsanlagensteuerung erläutert und die Beregnungswürdigkeit von Kulturpflanzen aufgezeigt.

Die Art der Bereitstellung des benötigten Wassers hat einen erheblichen Einfluss auf die Kosten des Zusatzwassereinsatzes in der Landwirtschaft. Da die flächendeckende Wasserentnahme aus dem öffentlichen Netz aus logistischen und finanziellen Gründen ausscheidet, werden insbesondere Brunnen zur Bereitstellung von Grundwasser eingesetzt (siehe *Abbildung 2*). Die Brunnentiefe variiert in Abhängigkeit vom Grundwasserspiegel. Bei Nutzung von Tiefbrunnen wird das Wasser aus einer Tiefe zwischen 25 und 80 m, bei schlechter Versorgungslage bis zu 130 m gefördert. Flachbrunnen gewährleisten die Wasserbereitstellung hingegen bereits in einer Tiefe von 3 bis 6 m (Sourell, 2010).

Der Aufbau der vorliegenden Bodenschichten spielt beim Brunnenbau eine zentrale Rolle. Als Vertikalbrunnen kommen Schacht- oder Bohrbrunnen zum Einsatz, wobei in der Regel Bohrbrunnen genutzt werden. Im Bereich des bewirtschafteten Grundwasserstockwerks wird eine Schüttung aus Filterkies eingebracht, welche die Filterrohre umschließt. Das Grundwasser wird zumeist mit Kreiselpumpen, deren Antrieb elektrisch oder mit einem Dieselmotor erfolgt, durch Vollrohre hindurch an die Oberfläche gefördert (Anter et al., 2013).

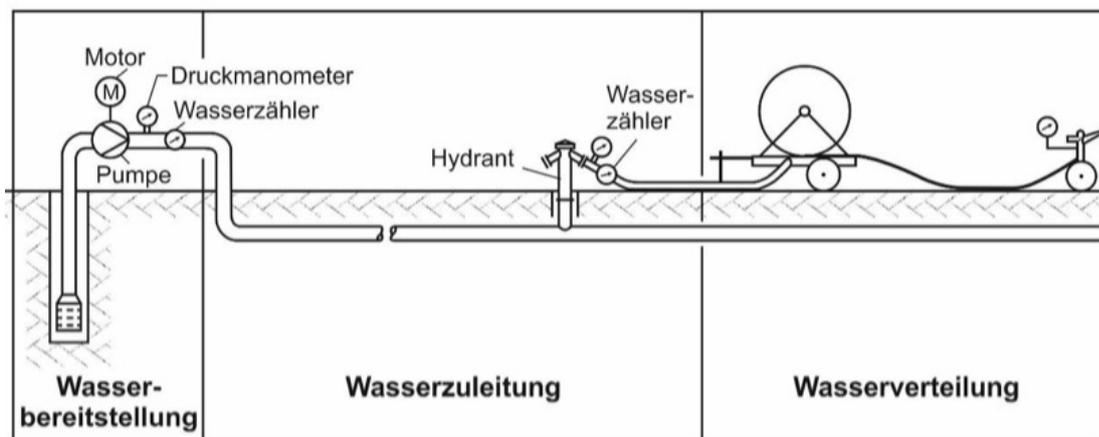


Abbildung 2: Hauptelemente der landwirtschaftlichen Bewässerung, Bildquelle: Sourell (2007) verändert durch Fröba und Tillau (2017)

Neben der Nutzung von Grundwasser besteht die Möglichkeit, Oberflächenwasser zur landwirtschaftlichen Bewässerung zu verwenden. In diesem Kontext erfolgt die Entnahme abhängig von den örtlichen Gegebenheiten und behördlicher Zustimmung aus Teichanlagen, Flüssen und Kanälen (Sourell 2014).

3.1 Bewässerungstechnik

Zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen steht eine breite Vielfalt von Systemen zur Verfügung. Für erfolgreiche Anwendung kommt der Wahl des Bewässerungsverfahrens eine

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

große Bedeutung zu. Die Entscheidung wird durch diverse Faktoren wie unter anderem die Bodenbeschaffenheit und zu bewässernde Kulturpflanzenart, das Wasserdargebot und den Arbeitskraft- und Kapitalbedarf maßgeblich mitbestimmt (Achnich, 1980a).

Die aktuell eingesetzten Bewässerungsverfahren sind in *Abbildung 3* aufgeführt und werden im weiteren Verlauf näher behandelt. Zusätzlich zu diesen modernen Verfahren gibt es die traditionellen Methoden der Oberflächenbewässerung. Bei diesen wird das eingesetzte Zusatzwasser über Furchen oder einen breiten Strom auf der betreffenden Landfläche verteilt. Zentraler Aspekt der Oberflächenbewässerung ist, dass die Verteilung des eingesetzten Wassers nicht mit Hilfe technischer Gerätschaften sondern durch Schwerkraftwirkung erreicht wird. Eine Beeinflussung der gegebenen Verhältnisse vor Ort kann durch Veränderung der Bodenoberfläche, beispielsweise in Form von Planierarbeiten erfolgen. Diese Eingriffe sind jedoch aufwendig und durch natürliche und ökonomische Rahmenbedingungen limitiert (Wolff, 1981). Zur Gruppe der Oberflächenbewässerungsverfahren werden die Furchen-, Becken- und Landstreifenbewässerung gezählt, die in der Vergangenheit vielfach eingesetzt wurden. Gegen die Verwendung dieser Verfahren sprechen die mangelnde Steuerungsmöglichkeit und die schlechte Nutzung des eingesetzten Wassers, weshalb diese in Deutschland keine Bedeutung mehr haben. Im weltweiten Kontext spielen diese traditionellen Bewässerungsverfahren hingegen weiterhin eine große Rolle und finden insgesamt auf rund zwei Dritteln der gesamten bewässerten Landfläche Anwendung (Sourell, 2014).

Die Vielzahl aktueller technischer Lösungen zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen lässt sich grundsätzlich in die Bereiche der Mikrobewässerung und Beregnung untergliedern (siehe *Abbildung 3*).

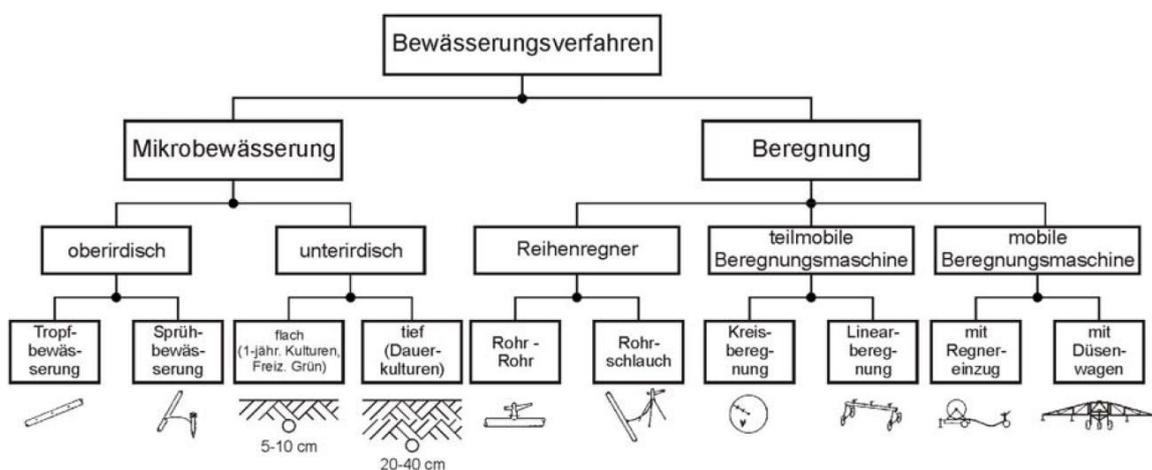


Abbildung 3: Verfahren der Feldbewässerung, Quelle: Lüttger et al. (2005)

Die Mikrobewässerung spielt bislang noch eine eher untergeordnete Rolle, sowohl als oberirdische Tropf- und Sprühbewässerung als auch in Form der Unterflurbewässerung landwirtschaftlicher Kulturen (Lüttger et al., 2005).

3.1.1 Mobile Berechnungstechnik

Die Systemlösungen auf dem Gebiet der mobilen Berechnungsmaschinen haben mit der Entwicklung von Kunststoffrohren aus Polyethylen (PE-Rohre), die für den Einsatz auf Bewässerungstrommeln geeignet sind, stark an Bedeutung gewonnen. Ursprünglich wurden Maschinenkonzepte mit Regnereinzug oder Maschinenvorschub genutzt, allerdings konnte sich der Maschinenvorschub unter Praxisbedingungen nicht etablieren, sodass bei der Entwicklung mobiler Berechnungsmaschinen primär auf das System des Regnereinzugs gesetzt wird (Sourell, 2010).

Im Bereich der mobilen Berechnungsmaschinen sind Systeme mit Einzelregnern, auch als Großflächenregner bezeichnet, in Deutschland am weitesten verbreitet (siehe Abbildung 4). Der Anteil durch dieses System mit Wasser versorgter Fläche an der bewässerten Gesamtfläche beträgt mehr als 98 % (Fröba und Belau, 2022).

Die Begründung für die häufige Wahl dieser Technik beim Einsatz von Zusatzwasser sieht Fricke (2017) insbesondere in der flexiblen Anwendung und der hohen Mobilität beim Ortswechsel zwischen separat gelegenen zu bewässernden Flächen. Zudem spielen die im Vergleich zu anderen Verfahren geringeren Investitionskosten eine Rolle. Der Autor verweist allerdings darauf, dass es bei diesem System aufgrund der Funktionsweise des Einzelregners zur Ausbringung von Wasser auf umliegende Grundstücke und Verkehrsflächen kommen kann, woraus eine potenzielle Verkehrsgefährdung sowie die Verschwendung von Wasser resultiert.

Der verhältnismäßig geringe Arbeitsaufwand ist vorteilhaft, steht allerdings einer schlechten Wasserverteilung in Kombination mit großem Energieaufwand gegenüber (Anter, 2013).

Bei mobilen Anlagen mit Regnereinzug, sowohl in Kombination mit Einzelregnern als auch bei Systemen mit einem angeschlossenen Düsenwagen, verbleibt die Berechnungsmaschine am Feldrand, der Maschinenaufbau variiert je nach Hersteller. Die Positionierung der Rohrtrommel, erfolgt entweder parallel oder orthogonal zur Fahrgestellachse (Sourell, 2014). Das eingesetzte Zusatzwasser dient üblicherweise auch dem Antrieb der Rohrtrommel. Es strömt durch eine Turbine und sorgt dadurch sowohl für die Drehbewegung der Trommel als auch das Aufhaspeln des Berechnungsschlauches (Patt und Fitzthum, 2021). Am Trommelwagen wird ein sogenannter Regnerwagen angebaut. Dieser wird hydraulisch oder per Seilwinde zum Transport oder Feldeinsatz an- und abgebaut. Er wird, abhängig vom Maschinenaufbau, von einem Zugfahrzeug über die Fläche gezogen und die Regnerleitung dabei abgerollt, alternativ kann er auch nach dem Positionieren der Berechnungsmaschine am Feldrand über die Fläche ausgezogen werden (Sourell, 2014).

Auf dem Regnerwagen kommen primär Mittel- bis Starkregner zum Einsatz, die mit einem Arbeitsdruck von etwa 4 bis 5 bar arbeiten. Diese decken eine Berechnungsmenge im Bereich von 15 bis 40 mm pro Stunde mit einer nutzbaren Berechnungsbreite zwischen 48 und 81 m ab. Bei dem System des Einzelregners wird ein Wasserdruck von rund 8 bar an der Wasserentnahmestelle, üblicherweise einem Hydranten, benötigt (Anter et al., 2013).



Abbildung 4: Mobile Beregnungsmaschine (PE-Rohr mit einem Außendurchmesser von 110 mm und 300 m Gesamtlänge) mit Einzelregner der Staatsdomäne Frankenhausen, Quelle: Eigene Abbildung (2022)

Laut Riedel (2017) arbeiten aktuelle Maschinentypen mit einer Rohrlänge von bis zu 1.000 m und einem Leitungsdurchmesser von 125 mm. Dadurch wird eine Bewässerung von bis zu acht Hektar Landfläche möglich, ohne dass die Maschine an einen anderen Einsatzpunkt versetzt werden muss. In Bezug auf die genannten Nachteile der mobilen Beregnungstechnik mit Einzelregner sieht der Autor den Einsatz eines Düsenwagens (siehe *Abbildung 5*), der anstelle des Regnerwagens mit der Rohrtrommel verbunden ist, als sinnvolle Alternative an. Sowohl in Bezug auf die Verteilgenauigkeit des Beregnungswassers durch eine geringere Arbeitshöhe, insbesondere bei Windeinfluss, als auch mit Blick auf die zum Betrieb erforderliche Energie bietet die Düsenwagentechnik Vorteile. Das System kommt, bedingt durch entsprechende Leitungsquerschnitte und Düsenteknik, mit einem um zwei bar geringeren Betriebsdruck aus, was zu einer Energieersparnis von bis zu 20 % führt.

Beck (2021) unterstreicht die Vorzüge dieser Technik, verweist allerdings einerseits auf die höheren Anschaffungskosten des Düsenwagens, andererseits auf die hohe Intensität der eingesetzten Beregnung in Verbindung mit einer daraus resultierenden erhöhten Gefahr von Bodenerosionen. Als Optimierungsmaßnahmen zu bestehenden Systemvarianten am Markt nennt der Autor den Einsatz bodennaher Düsenteknik oder die Verwendung von Schlepschläuchen zur zielgerichteten Applikation des Wassers. Als Beregnungsintensität wird die Menge des Niederschlages pro Zeiteinheit bezeichnet, die in Millimeter pro Stunde angegeben wird. Bei zu hoher Beregnungsintensität besteht das Risiko der Bildung von Wasserlachen, bei Vorliegen von Gefälle ein Ablauf des Wassers und Bodenerosion.



Abbildung 5: Mobile Beregnungsmaschine mit Düsenwagen (links im Bild) der Staatsdomäne Frankenhausen, Quelle: Eigene Abbildung (2022)

Der Aufbau des hydraulisch klappbaren Düsenbalkens erfolgt auf einem zwei- oder vierrädigen Fahrgestell, wobei die Verwendung zweier lenkbarer Achsen vorteilhaft zum Ausfahren von Kurvenradien und Feldkonturen ist. Die Gestängeaufhängung ermöglicht eine horizontale und vertikale Anpassung an die örtlichen Gegebenheiten; zur Ausnutzung der maximalen Arbeitsbreite werden teilweise Schwachregner an den Enden der Düsenbalken montiert, sodass sich eine Arbeitsbreite von bis zu 72 m realisieren lässt (Anter et al., 2013).

Obwohl sich Konzepte mit Maschinenvorschub auf dem Gebiet der mobilen Beregnungstechnik bislang nicht durchsetzen konnten, wird das Angebot auf dem Markt aktuell um derartige Geräte mit einem aufgebauten Düsenwagen ergänzt. Konkret bietet etwa der Hersteller Fasterholt eine selbstfahrende Beregnungsmaschine mit einem teleskopierbaren Düsengestänge an, die in *Abbildung 6* dargestellt ist. Hier kommen die grundsätzlichen Vorteile mobiler Beregnung mittels Düsenwagen zum Tragen, zusätzlich ergibt sich die Möglichkeit der Beregnung eines gesamten Schlags ohne die Notwendigkeit des Umsetzens der Maschine. Dazu wird das PE-Rohr von der Trommel während der Fahrt durch den Bestand ausgelegt, der Schlag wird als Beetanlage beregnet. Dadurch reduziert sich der Arbeitsaufwand für ein mehrmaliges Umsetzen des Gerätes in die nächste Gasse, diese Arbeit ist zudem durch eine einzelne Person zu bewerkstelligen. Bei bislang verfügbaren Systemlösungen sind dazu zwei Arbeitskräfte nötig (Deter, 2021).



Abbildung 6: FASTERHOLT DL 66 Pro, Bildquelle: Schulz, Abrufdatum, 06.04.2022

Das Düsegestänge hat eine austeleskopierte Breite von 66 m und ermöglicht eine Gesamtarbeitsbreite von bis zu 95 m bei Verwendung zusätzlicher Sprinkler an den Gestängeaußenseiten. Die Maschine bringt, bedingt durch das Gesamtkonzept mitsamt breitem Gestänge, ein Gewicht von rund 16 t im wassergefüllten und einsatzbereiten Zustand mit sich (Schulz, 2022). Bedingt durch das, im Vergleich zu Systemlösungen mit getrenntem Regner- oder Düsenwagen, höhere Einsatzgewicht, ergibt sich ein erhöhtes Risiko für Bodenverdichtungen.

3.1.2 Teilmobile und stationäre Beregnungstechnik

Als teilmobile oder halbstationäre Beregnungsmaschinen werden nach Sourell (2010) die Verfahren der Kreis- und Linearberegnung bezeichnet. Diese Systeme sind vorwiegend an einen Einsatzort gebunden und auf regelmäßige Beregnung ausgelegt.

Ein zentrales Merkmal der Technik ist der effiziente Energieeinsatz durch Verwendung von Niederdruckdüsen zur präzisen Applikation des Zusatzwassers. Kreis- und Linearberegnung finden insbesondere in großstrukturierten Gebieten mit Flächengrößen ab 25 ha Verwendung (Riedel, 2017). Die Linearberegnung ist durch selbstfahrende Türme gekennzeichnet, zwischen denen sogenannte Spannbogenträger installiert sind (siehe *Abbildung 7*). An diesen befinden sich die Wassersprinkler oder Düsen, die das eingesetzte Zusatzwasser mit einem Druck von zwei bis vier bar verteilen. Die Rohrleitung zur Wasserversorgung während der Überfahrt ist im Fahrturm auf der linken Seite der Abbildung erkennbar. Je nach Bauart wird das Wasser entweder einseitig, wie in der vorliegenden Abbildung, oder mittig zugeführt, wodurch sich Arbeitsbreiten von 75 bis 1.200 m realisieren lassen.

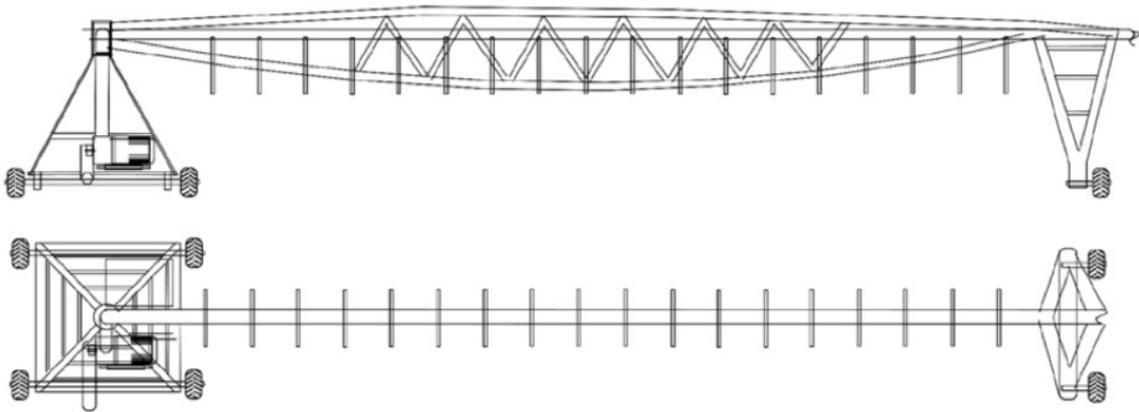


Abbildung 7: Linearberegnungsmaschine, Quelle: KTBL Technik der Freilandbewässerung (2014)

So bietet die Technik die Möglichkeit der Versorgung rechteckiger Flächen mit einer Länge von bis zu 1.200 m mit Zusatzwasser, wobei das Umsetzen der Anlage durch rechtwinkliges Drehen der Maschinenräder und Schlepperzug in einen weiteren Flächenbereich möglich ist (Anter et al., 2013).

Die Linearberegnungstechnik bietet im Vergleich zu Kreisberegnungsmaschinen eine größere Flexibilität in Bezug auf den Flächenzuschnitt des zu beregnenden Schlages (Dietrich et al., 2015). Der grundlegende Unterschied von Kreis- zu Linearberegnungsmaschinen liegt darin, dass sich erstere während der Beregnung um einen festen Mittelpunkt drehen (siehe *Abbildung 8*). Dadurch ergibt sich eine kreisförmige Fläche, deren Durchmesser von der Regnerleitungslänge plus der Reichweite eventuell eingesetzter Sprinkler an der Gestängeaußenseite abhängig ist. Der weitere Anlagenaufbau ähnelt in weiten Teilen der Linearberegnungstechnik. Die Wasserversorgung erfolgt über einen Brunnen oder eine Wasserzuleitung zum Mittelpunkt der Anlage, es werden Rohrleitungsdurchmesser zwischen 108 und 208 mm eingesetzt (Sourell, 2010).

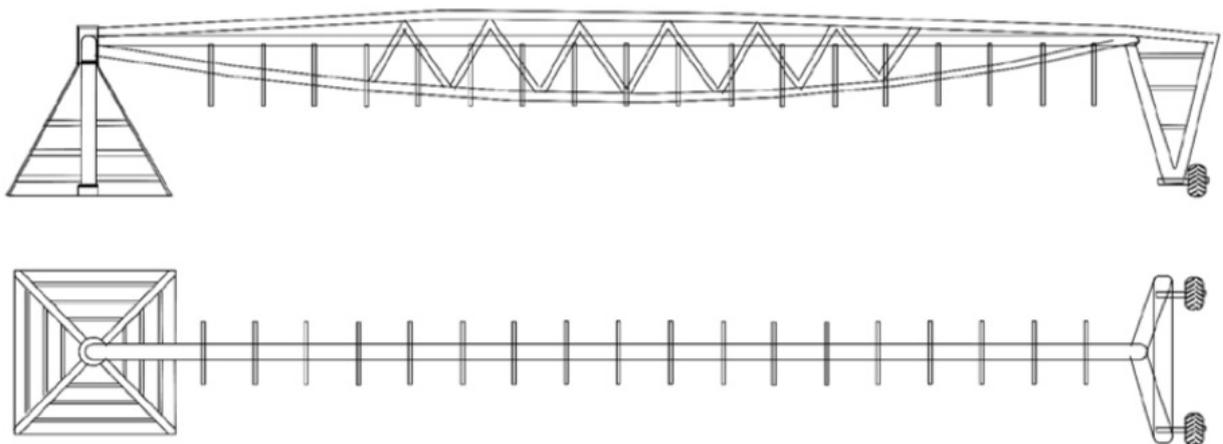


Abbildung 8: Kreisberegnungsmaschine, Quelle: KTBL Technik der Freilandbewässerung (2014)

Insbesondere bei großen Flächenverbänden, wie sie in Deutschland beispielsweise in den neuen Bundesländern vorliegen, kann die stationäre Beregnungsform ihre Vorteile ausspielen. Die Versorgung mit Zusatzwasser erfolgt vollautomatisiert und ohne Beaufsichtigung (Dietrich et al., 2015). Als nachteilig an dem System der Kreisberegnung erweist sich die schlechte Ausnutzung der zu beregnenden Fläche, sofern diese nicht in Kreisform angelegt ist. Bei Vorliegen eines quadratischen Schlages erreicht das System lediglich einen Flächenanteil von 80 %. Um die restliche Feldfläche ebenfalls mit Wasser versorgen zu können, werden technische Lösungen in Form eines Eckenausgleiches angeboten, welche die Kapitalintensität zusätzlich erhöhen (Sourell, 2014).

3.1.3 Reihenregnerverfahren

Reihenregner gehören dem Bereich der beweglichen Beregnungstechnik an. Insgesamt gliedert sich diese Gruppe in vier verschiedene Verfahren. Dazu zählen einerseits Rohr- und Rohr-Schlauch-Beregnung, andererseits die Schlauch- und Schlauch-Schlauch-Beregnungsverfahren. Die beiden letztgenannten werden in der Praxis weniger genutzt, die verbreitetere Rohr- und die Rohr-Schlauchberegnung sind in *Abbildung 9* dargestellt (Sourell 2010, Sourell, 2014).

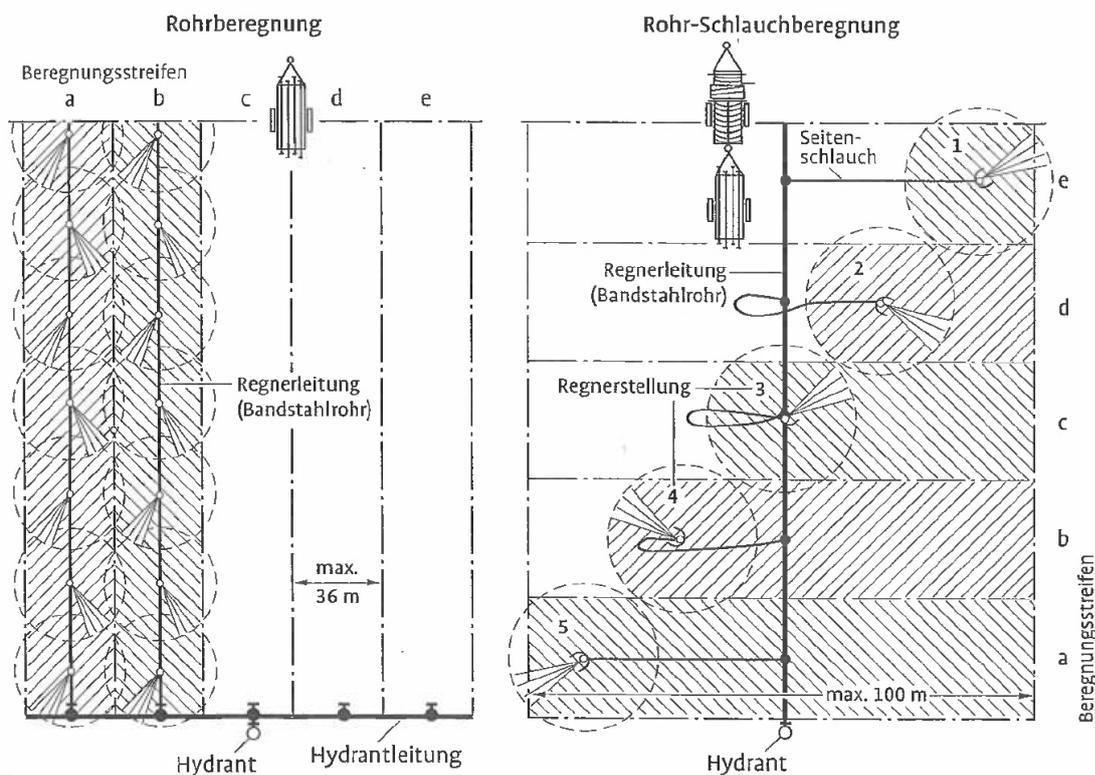


Abbildung 9: Schematischer Aufbau einer Rohr- und Rohr-Schlauchberegnung, Bildquelle: Sourell (2010)

Der Anlagenaufbau der Rohrberegnung, welche in der Praxis häufig der Rohr-Schlauchberegnung vorgezogen wird, erfolgt vom Hydranten zunächst über eine Hauptleitung. Daran angeschlossen verlaufen jeweils eine oder mehrere Regnerleitungen aus Bandstahl oder Aluminium durch die zu beregnende Fläche. Praxisüblich werden Einzelrohre mit einer Länge von jeweils 6 m und einem Durchmesser von 70 oder 89 mm gewählt, die aneinanderschlossen zu einer Gesamtleitungslänge von bis zu 400 m installiert werden. Wie

in *Abbildung 9* erkennbar, lassen sich Abstände von bis zu 36 m zwischen den Regnerleitungen realisieren, in der Praxis werden jedoch häufig Abstände von 18 oder 24 m gewählt. Durch die Verwendung von Schwachregnern sind Beregnungsintensitäten von 3 bis 10 mm je Stunde möglich. Die Möglichkeit zur Applikation geringer Mengen stellt einen zentralen Systemvorteil dar (Anter et al. 2013, Beck, 2021).

Neben den beweglichen Rohrberegnungsanlagen kommen teilweise ortsfeste Verfahren der Rohrberegnung zum Einsatz, die im Unterflurverfahren mit Regnerarmaturen unterhalb der Bodenoberfläche arbeiten und durch den Wasserstrom ein Teleskoprohr nach oben bewegen, auf dem der Regner montiert wird. Dieses System kommt aufgrund der hohen Kapitalintensität nur selten zum Einsatz. Im Fall der rechts in *Abbildung 9* dargestellten Rohr-Schlauchberegnung werden Seitenschläuche an die Regnerleitung angekuppelt, welche bei einer Schlauchlänge von bis zu 40 m durch mehrfaches Versetzen eine Fläche von maximal 50 m links und rechts der Regnerleitung und somit eine Gesamtbreite von 100 m abdecken können (Sourell, 2010).

Als weiterer Vorteil werden in Abhängigkeit vom verwendeten Typ lediglich geringe Drücke zwischen zwei und vier bar am Regner benötigt. Die geringe Tropfengröße sorgt für eine kulturschonende Applikation des Zusatzwassers, was insbesondere bei empfindlichen und jungen Pflanzen einen entscheidenden Vorteil darstellt. Auf der anderen Seite bringt das Verfahren insbesondere durch Windanfälligkeit eine teilweise ungenaue Wasserverteilung und daraus resultierende Wasserverluste als nachteilige Effekte mit sich. Außerdem gibt insbesondere der große Arbeitsaufwand und die körperliche Belastung beim Auf- und Abbau der Rohrberegnung sowie dem Umpositionieren der Regnerstative in der Praxis häufig den Ausschlag zur Wahl einer anderen Beregnungstechnik (Beck 2021; Konrad 2022; Sourell, 2010).

Die Sprinklerberegnung stellt ein Verfahren dar, welches der klassischen Rohrberegnung vom Aufbau her ähnlich ist. Die Leitungen bestehen allerdings aus Kunststoff und werden mit einer geringeren Distanz von zehn bis zwölf Metern zueinander im Bestand installiert. Im Abstand von etwa zehn Metern kommen auch bei diesem System ähnliche Regner wie bei der klassischen Rohrberegnung zum Einsatz. Im Hinblick auf die verhältnismäßig geringen Druckanforderungen im Bereich von zweieinhalb bis vier bar am Regner sowie gleichmäßige Wasserverteilung ähnelt die Sprinklerberegnung ebenfalls der Rohrberegnungstechnik. Als zentraler Unterschied dazu liegen die Investitionskosten für dieses Verfahren jedoch rund 50 % unter dem Kapitalbedarf für eine Rohrberegnungsanlage. Der Autor verweist allerdings auf die arbeitsintensive Montage und Demontage und entsprechend vorwiegende Verwendung beim Anbau wertschöpfungsstarker Kulturen (Riedel, 2017).

3.1.4 Mikrobewässerung

Die effizienteste Verwendung von Zusatzwasser ergibt sich durch Nutzung von Verfahren aus dem Bereich der Mikrobewässerung. Im direkten Vergleich mit den bereits behandelten Beregnungsverfahren beinhaltet die Mikrobewässerung das größte Potenzial zur Einsparung von Wasser (Patt und Fitzthum, 2021).

Wie in *Abbildung 3* dargestellt, umfasst der Bereich der Mikrobewässerung sowohl ober- als auch unterirdische Systeme zur Applikation des Zusatzwassers. Oberirdisch arbeitende Tropf- und Sprühbewässerung unterscheiden sich insbesondere im Hinblick auf Durchflussmenge und bewässerte Fläche. Während bei der Tropfbewässerung pro Stunde etwa 1 - 6 l Wasser je

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

Durchlassöffnung auf eine punktförmige Fläche um die Öffnung im Schlauchgewebe abgegeben werden (*Abbildung 10*), arbeiten Sprühhewässerungsanlagen mit einer rund 10-fachen Wassermenge auf einer deutlich größeren Fläche zwischen 0,75 und 12 m² (Sourell, 2014).



Abbildung 10: Oberirdische Tropfbewässerung zwischen Kartoffeldämmen, Bildquelle: Fricke (LWK Niedersachsen)

Namensgebend für die Tropfbewässerung ist die tropfenweise Durchfeuchtung des Wurzelbereichs mit Wasser. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus drei zentralen Komponenten. Dazu zählt die Kopfeinheit, welche für Ansteuerung, Druckregelung zwischen Zuleitung und System und Filterung des Wassers verantwortlich ist. Auf diesem Wege lassen sich die Pflanzen zudem mit Nährstoffen versorgen, die dem Wasser optional beigemischt werden können. Dieser Vorgang wird als Fertigation bezeichnet. Das Leitungssystem in Form einer Hauptleitung und angeschlossener Verteilleitungen bildet eine weitere Systemkomponente. Als dritte Komponente werden die Bauteile des Tropfsystems daran angeschlossen. Je nach Verwendungszweck kommen Tropfleitungen, Schläuche mit Tropfauslässen oder sogenannte Einzeltropfer zum Einsatz. Diese unterscheiden sich in Bezug auf ihre jeweilige Einsatzdauer und Wiederverwendbarkeit. Tropfschläuche werden in der Regel lediglich einmalig installiert und teilweise für eine Dauer von mehreren Jahren verwendet. Die Möglichkeit eines Ab- und anschließenden Wiederaufbaus ist hingegen eher bei den stabileren Tropfleitungen gegeben. Durch die Verwendung von Einzeltropfern ergibt sich zudem die Möglichkeit einer Anpassung der Durchflussrate zur individuellen Versorgung einzelner Pflanzen mit unterschiedlichem Wasserbedarf. Den Systemvorteilen der Tropfbewässerung stehen insbesondere Nachteile durch den großen Arbeitsaufwand bei der Installation und Deinstallation der Anlagen gegenüber. Dies kann nicht durch den im Vergleich mit anderen

Bewässerungssystemen geringen Arbeitsaufwand während der Bewässerungssaison kompensiert werden (Patt und Fitzthum 2021, Anter et al., 2013).

Durch den exakten Bewässerungseinsatz lassen sich kulturabhängig Mehrerträge von bis zu 20 % erzielen und Wasserverluste minimieren. Aufgrund der Systemkosten kommt die Tropfbewässerung als teuerste Variante der Applikation von Zusatzwasser in Deutschland primär beim Anbau umsatzstarker Sonderkulturen wie Spargel, Zucchini, Erdbeeren und Strauchobst sowie teilweise Kartoffeln zum Einsatz. Durch Kartoffelanbau im Damm ergibt sich eine optimale Ausgangssituation für die Installation einer Tropfbewässerung, der allerdings die Kosten dieses Systems gegenüberstehen (Fricke 2022, de Witte 2022).

Müller (2011) nennt als potenzielle Anwendungsformen der Tropfbewässerung beim Kartoffelanbau die Dammkronen- und Zwischendammbewässerung. Beim sogenannten Dammkronenverfahren wird der Tropfschlauch im Kronenbereich jedes Dammes verlegt. Bei einem Abstand von 30 cm zwischen den einzelnen Tropfern ergibt sich eine Tropfstellenzahl von 4,4 pro m². Im Gegensatz dazu kommt die Zwischendammbewässerung (wie in *Abbildung 10* dargestellt) bei gleichem Tropferabstand mit lediglich 2,2 Tropfstellen pro m² aus, woraus wiederum eine Reduktion der insgesamt durchfeuchteten Fläche von 18 % im Vergleich zu 36 % beim aufwendigeren Kronendammverfahren resultiert. Vor dem Hintergrund der Sicherung guter Erträge und Qualitäten spielt die konstante Feuchthaltung des Kernbereiches im Kartoffeldamm ab dem Auflaufzeitpunkt der Pflanzen eine zentrale Rolle. Diese Zielsetzung wird laut Müller (2011) auf tonigen Böden sowohl durch das Dammkronenverfahren als auch das wassersparende Zwischendammbewässerungsverfahren erreicht. Auf leichteren Standorten mit sandigen Böden hingegen werden die Anforderungen lediglich durch das Dammkronenverfahren erfüllt. Die Systemvorteile der Tropfbewässerung kommen laut Müller (2011) insbesondere bei einer kulturspezifisch differenzierten Bewässerung auf Schlägen mit uneinheitlichen Formvorgaben und bei einem geringen Wasserangebot, insbesondere in sandigen Trockengebieten zum Tragen. Aus ökonomischer Sicht verweist der Autor zudem auf die Notwendigkeit guter Erzeugerpreise als Voraussetzung für die Wahl dieses Bewässerungsverfahrens.

Mobile Tropfbewässerungsanlagen sind eine Weiterentwicklung, bei der Mikrobewässerung mit den Flexibilitäts- und Kostenvorteilen der mobilen Bewässerungstechnik kombiniert wird. Bei diesem System werden die üblicherweise verwendeten Düsen durch Tropfrohren ersetzt, welche durch den Bestand geschleppt werden. Durch den Einsatz dieser Technik bleiben die Pflanzen weitestgehend trocken und das Wasser kann zielgerichtet dem Wurzelbereich zugeführt werden. Verglichen mit mobilen Beregnungsverfahren, die in Teil 3.1.1 behandelt wurden, ergibt sich eine höhere Wassereffizienz in Kombination mit dem Wegfall von Wasserverlusten durch Windeinwirkung sowie ein geringerer Druckbedarf des Verfahrens. Auf der Vergleichsebene mit der Kreisberegnungstechnik ergibt sich ein Einsparpotenzial von bis zu 50 % beim Energieeinsatz und 10 bis 20 % beim Wasserbedarf, denen allerdings höhere Verfahrenskosten gegenüberstehen (Sourell 2006, Sourell 2014).

Die Sprühbewässerung als zweite oberirdische Form der Mikrobewässerung hat denselben Systemaufbau wie die Tropfbewässerung. Der zentrale Unterschied liegt, neben den bereits benannten Durchflussmengen, in der Verwendung von Mikrodüsen. Diese gewährleisten anstelle der Abgabe in Tropfenform eine schleier- oder einzelstrahlartige Verteilung des

Zusatzwassers auf der Fläche. Das Verfahren spielt in der Bewässerungslandwirtschaft in Mitteleuropa bislang eine untergeordnete Rolle (Sourell, 2010).

Sourell (2006) ordnet die Kleinregner als eine weitere Systemlösung der oberirdischen Mikrobewässerung ein. Die Technik, welche auch als Mikrodrehstrahlregner bezeichnet wird, ähnelt vom Aufbau der Reihenregnertechnik, welche in Kapitel 3.1.2 beschrieben wurde. Die Unterschiede zwischen den Verfahren liegen in der geringeren Durchflussmenge und Wurfweite, die sich aus dem niedrigeren Betriebsdruck der Anlage ergeben.

Sowohl im Fall der Sprühbewässerung als auch der Kleinregner erfolgt die Applikation des Wassers oberhalb des Wurzelbereiches der Pflanze, die Höhe lässt sich durch die Verwendung von Stativen oder Erdspießen variieren. Der Vorteil beider Systeme liegt in einer gleichmäßigen Bodendurchfeuchtung (Patt und Fitzthum, 2021).

Der Bereich unterirdischer Mikrobewässerungsverfahren wird von Lüttger et al. (2005) nach unterschiedlichen Einsatzhorizonten untergliedert (*Abbildung 3*). Zur Versorgung einjähriger Kulturen werden primär flache Systeme in einer Bodentiefe von fünf bis zehn Zentimetern eingesetzt. Bei mehrjährigen Mikrobewässerungsanlagen im Unterflurverfahren werden häufig Verlegetiefen von 20 bis 30 cm gewählt, was eine flache Bodenbearbeitung nötig macht (Rößler und Albrecht, 2002).

Der grundlegende Aufbau einer Unterflurtropfbewässerung entspricht weitestgehend dem einer oberirdischen Tropfbewässerungsanlage. Primär kommt die Technik bei Sonderkulturen wie Spargel oder Erdbeeren zum Einsatz (siehe *Abbildung 11*). Darüber hinaus wird Unterflurtropfbewässerung teilweise auch beim Kartoffelanbau genutzt. Die Systeme arbeiten üblicherweise mit einem Druck zwischen 0,5 und 1,0 bar, die Durchfeuchtung des Bodens um den Schlauchauslass von rund 1 bis 4 l/h ist mit dem Leistungspotenzial oberirdischer Tropfbewässerungsanlagen vergleichbar (Sourell, 2014).



Abbildung 11: Unterflurtropfbewässerung, Bildquelle: Saelens GmbH

Als besondere Vorteile unterirdischer Bewässerung nennt Achtnich (1980a) die geringen Verluste durch Evaporation sowie die Vermeidung von Beeinträchtigungen an der Bodenoberfläche. Dazu zählen Verschlammungen und Verkrustungen, die bei oberirdischen Verfahren teilweise auftreten. Die Versickerung natürlicher Niederschläge wird erleichtert und

damit das Erosionsrisiko vermindert. Weiterhin werden durch präzise Anpassung an den Kulturbedarf sowohl der Unkrautdruck als auch die benötigte Wassermenge reduziert. Während die Bodenoberfläche trocken bleibt, wird die Wurzelzone der Kulturpflanzen gleichmäßig durchfeuchtet.

Aufgrund der geringen Zusatzwassermengen kann bei der unterirdischen Mikrobewässerung ein Abfluss und die Versickerung in tiefere Bodenschichten ausgeschlossen werden. Insgesamt lässt sich die Effizienz der Applikation des Zusatzwassers durch dieses Verfahren auf bis zu 90 % steigern. Der Arbeitsaufwand ist von der Installation und Deinstallation des Systems abgesehen gering, dieser Verfahrensvorteil kommt insbesondere bei Einsatzzeiten über mehrere Jahre hinweg zum Tragen (Southorn, 1997).

Ein Systemnachteil des Unterflurverfahrens ist der Umstand, dass sich die Funktion der Bewässerung nicht anhand einer Sichtkontrolle überprüfen lässt. Insbesondere flachwurzelnde Kulturen neigen zudem zum Eindringen von Wurzeln in die Tropfer. Außerdem besteht das Risiko einer Verschlammung von Anlagenbestandteilen und dem Verstopfen der Auslässe. Eine Fehlersuche und Behebung der Störungsursache ist aufwendig und mit entsprechend hohen Kosten verbunden (Achtlich, 1980a).

Rößler und Albrecht (2002) verweisen aufgrund eigener Versuche mit Feldgemüse auf die Notwendigkeit einer Befeuchtung der Anbaufläche nach der Kulturpflanzung mittels oberirdischer Zusatzwasserapplikation, sofern besonders trockene Bodenbedingungen vorliegen. Ursächlich dafür ist aus Autorsicht die Distanz zwischen Wurzelbereich der Kultur und durchfeuchteter Bodenzone, die auch durch unterirdische Tropfbewässerung im Vorfeld der Pflanzung nicht ausreichend überbrückt werden kann.

Bei der Nutzung von Einmal-Tropfschläuchen in ober- oder unterirdischen Mikrobewässerungssystemen für annuelle Kulturen ergibt sich zudem eine ökologische und ökonomische Belastung. Im Zuge wissenschaftlicher Untersuchungen werden Lösungen auf Kunststoffbasis als Alternative zur bislang verbreiteten Mikrobewässerung erforscht. Dabei handelt es sich um einen Bewässerungssperlschlauch aus recycelten Materialien, der rund zwei Drittel aufbereitetes Gummigranulat von Altreifen und ein Drittel recyceltes Polyethylen enthält. Das System verfügt im Unterschied zu bisher unterirdisch eingesetzten Mikrobewässerungseinrichtungen nicht über Auslassöffnungen in regelmäßigen Abständen sondern ist über die gesamte Länge hinweg wasserdurchlässig. Aufgrund des geringen Porendurchmessers des Materials wird ein vorgeschalteter Filter zum Zurückhalten von Schwebstoffen benötigt, um Verstopfungen des Gewebes zu vermeiden. Das System arbeitet zudem mit einem sehr geringen Eingangsdruck von 0,2 bar. Als Ziel der weiteren Entwicklung wird eine Einsatzzeit von 25 Jahren angestrebt (Anlauf et al., 2018).

3.2 Bewässerungssteuerung

Die Steuerung von Bewässerungsanlagen ermöglicht nach Fricke (2017) die Wahl des optimalen Zeitpunktes zur Beregnung einer Kultur und die Applikation der exakten Wassermenge. Paschold (2004) definiert Bewässerungssteuerung als die auf objektiven Kriterien beruhende Wahl des Zeitpunktes, der Häufigkeit und Menge beim Einsatz von Zusatzwasser.

Kleber (2014) nennt als Grundlagen für die Notwendigkeit der Steuerung von Bewässerung etwa den unterschiedlichen Wasserbedarf verschiedener Kulturen sowie innerhalb einer Kultur über die verschiedenen Wachstumsphasen hinweg. Sowohl eine Unter- als auch Überversorgung der Kultur mit Zusatzwasser können sich negativ auswirken. Auf der einen Seite besteht etwa das Risiko, die Pflanze durch eine zu geringe Bewässerung einem Trockenstress auszusetzen. Andererseits verweist der Autor darauf, dass die Blattmasse der Pflanzen durch wenige große Wassergaben seltener angefeuchtet wird, was zu einem verstärkten Wurzelwachstum in tiefere Bodenschichten führt. Zu große Intensität einer Bewässerung birgt hingegen das Risiko eines Sauerstoffmangels im Boden. Paschold (2004) verweist darauf, dass ein Überangebot an Wasser auch eine Auswaschung von Nährstoffen in das Grundwasser bedeuten kann. Die Unterversorgung mit Wasser führt zu einer mangelnden Mineralisierung von Nährstoffen aus organischem Dünger sowie der Problematik, dass Mineraldüngemittel nicht bis zur Wurzelzone der Pflanzen vordringen. Aus diesem Grunde erfolgt in der Praxis häufig ein Nachdüngen, was als Konsequenz im Herbst zu überhöhten Stickstoffgehalten im Boden führt.

Gemäß Vorsorgegrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes ist sowohl eine vermeidbare Beeinträchtigung des ober- und unterirdischen Wassers zu vermeiden als auch ein hohes Schutzniveau für die Umwelt sicherzustellen. Diese Anforderungen werden auch durch die Zielvorgaben und Bewirtschaftungsregeln deutlich, die in der Wasserrahmenrichtlinie ausgeführt werden (BMUV, 2022).

Zur Organisation der Bewässerungssteuerung finden eine Vielzahl verschiedener Parameter wie der Startzeitpunkt, die vom Wachstumsstadium abhängige Dimensionierung der Gabe und die Frage nach den Bewässerungsintervallen Berücksichtigung. Die Rahmenbedingungen werden aufgrund standortbezogener Angaben festgelegt. Von besonderer Aussagekraft hierfür sind pflanzenverfügbare Wasserhaltefähigkeit des Bodens, Durchwurzelungstiefe der Kultur sowie aktuelle Werte zur Bodenfeuchte und Verdunstung am Standort (Riedel, 2017).

Als vier grundlegende Strategien sieht auch Paschold (2004) die Bewässerungssteuerung in Abhängigkeit von der Klimatischen Wasserbilanz, auf Basis einer Überwachung der Bodenfeuchte, von Messungen direkt an der Pflanze oder durch die Regelung der Bewässerung auf Basis der komplexen Modelle des Systems Pflanze-Umwelt. Die beiden erstgenannten Lösungsstrategien sind bereits für den Einsatz in der Praxis ausgereift.

3.2.1 Klimatische Wasserbilanz

Laut Definition bildet die Klimatische Wasserbilanz (*KWB*) die Differenz von Niederschlag (*P*) und potenzieller Evapotranspiration (*ET_p*) ab, sie wird nach Michel (2014) durch folgende Formel ausgedrückt:

$$KWB = P - ET_p$$

Die potenzielle Evapotranspiration wiederum bezeichnet die Wassermenge, die ein Pflanzenbestand bei ausreichender Versorgung mit Nährstoffen und Wasser durch Wasserdampf maximal an die Atmosphäre abgeben kann (DWD, 2022a).

Die Klimatische Wasserbilanz stellt eine wichtige Größe für die Bewässerungswirtschaft dar. Die Angaben zur potenziellen Verdunstung basieren dabei auf der Annahme einer optimalen

Wasserversorgung. Der Betrag, das Vorzeichen und der Verlauf der Klimatischen Wasserbilanz lassen Rückschlüsse auf die natürliche Vegetationsform in einer Region zu. Daraus wird ersichtlich, ob und in welcher Menge der Einsatz von Zusatzwasser nötig ist. Ein positiver Wert der Klimatischen Wasserbilanz verweist auf einen höheren Niederschlags- als Verdunstungswert. Die Aussage eines negativen Wertes hingegen ist, dass eine größere Wassermenge verdunstet als durch Niederschläge wieder hinzukommt (Häckel, 2008). Als einheitliche Grundlage für die Berechnung der potenziellen Evapotranspiration empfiehlt die Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) einen Referenzwert. Dieser bezieht sich auf einen dichten Grasbestand mit einer Länge von 12 cm, welcher konstant feuchtgehalten wird (Günther, 2014).

Die Referenzverdunstung wird als ET_0 bezeichnet und dient der Untersuchung des Verdunstungsbedarfes der Atmosphäre unabhängig von der Art und Entwicklung der angebauten Kultur sowie der durchgeführten Bewirtschaftungspraktiken. Aufgrund der unlimitierten Wasserversorgung spielen Bodenfaktoren bei diesem Konzept keine Rolle. Die Berechnung von ET_0 wird mithilfe der sogenannten Penman-Monteith-Gleichung auf der Basis von Klimafaktoren durchgeführt. Dieses Konzept wird genutzt, da es physikalisch begründet ist und physiologische sowie aerodynamische Parameter mit einbezieht (Allen et al., 1998). Auf Basis der Referenzverdunstung ET_0 erfolgt die Ableitung der tatsächlichen Verdunstung von Ackerkulturen und Grünland durch die Anpassung in zwei Folgeschritten, die in *Abbildung 12* dargestellt sind.

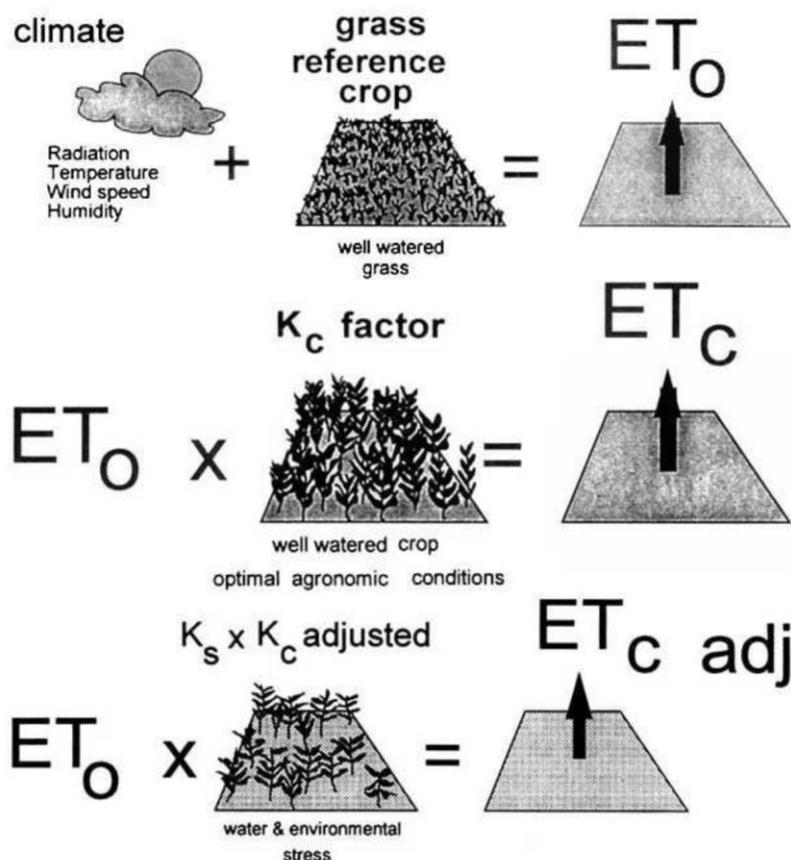


Abbildung 12: Referenzverdunstung, Evapotranspiration der Pflanzen unter Standard- sowie Nicht-Standardbedingungen, Quelle: Allen et al. (1998)

Durch die Anpassung mit einem Vegetationskoeffizienten (K_C) wird die Verdunstung einer Kultur unter gut bewässerten Bedingungen als ET_C abgebildet (Calanca et al., 2011). Dieser Wert der Evapotranspiration gilt für einen krankheitsfreien, gut gedüngten Nutzpflanzenbestand, der sich unter optimalen Bodenbedingungen und gegebenen Klimaverhältnissen entwickelt. Die Verdunstungsleistung des Referenzbestandes unterscheidet sich im Vergleich zum jeweilig vorliegenden Kulturpflanzenbestand unter denselben klimatischen Bedingungen aufgrund verschiedener Parameter. Beispielfhaft zu nennen sind eine variierende Blattanatomie, stomatäre und aerodynamische Eigenschaften und unterschiedliche Albedo-Werte (Allen et al., 1998). Sowohl der Art und Öffnungsweite der Stomata wie auch der aerodynamischen Grenzschicht eines Blattes kommen große Bedeutung bei der Transpiration zu (Körner, 2014). Als Albedo wird die sogenannte Reflexzahl bezeichnet, welche sich in Abhängigkeit von verschiedenen Oberflächen unterscheidet. Sie gibt die Fähigkeit zur Rückstrahlung auftreffender Sonnenenergie an und wird mit zunehmender reflektierter Energie größer (van Eimern und Häckel, 1984).

Der Vegetationskoeffizient (K_C) verändert sich abhängig von den Entwicklungsstadien einer Kultur. Auf internationaler Ebene erfolgt die Zuordnung zu „frühen“, „mittleren“ und „späten“ Kulturstadien, die jeweils im Einzelfall zu bestimmen sind. Bedingt durch diesen Entscheidungsspielraum können erhebliche Unterschiede bei der Anwendung des K_C -Wertes auftreten (Paschold, 2010).

Im dritten Schritt erfolgt die Anpassung der Referenzverdunstung ET_0 zu $ET_{C\text{adj}}$. Dieser Wert gibt Auskunft über die Evapotranspiration von Nutzpflanzen unter Bewirtschaftungs- und Umweltbedingungen, die von den Standardbedingungen abweichen. In diesem Kontext finden Einflüsse durch Schädlinge und Krankheiten sowie Bodenversalzung und eine geringe Bodenfruchtbarkeit Berücksichtigung. Zusätzlich werden die Folgen einer Über- oder Unterversorgung mit Wasser, Staunässe und Wassermangel abgebildet, deren Konsequenz ein dürrtiges Wachstum des Bestandes sowie eine verringerte Pflanzendichte sein kann, die zur Absenkung der Evapotranspiration unter den ET_C -Wert beiträgt. Diese Einflüsse lassen sich durch die Verwendung eines Wasserstresskoeffizienten K_S (siehe *Abbildung 12*) oder die Anpassung des Vegetationskoeffizienten (K_C) an die vorliegenden Umweltbedingungen und Belastungen für die Nutzpflanze abbilden (Allen et al., 1998).

3.2.2 Geisenheimer Methode

Die Bewässerungssteuerung mittels „Geisenheimer Methode“ basiert auf der oben erläuterten Grundlage zur Berechnung der Klimatischen Wasserbilanz, ergänzt um die Bestimmung der Vegetationskoeffizienten (K_C) für den Standort Geisenheim. Die K_C -Werte werden durch experimentelle Feldversuche und den Einsatz von Lysimetern erhoben und stetig fortgeführt. Dadurch werden variable Faktoren wie ein sich veränderndes Ertragsniveau und Sortenspektrum stets aktuell abgebildet (Paschold, 2010).

Bei einem Lysimeter handelt es sich um eine Einrichtung zur Bestimmung von Wasser- und Stoffhaushaltsgrößen im Boden. Das Funktionsprinzip der Anlagen, die sich unterhalb der Geländeoberfläche befinden, basiert auf der Grundlage der Gewichtserfassung. Über eine Gewichtszunahme werden Niederschläge abgebildet, aus der Gewichtsreduktion lässt sich die Verdunstung ermitteln. Zusätzlich ergeben sich durch die ermittelten Zuwächse an

Pflanzentrockenmasse auch Hinweise auf die Effektivität der Kultur bei der Umsetzung von Wasser in Biomasse. Um repräsentative Ergebnisse zu erzeugen, werden die Anlagen stets mittig in einem gleichmäßig bewachsenen Bestand installiert. Lysimeter kommen neben der Untersuchung der Verdunstung von Pflanzen auch zur Untersuchung von Nähr- und Schadstoffauswaschungen aus dem Wurzelbereich eines Pflanzenbestandes zum Einsatz (Knoblauch, 2020).

Die Bewässerungssteuerung auf Grundlage der Klimatischen Wasserbilanz, wie im Fall der Geisenheimer Methode ist laut Kleber (2014) besonders für flächige Bewässerungsverfahren geeignet. Dazu zählt Kreis- und Linearberechnungstechnik genauso wie Rohrberegnung oder Einzelregner und Düsenwagen, die bereits im Teil 0 behandelt wurden.

Wie von Zinkernagel et al. (2017) beschrieben, wird das Modell der Geisenheimer Steuerung zur Berechnung der täglichen Wasserbilanz in vier Ablaufschritte gegliedert. Zunächst erfolgt das Auffüllen der Wasservorräte im Boden auf rund 90 % nutzbarer Feldkapazität.

Die nutzbare Feldkapazität (nFk) ist einer der hydrologischen Kennwerte zur quantitativen Beschreibung der Wasserspeicherfähigkeit von Böden und ihrem Vermögen zur Versorgung von Nutzpflanzen mit Wasser, die in *Abbildung 13* dargestellt sind. Als Grundlage dieser Einordnung dient die Wasserspannungsfunktion, die darüber hinaus auch für den Bodenlufthaushalt entscheidend ist (Michel, 2014). Die nutzbare Feldkapazität ergibt sich nach Achtnich (1980b) aus der Differenz zwischen Feldkapazität (FK) und permanentem Welkepunkt (PWP). Sie bewegt sich laut Autor im Bereich von sechs Vol.% bei Sand und 24 Vol.% bei Lehm. Als Feldkapazität wiederum wird die Wassermenge bezeichnet, welche der Boden gegen die Schwerkraft halten kann. Der Welkepunkt wird bodenphysikalisch 63 cm oberhalb der Grundwasseroberfläche verortet, wodurch sich eine Saugspannung (Stärke der Bindung von Bodenwasser an das Substrat) von -63 Hektopascal (hPa) ergibt.

Bei Betrachtung des Bodens als Dreiphasensystem spielt neben Festsubstanz und Bodenwasser, das als schwache Lösung auch Salze und organische Stoffe enthält, ebenfalls die Dimension der vorhandenen Bodenluft eine wichtige Rolle. Der Anteil des Porenvolumens im Boden, welcher kein Bodenwasser enthält, ist mit Luft gefüllt. Der Boden bewegt sich zwischen wasserungesättigtem und wassergesättigtem Zustand, wobei eine vollständige Sättigung zur Verdrängung der Bodenluft im Porenraum und entsprechendem Sauerstoffmangel mit Absterben von Pflanzenwurzeln im Boden führt (Brückner, 1994).

Aufgrund der Erdbeschleunigung hat das in den Bodenporen befindliche Wasser das Bestreben, den tiefsten Punkt im Porenraum zu erreichen. Die Bindungsstärke des Wassers nimmt mit einem steigenden Tongehalt stetig zu. Sie ist zudem abhängig von der Porengrößenverteilung und Körnung eines Bodens. Entsprechend resultiert für Sandböden eine geringe Bindungsstärke des Bodenwassers, die bei Schluffböden erhöht ist und bei Tonböden am stärksten ausgeprägt ist (Amelung et al., 2018).

Der Begriff des permanenten Welkepunktes bezeichnet laut Michel (2014) den Wassergehalt im Boden, ab dem die Nutzpflanzen das vorhandene Bodenwasser aufgrund der zu hohen Saugspannung nicht mehr nutzen können. Der Autor nennt als Saugspannungswert für diesen

Zustand -15000 hPa. Wie in *Abbildung 13* erkennbar, wird der Bodenwasseranteil, der nicht mehr durch die Pflanzen genutzt werden kann, als Totwasser bezeichnet.

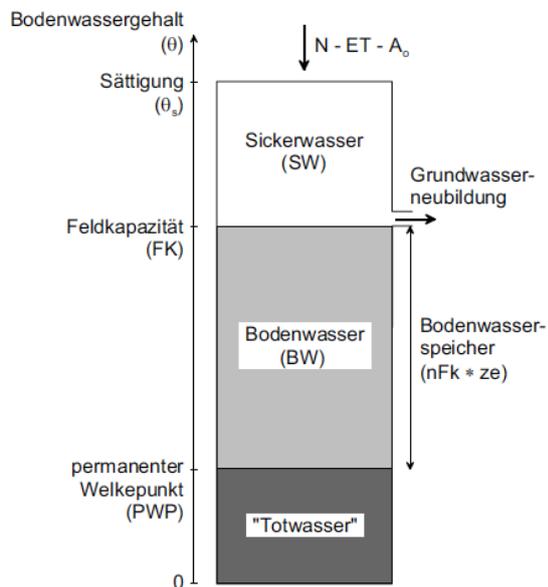


Abbildung 13: Bodenwasserspeichermodell, Quelle: Mohrlök (2009)

Durch die aufgefüllten Bodenwasservorräte ergibt sich ein definierter Startwert für das Modell. Im zweiten Schritt wird die Berechnungsmenge je Einzelgabe festgelegt, welche durch die Durchwurzelungstiefe in der betreffenden Entwicklungsphase der Kultur beeinflusst wird. Zielsetzung ist es, die Wassergabe so anzupassen, dass stets eine Durchfeuchtung der durchwurzelten Zone gegeben ist. Anschließend erfolgt die Berechnung der Tagesbilanz unter Berücksichtigung des Niederschlages (N) sowie des Referenzverdunstungswertes (ET_0) und des jeweiligen Vegetationskoeffizienten (K_C) mithilfe folgender Formel:

$$\text{Tagesbilanz} = N - (ET_0 \times K_C)$$

Als letzter Ablaufschritt erfolgt die Berechnung der Gesamtbilanz durch Aufsummieren der ermittelten täglichen Wasserbilanzen, aus der die Ermittlung des Bewässerungszeitpunktes resultiert (Zinkernagel et al., 2017).

3.2.3 Bodenfeuchtesensoren

Wie bereits erwähnt, nennt Paschold (2004) die Bodenfeuchtemessung mittels Feuchtesensoren als mögliche Alternative zur Bewässerungssteuerung in Abhängigkeit von der Klimatischen Wasserbilanz. Diese Methode wird sowohl beim flächigen Zusatzwassereinsatz in Form von Beregnung (siehe *Abbildung 3*) sowie bei der Verwendung von Tropfbewässerungsanlagen genutzt. Im Falle flächiger Verfahren gilt es zu beachten, dass durch Bodenfeuchtesensoren lediglich ein punktförmiger Bereich um den Sensor herum erfasst wird. Bedingt durch Unterschiede in der Fläche, etwa Bodenunterschiede und einen zufällig höheren Wasserbedarf an der Messstelle im Vergleich zur Gesamtfläche, besteht das Risiko einer fälschlichen Abbildung des tatsächlichen Bodenfeuchtezustandes durch die ermittelten Sensorwerte (Anter et al., 2013).

Aus diesem Grunde wird die Steuerung flächiger Bewässerungsverfahren nicht auf der alleinigen Grundlage von Bodenfeuchtesensoren empfohlen. Die Sensortechnik ist hingegen gut geeignet, um eine standortbezogene Veränderung des Bodenfeuchtegehaltes über die Vegetationsperiode hinweg abzubilden. Allgemein gilt es, bei der Verwendung von Bodenfeuchtesensoren verschiedene Aspekte zu beachten. Zunächst ist der ungestörte Kontakt mit dem umgebenden Boden ausschlaggebend für zuverlässige Ergebnisse. Zur Gewährleistung dessen wird der Sensor in ein vorgebohrtes und wieder verfülltes Loch eingebracht, dessen Durchmesser in geringem Umfang größer als der Sensor selbst ist. Das Füllmaterial wird aus gesiebttem Boden und Wasser hergestellt. Weitere Anforderungen an die Installation eines Bodenfeuchtesensors sind das Vermeiden von Bodenverdichtungen im Umfeldbereich sowie die Wahl eines möglichst repräsentativen Einsatzortes. Abhängig von der Intensität der Standortunterschiede und abweichenden Pflanzenentwicklung ist die Verwendung von Kontrollsensoren angeraten (Paschold, 2010).

Üblicherweise werden Tensiometer zur Messung der Saugspannung im Boden verwendet. Der Geräteaufbau zweier Bauformen, als elektronisches und herkömmliches Tensiometer mit einem analog arbeitenden Manometer sind in *Abbildung 14* dargestellt.

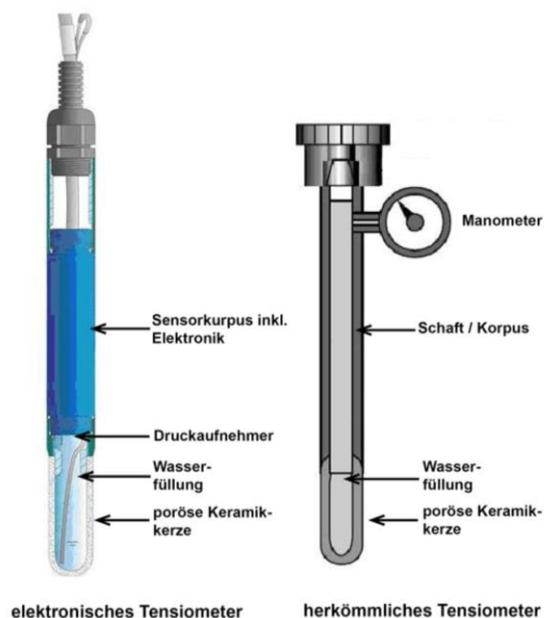


Abbildung 14: Aufbau eines elektronischen und herkömmlichen Tensiometers, Bildquelle: Umwelt und Energie Kanton Luzern (2022)

Das Gerät verfügt in beiden Fällen über eine Tensiometerzelle, die als wasserdurchlässige Keramikkerze ausgeführt ist. Zur Erreichung eines Spannungsgleichgewichts zwischen Boden und Tensiometerzelle findet je nach Bodenfeuchte ein geringer Wasseraustausch statt. Folglich tritt im Gerät eine Spannung auf, die gemessen wird. Abhängig vom Gerätetyp erfolgt diese Erfassung mittels elektronischen Sensors oder Manometer (Günther et al., 2014).

Nach einem anderen Funktionsprinzip arbeiten die Bodensensortypen Gipsblock und Watermark, die in *Abbildung 15* dargestellt sind. Die vom Wassergehalt im Boden abhängige Leitfähigkeit liegt der Wasserspannungsmessung zugrunde. Der Gipsblock beinhaltet spiralförmig angeordnete Elektroden, durch deren Leitfähigkeit sich die Wasserspannung im

Umgebungsbereich des Sensors ermitteln lässt. Bei hohen Bodenfeuchtegehalten verlieren die Messwerte des Sensors an Aussagekraft, der Gipsmantel löst sich zudem relativ schnell auf. Der Watermark Sensor unterscheidet sich zum Gipsblock vom Aufbau her durch die Verwendung gipsgetränktes Gewebes in Schichtanordnung anstelle einer massiven Gipsummantelung. Bei beiden Sensoren ist ein Lesegerät zur Ermittlung der Bodenfeuchte notwendig (Rupp, 2022).

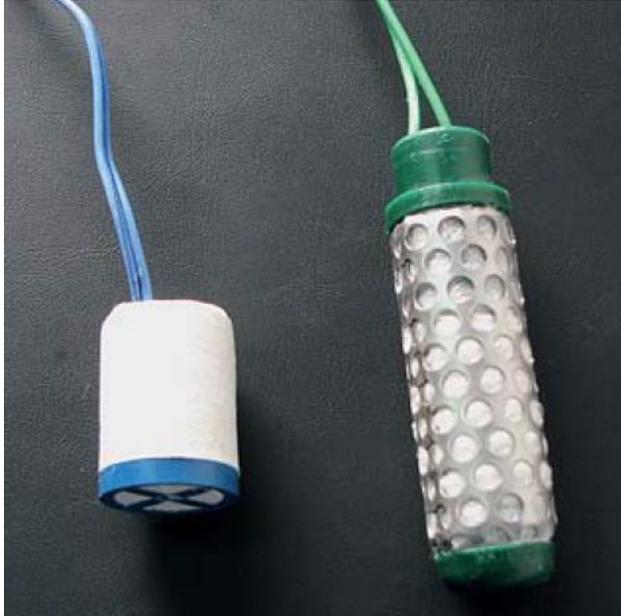


Abbildung 15: Gipsblock (links) und Watermark Sensor (rechts), Quelle: Bodenfeuchtemessung - Grundlage für die Bewässerung im Weinbau

Der Watermark Sensor gilt durch die Verwendung eines Edelmantels als Weiterentwicklung des Gipsblocks. Bedingt durch den angepassten Aufbau ergibt sich eine Verlängerung der Lebensdauer des Sensors bis zu fünf Jahren gegenüber einer Einsatzzeit von zwei Jahren bei der Verwendung des Gipsblocks. Als Alternative zu einem Handauslesegerät stehen mittlerweile auch Möglichkeiten zur Kombination der Sensoren mit Datensammlern oder Wetterstationen zur Verfügung, die den Datenabruf vereinfachen (Pertoll, 2008).

Als weitere Alternative zu den genannten Bodenfeuchtesensoren verweist Paschold (2010) auf den Einsatz von Trime-Bodenfeuchtemessgeräten (TDR) sowie Thetasonden (FDR). Beide Verfahren nutzen die Laufzeit elektromagnetischer Wellen zur Messung des volumetrischen Wassergehaltes und werden in unterschiedlichen Ausführungen angeboten. Sofern die Sensoren an die jeweilige Bodenart angepasst sind, liefern sie zuverlässige Ergebnisse zur absoluten Bodenfeuchte. Die Ermittlung der absoluten Bodenfeuchte ist im Vergleich zu den vorgenannten Verfahren ein Alleinstellungsmerkmal. Im direkten Vergleich sind TDR/FDR-Sensoren allerdings relativ teuer, weshalb der Einsatzbereich primär in der Forschung und bei wissenschaftlichen Praxisversuchen liegt.

Die Entscheidung für eine der beiden praxiserprobten Strategien zur Steuerung von Bewässerungsanlagen, auf Grundlage der Klimatischen Wasserbilanz oder anhand von Messergebnissen zur Bodenfeuchte, findet nach einer Abwägung der Vor- und Nachteile beider Verfahren statt.

Laut Paschold (2004) sprechen mehrere Argumente für die Steuerung auf Grundlage der Geisenheimer Methode, die auf der Klimatischen Wasserbilanz basiert. Primär liegt der Vorteil darin, auf der Fläche keine Sensoren zu benötigen. Dadurch ergeben sich weder Kosten für die Anschaffung und Installation noch für die Wartung. Zusätzlich lässt sich die Notwendigkeit zur Bewässerung in Perioden ohne Niederschlag im Vorfeld kalkulieren. Im Nachgang bietet das Verfahren zudem gute Möglichkeiten zur Dokumentation und als Nachweis der Bewässerung. Auf der anderen Seite stellt der Autor jedoch klar, dass sowohl eine Ermittlung der Bodenfeuchte vor Beregnungsbeginn als auch die Messung des Niederschlages während der Maßnahme in räumlicher Nähe der Kultur erforderlich sind. Beim Einsatz zur Steuerung einer Tropfbewässerungsanlage ist zudem eine Anpassung des Vegetationskoeffizienten notwendig (Sourell, 2009).

Im Vergleich dazu bietet die Steuerung aufgrund von Messergebnissen durch Bodenfeuchtesensoren Vorteile in Bezug auf eine schnelle Erfolgskontrolle der Bewässerungsmaßnahme sowie direkte Erkennbarkeit der Bodenfeuchte. Weiterhin ist die Niederschlagsmessung in Bestandsnähe nicht notwendig, eine Automatisierung der Steuerung von Tropfbewässerungsanlagen zudem möglich (Paschold, 2004). Den Vorteilen gegenüber stehen insbesondere Kosten für Anschaffung, Ein- und Ausbau sowie Wartung und Kontrolle der Bodenfeuchtesensoren. In Anbetracht der Schwierigkeit einer repräsentativen Standortwahl und unterschiedlicher Bedingungen innerhalb eines Schrages sind mehrere Sensoren angeraten. Auch bei Bewirtschaftungsmaßnahmen können sich Herausforderungen an den Sensorstandorten ergeben (Sourell, 2009).

3.2.4 Aktuelle Praxis und Ausblick Bewässerungssteuerung

In der Praxis ist die Steuerung der Freilandbewässerung nach betrieblicher Erfahrung bislang noch weit verbreitet. Hierdurch ist eine zeitweise Überversorgung des Pflanzenbestandes mit Wasser nicht unüblich. Von dieser Praxis wird insbesondere in Zeiten Gebrauch gemacht, in denen keine ausreichenden Beregnungskapazitäten für die optimale Wasserversorgung aller Kulturen zur Verfügung stehen (Anter et al., 2013).

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur direkten Beurteilung des Bodenzustandes. Direkte Verfahren werden Methoden genannt, die auf Bodenproben basieren. Dazu zählt etwa die Fingerprobe, welche die Beurteilung von Feuchtebereichen des Oberbodens ermöglicht. In Abhängigkeit der Konsistenz und Farbe der vorliegenden Bodenprobe erfolgt die Einordnung in die Feuchtigkeitsklassen trocken, schwach feucht (frisch), feucht, sehr feucht und nass. Diese Kategorien decken einen Saugspannungsbereich von $> 4,0$ pF (trocken) bis $< 1,4$ pF (nass) ab (Achnich, 1980b). Der pF-Wert entspricht nach Sponagel und Eckelmann (2005) dem dekadischen Logarithmus der Saugspannung, die in Teil 3.2.2 behandelt worden ist. Eine Schwachstelle der Fingerprobe ist die Notwendigkeit einer Bodenfeuchteermittlung in der Bewurzelungszone. Diese Bodentiefe wird mit der Methode nicht erreicht, was eine objektive Beurteilung erschwert (Bornwaßer et al., 2017).

Eine Beurteilung der Bodenfeuchte unterhalb der aufliegenden Bodenkrume im Bereich der Bewurzelungszone ermöglicht die Anwendung der Spatendiagnose. Bei dieser Methode entnimmt der Anwender zunächst ein kleines Bodenprofil in Spatentiefe, bevor der entnommene Boden durch Ausrollen auf Feuchtigkeit, Geruch, Gefüge und weitere Kriterien

hin beurteilt wird. Konkret erfolgt die Formung des Bodens zwischen zwei Handflächen, die Feuchtigkeit lässt sich aufgrund der beurteilten Formbarkeit tendenziell ableiten (Ziegler, 2012).

Da diese Methoden bei ausschließlichem Gebrauch nicht für eine objektive Beurteilung der Bodenfeuchtigkeit als Grundlage der Bewässerungssteuerung ausreichend sind, besteht nach Fricke (2017) zusätzlich die Möglichkeit, Empfehlungen und Hinweise von Beratern, etwa dem Fachverband Feldberegnung als zusätzliche Entscheidungsgrundlage mit in die Steuerung der Bewässerungsmaßnahmen einzubeziehen.

Perspektivisch wird die Bedeutung einer grafischen Abbildung des gesamtbetrieblichen Produktionsprozesses über Datenbanken und digitale Dienste zunehmen. Dies betrifft sowohl den Versorgungszustand der Pflanzen in Bezug auf Wasser als auch die Maschinensteuerung. In diesem Kontext kommt der intelligenten Verzahnung mit anderen Produktionsschritten, beispielsweise dem Pflanzenschutz und Erntemaßnahmen, eine entscheidende Rolle zu (Anter et al., 2013). Weiteres Entwicklungspotenzial liegt in der Nutzung internetbasierter Anwendungen wie etwa „DWD-agrowetter“ und „DWD-Beregnung“, die in Kapitel 0 thematisiert werden und dem Anwender schlagspezifische Empfehlungen zur Steuerung von Bewässerungssystemen geben.

Im Rahmen aktueller Forschung wird zudem die Option der Zusatzwassergabenregelung anhand der Beurteilung des Trockenstresses, dem eine Pflanze ausgesetzt ist, untersucht. Der Crop Water Stress Index (CWSI) bietet die Möglichkeit der Beurteilung dieses Stresslevels und dient der effizienten Vermeidung einer temporären Unterversorgung der Kulturpflanzen mit Wasser, die negative Auswirkungen auf Ertrag- und Qualität hat. Zur Berechnung präziser Ergebnisse des CWSI sind jedoch eine Vielzahl entsprechender Parameter notwendig. Dazu zählen beispielsweise Strahlungsdaten, Blattwiderstände und Windprofile im Bereich des jeweiligen Pflanzenbestandes. Diese Daten werden kulturspezifisch und teilweise standortbezogen erhoben, weshalb ein Einsatz unter Praxisbedingungen bislang kaum durchführbar ist. Auch durch potenzielle Störquellen, beispielsweise einen bedeckten Himmel, können die Ergebnisse verfälscht werden. Aus diesem Grunde ist die Steuerung der Bewässerung auf alleiniger Grundlage des CWSI bislang nicht praktikabel. Zur Optimierung des Modelles erfolgen perspektivisch weitere Messungen mit einer verbesserten Messtechnik und Umweltfaktoren finden verstärkt Berücksichtigung (Meinardi et al., 2021).

Im Bereich der Optimierung aktueller Modelle zur regionalen Wettervorhersage und dem teilflächenspezifischen Einsatz von Zusatzwasser arbeitet die Wissenschaft und Forschung am Einsatz fernerkundlicher- und Satellitendaten. Die Zielsetzung liegt hierbei ebenfalls in der Schaffung eines Modells, welches dem Anwender spezifische Informationen zu optimalen Zeitpunkten für den Einsatz von Zusatzwasser beim Kulturpflanzenanbau bereitstellt. Der unterschiedliche Zusatzwasserbedarf in den jeweiligen Schlagbereichen wird perspektivisch genauer erfasst und eine Ausbringung nicht benötigter Zusatzwassermengen vermieden (Pöhlitz et al., 2022).

Ein unterschiedlicher Bedarf ergibt sich bei heterogener Schlagbeschaffenheit im Hinblick auf die vorliegende Bodenart. Daraus resultiert unterschiedliches Wasserspeichervermögen, welches eine an Teilflächen angepasste Zusatzwasserapplikation erfordert. Die notwendige Vorbereitung setzt eine aufwendige Bodenprobenahme zur Erstellung einer Hofbodenkarte

sowie eine aktuelle Applikationskarte mit den jeweilig aufgetragenen Beregnungshöhen voraus (Sourell, 2006).

3.3 Bewässerungsbedürftigkeit und -würdigkeit von landwirtschaftlichen Kulturen

Eine Bewässerungsbedürftigkeit von Kulturpflanzen liegt nach Wolff (1981) bei einem Wassermangel vor, der sich auf den Pflanzenertrag auswirkt. Albrecht et al. (2004) ergänzen in diesem Kontext die Qualitätsminderung der Biomasseproduktion durch Wassermangel. Die hauptsächlichen Ursachen für einen Wassermangel der Pflanze ergeben sich aus Umweltfaktoren, welche die Bereiche Boden und Klima betreffen. In der Konsequenz lässt sich die Bewässerungsbedürftigkeit eines Standortes aufgrund bodenkundlicher und meteorologischer Faktoren beurteilen (Achnich, 1980b).

Der Zielkonflikt um die Verteilung und Nutzung der Ressource Wasser, welcher in Kapitel 5.3 weiterführend betrachtet wird, gewinnt perspektivisch an Bedeutung. Dadurch kommt der Bewertung der Bewässerungswürdigkeit für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen eine wichtige Funktion zu. Die räumliche Bewässerungsbedürftigkeit wird anhand des Verhältnisses von Evapotranspiration (ET) zur potenziellen Evapotranspiration (ET_p), der sogenannten relativen Evapotranspiration, beurteilt. Die relative Evaporation lässt sich wiederum in Bezug zum Verhältnis von aktuellem Biomassertrag (Y_{aktuell}) einer Kultur zu potenziell möglichem Ertrag (Y_{max}) setzen. Diese Größe erlaubt die Beurteilung trockenheitsbedingter Ertragsminderung landwirtschaftlicher Kulturen (Fuhrer und Jasper, 2009; Fuhrer, 2010). Die Bewässerungsbedürftigkeit wird zudem durch weitere grundlegende Rahmenbedingungen beeinflusst. Umso kleiner die Werte der nutzbaren Feldkapazität (nFk) und der Durchwurzelungstiefe, desto größer ist die Bewässerungsbedürftigkeit eines Standortes. Zusätzlich sorgen lange Vegetationsperioden und eine negative klimatische Wasserbilanz für große Mengen benötigten Zusatzwassers (Fitzthum et al., 2019).

Je nach Art der Zusatzwasserapplikation wird die Wirtschaftlichkeit der Intervention als Bewässerungs- oder Beregnungswürdigkeit bezeichnet. Zur Einordnung gebietsbezogener Bewässerungswürdigkeit in Mitteleuropa wird ein Messzahlensystem genutzt. Die sogenannte Beregnungsbedürftigkeits-Wertzahl setzt sich aus der Summe von Boden- und Klimamesszahlen zusammen. Diese wiederum ermöglichen Aussagen über die Bodenbeschaffenheit sowie Temperatur, Niederschlag und relative Luftfeuchtigkeit in der jeweiligen Region. Aus ökonomischer Sicht sinnvoll ist die Anschaffung und der Betrieb von Systemen zur Bewässerung und Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen dann, wenn der Mehrerlös die Kosten des Zusatzwassereinsatzes übersteigt. Der Mehrerlös ergibt sich aus dem Mehrertrag oder der zusätzlich gesicherten Qualität in Kombination mit den jeweiligen Marktpreisen pro Einheit (Achnich, 1980b; Lüttger et al., 2005).

Eine größere Kontinuität hinsichtlich Mengen und Qualitäten bei der Lieferung wirkt sich in der Praxis häufig positiv auf die Erlösseite aus. Auch die Subventionierung alternativer Energien aus nachwachsenden Rohstoffen beeinflusst die Erlössituation positiv, weshalb die Bewässerungswürdigkeit nachwachsender Rohstoffe in den letzten Jahren gesteigert wurde. Dem gegenüber stehen allerdings einerseits direkte Kosten für die Bereitstellung und Applikation des Wassers wie der Wasserpreis, die benötigte Energie sowie Personal- und

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

Kapitalkosten. Andererseits ergeben sich häufig indirekte Kosten durch den Mehrertrag. Diese treten insbesondere durch Prozesse der Ernte, des Transportes und der Aufbereitung der zusätzlich erzeugten Mengen und Qualitäten auf. Auch der Klimawandel und die als Folge resultierenden Kosten für die Ressource Wasser können perspektivisch zu einer Veränderung der Bewässerungswürdigkeit beim Anbau landwirtschaftlicher Kulturen in Deutschland führen (Albrecht et al., 2004; Fitzthum et al., 2019).

4 Material und Methoden

Im vorliegenden Kapitel wird zunächst die Region Dorsten/Haltern als Projektgebiet im Hinblick auf geologische Parameter und die Rolle des Sektors Landwirtschaft vor Ort behandelt. Weiterhin erfolgt die Vorstellung der ausgewählten Bewässerungsbetriebe sowie der Gruppe von Betrieben, welche in Zukunft voraussichtlich einen Einstieg in die Bewässerungslandwirtschaft planen. Im Anschluss werden Softwareoptionen zur Modellierung des Zusatzwasserbedarfes beschrieben sowie abschließend das Themenfeld der Klimamodellierung erläutert.

4.1 Projektregion Dorsten/Haltern

Die Projektregion Dorsten/Haltern liegt im Bundesland Nordrhein-Westfalen und umfasst Teilbereiche der Kreise Borken, Recklinghausen und Wesel. Während Borken an den nordwestlichen Teil des Projektgebietes grenzt, befindet sich Recklinghausen östlich und Wesel westlich der Projektregion. Die Niederrheinische Sandplatte und das Westmünsterland als naturräumliche Haupteinheiten reichen in das Gebiet hinein, welches eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 7.550 ha umfasst (Wilmer-Jahn et al., 2021).

4.1.1 Standortverhältnisse in der Projektregion

Die Niederrheinische Sandplatte im westlichen Gebietsbereich gehört zur Großlandschaft des Niederrheinischen Tieflandes und der Kölner Bucht, während das östlich angrenzende Westmünsterland der Münsterländischen Tieflandsbucht zugeordnet wird (LÖBF, 2005). Es herrscht ein maritimer Klimaeinfluss vor, welcher teilweise kontinental durch hohe Luftdruckphasen ergänzt wird. Aufgrund von Winden aus Ost- bis Südost ergeben sich teilweise höhere Temperaturen und trockene Phasen in der Sommerperiode. Die Jahresdurchschnittstemperatur im Projektgebiet beträgt etwas über 11 °C (Genßler et al., 2010). Der mittlere Jahresniederschlag auf Basis der Mittelwerte von 1981 bis 2010 beträgt für die Station Dorsten-Lembeck 880 mm. Die Station befindet sich im nördlichen Teil der Projektregion (DWD, 2021a). Die mittlere jährliche Klimatische Wasserbilanz lag in Nordrhein-Westfalen von 1961 bis 1989 auf einem durchschnittlichen Niveau von 316 mm. Zwischen 1991 und 2020 verringerte sich diese Größe im Mittel auf 289 mm, wobei im Jahr 2018 erstmals eine negative klimatische Wasserbilanz mit einem Wert von -38 mm auftrat. In den Sommermonaten betrug die mittlere jährliche Klimatische Wasserbilanz im ersten Betrachtungszeitraum -13 mm und verringerte sich im zweiten Zeitraum zwischen 1991 und 2020 auf einen mittleren Wert von -27 mm (LANUV, 2020a).

Die Hauptbodenarten der Projektregion sind der *Abbildung 16* zu entnehmen, die ebenso wie die folgenden Darstellungen der geologischen Parameter auf der Datenbasis der Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen (BK 50) des Geologischen Dienstes NRW (2022) angefertigt wurden.

Schwerpunktmäßig liegen in der Region reine Sandböden (S) sowie lehmige Sandböden (IS) vor. Im Zentrum der Region sowie im südwestlichen Bereich hingegen sind stellenweise Torfböden mit einem hohen organischen Substanzgehalt vertreten. Weiter südlich im Nahbereich der Lippe wechselt die Bodenart in kleinen Teilflächen zwischen Arealen mit stark lehmigem Sand, tonigem Schluffboden und dem ansonsten stark vertretenen lehmigen

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

Sand (Geologischer Dienst NRW, 2022). In großen Teilen der Projektregion besteht aufgrund der sandigen Böden eine geringe Wasserhaltekapazität.

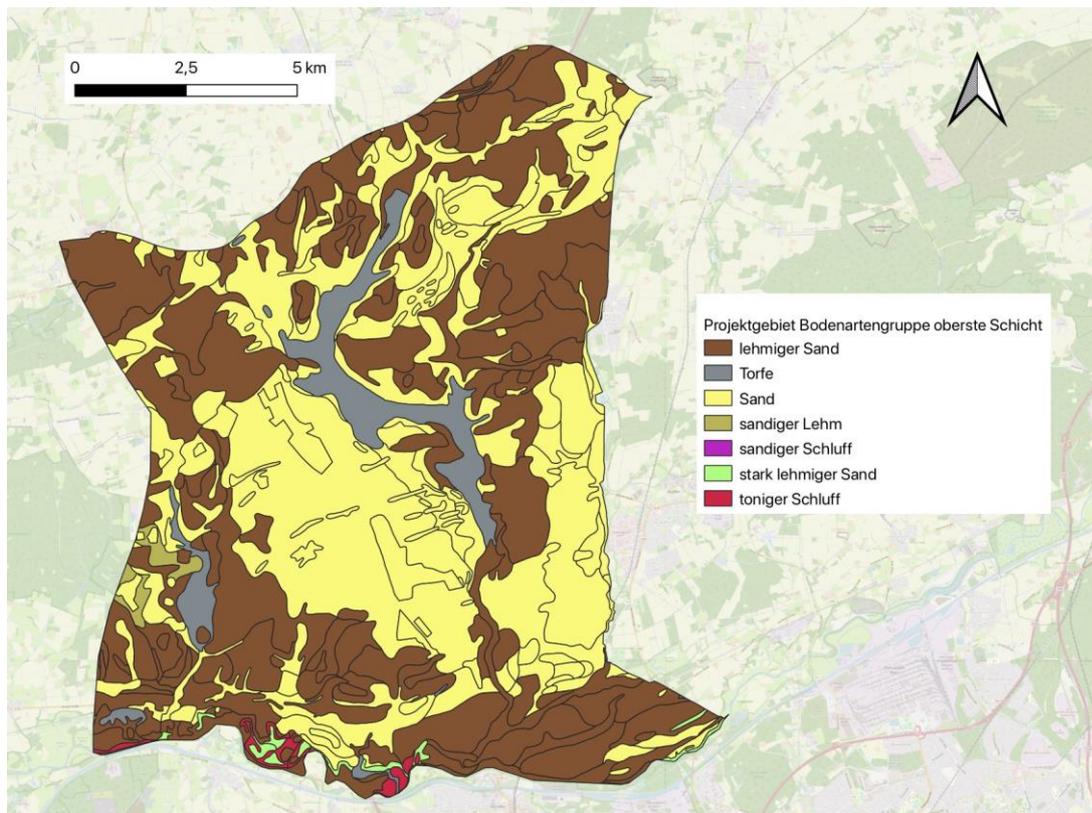


Abbildung 16: Hauptbodenarten im Projektgebiet, Quelle: Eigene Darstellung nach Datengrundlage Geologischer Dienst NRW (2022)

Über die Hauptbodenart hinaus sind die Bodenhaupttypen im Projektgebiet der *Abbildung 17* zu entnehmen. In großen Teilbereichen liegen Gleybodentypen vor, die der Grünlandnutzung vorbehalten sind. Insbesondere durch den starken Grundwassereinfluss und Staunässe im Boden ist eine ackerbauliche Nutzung erschwert und teilweise sogar ausgeschlossen. Zusätzlich nehmen Braunerdetypen einen Anteil an der Gesamtfläche ein, wobei die Wasserspeicherung für die Pflanzen auch bei diesem Bodenhaupttyp aufgrund der vorliegenden Flachgründigkeit im Projektgebiet nur bedingt gegeben ist. Daneben spielen Erscheinungsformen des Bodenhaupttyps Podsol eine zentrale Rolle im Gebiet. Diese sind besonders durch eine schwache Nährstoffversorgung und ungünstige Wasserversorgung gekennzeichnet. Die schnelle Versickerung von Niederschlägen in Kombination mit der Auswaschung von Nährstoffen ist zudem ein weiteres Merkmal (LfU, 2022; Geologischer Dienst NRW, 2022).

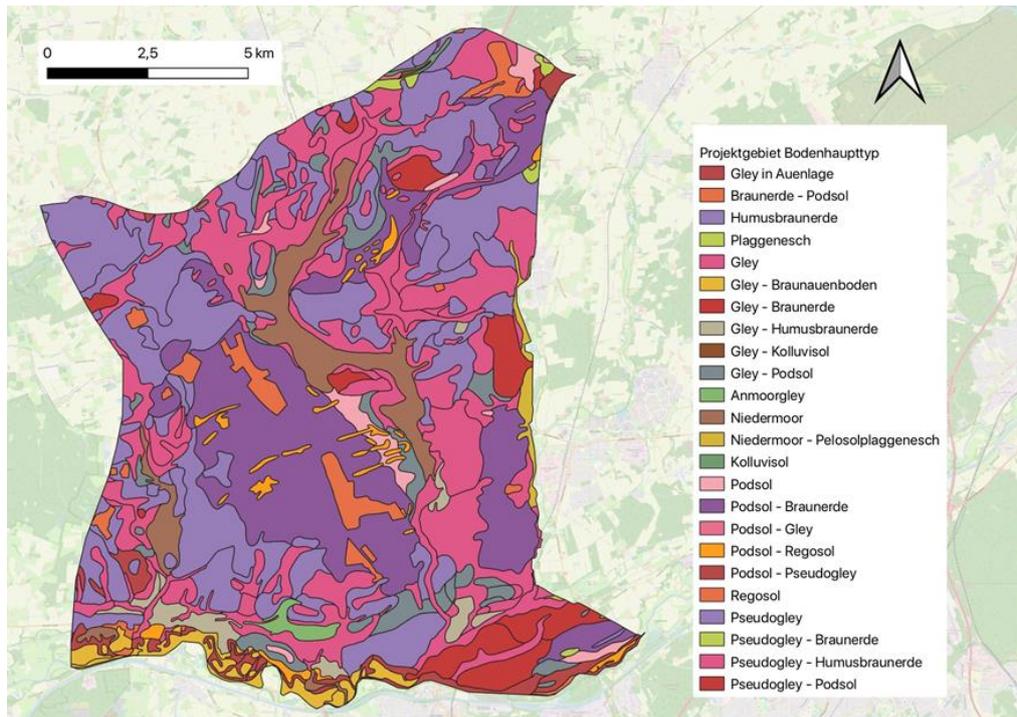


Abbildung 17: Bodentyp, Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage
Dienst NRW (2022)

Geologischer

Eine weitere entscheidende Größe bei der Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit eines Standortes ist die effektive Durchwurzelungstiefe eines Bodens, die durch *Abbildung 18* in Bezug zum Projektgebiet dargestellt wird. Nach Sponagel und Eckelmann (2005) hängt diese Größe, welche auch den effektiven Wurzelraum bezeichnet, sowohl von der Bodenart als auch der Trockenrohdichte eines Bodens ab. In dieser Bodenzone kann die nutzbare Feldkapazität (n_{Fk}) durch die Wurzeln annueller Kulturen vollständig ausgeschöpft werden. Es ist anzumerken, dass es sich bei der vorliegenden Datengrundlage des Geologischen Dienstes NRW (2022) um rechnerisch ermittelte Werte der effektiven Durchwurzelungstiefe handelt, welche von der tatsächlichen Eindringtiefe der Pflanzenwurzeln abweichen können.

Die für das Projektgebiet errechneten Werte der effektiven Durchwurzelungstiefe liegen hauptsächlich im geringen bis mittleren Bereich zwischen 4,1 und 8,0 dm. Insbesondere in Teilgebieten mit Torfböden sinkt die rechnerisch ermittelte Eindringtiefe der Wurzeln in den als sehr niedrig klassifizierten Bereich unterhalb von 4 dm. Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (siehe *Abbildung 19*) schwankt sehr stark zwischen 20 mm und 261 mm. Diese Größe bildet nach Sponagel und Eckelmann (2005) die nutzbare Feldkapazität des Bodens in Bezug zur effektiven Durchwurzelungstiefe ab. Damit stellt sie die Menge des Bodenwassers dar, welche die Pflanzen ausschöpfen können. Während das gesamte Projektgebiet überwiegend Werte im geringen und mittleren Bereich zwischen 26 und 125 mm aufweist, liegen im Bereich der organischen Torfböden sowie vereinzelt im südlichen Projektgebiet hohe und sehr hohe Feldkapazitäten im effektiven Wurzelraum vor. Ebenso gibt es allerdings kleine Teilareale mit sehr geringen Werten unterhalb von 26 mm, die jedoch im Verhältnis zur Gesamtfläche die Ausnahme darstellen.

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

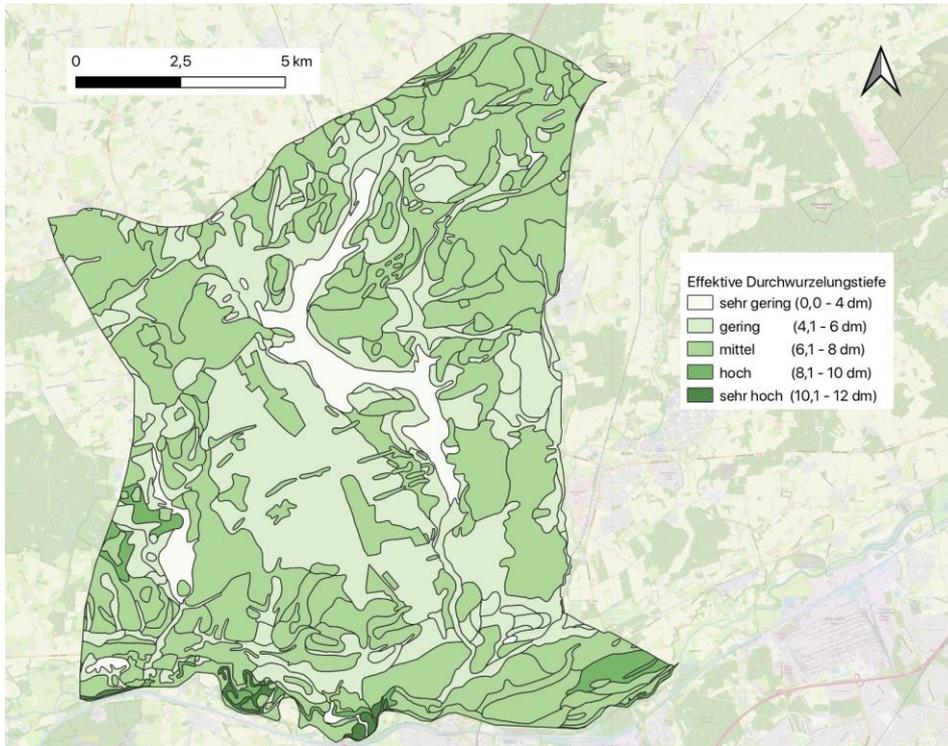


Abbildung 18: Effektive Durchwurzelungstiefe in Dezimeter (dm), Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage Geologischer Dienst NRW (2022)

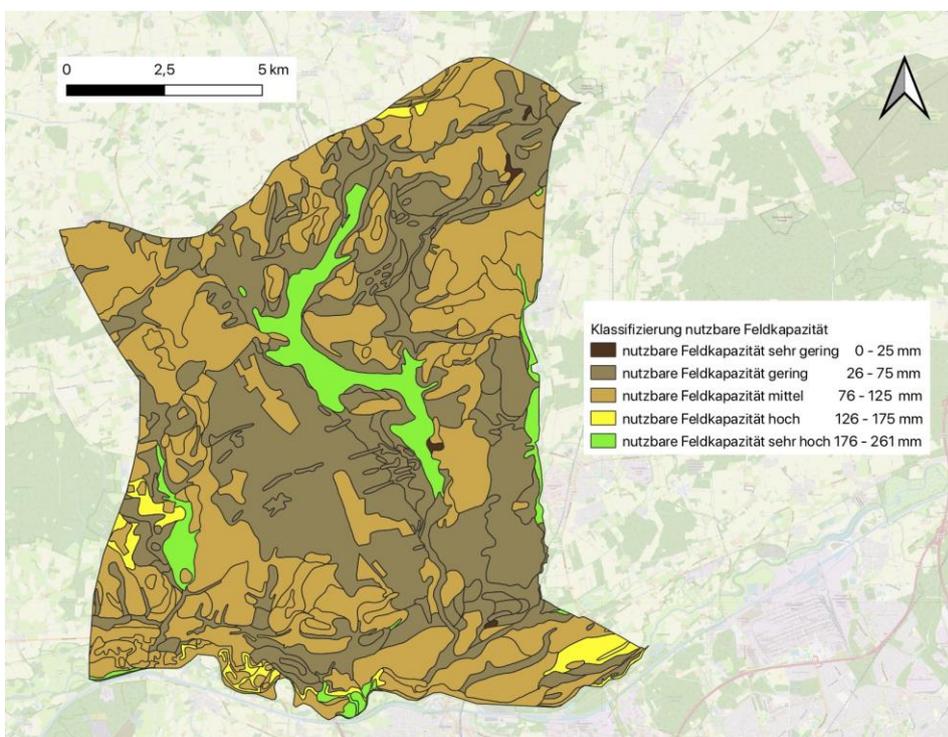


Abbildung 19: Klassifizierung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, Quelle: Eigene Darstellung nach Datengrundlage Geologischer Dienst NRW (2022)

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

Die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum sowie die Einordnung der Werte in fünf Klassen durch den Geologischen Dienst NRW (2022) berücksichtigt die jeweilig vorliegende Bodenart bei einer mittleren Lagerungsdichte des Bodens. Die Werte werden zudem durch Zu- und Abschläge für Grobboden- und Humusanteile korrigiert. Die gewählte Einteilung der Werteklassen wird durch Vorderbrügge und Sauer (2016) in ähnlicher Weise zwischen der Klasse „sehr gering“ mit weniger als 50 mm bis „sehr hoch“ mit Werten größer 200 mm bestätigt.

4.1.2 Landwirtschaftliche Bodennutzung im Projektgebiet

Die Nutzung der landwirtschaftlichen Anbaufläche im Projektgebiet für die Jahre 2020 und 2021 gliedert sich in verschiedene Kategorien, die in *Abbildung 20* dargestellt sind. Mit einer Anbaufläche von 3.376 ha spielt der Feldfutterbau die flächenbezogen größte Rolle. Hiervon entfallen etwa 84 % auf den Anbau von Silomais und 16 % auf die Ackergrasfläche. Diese Biomasseaufwüchse kommen einerseits in der Tierhaltung im Bereich Milchvieh und Rinderhaltung zum Einsatz, andererseits werden rund 25 % der Silomaismenge zur Energieerzeugung in Biogasanlagen vor Ort verwertet. Weitere 1.828 ha entfallen auf Landflächen mit Grünland, welche durch Beweidung und Grünfütterernte für die Tierhaltung genutzt werden. Der Anbauumfang des Wintergetreides von 1.389 ha setzt sich aus Gerste, Roggen, Triticale und Weizen zusammen, welche ähnlich wie der auf 221 ha angebaute Körnermais primär innerbetrieblich verwertet werden. Das Sommergetreide hingegen nimmt mit einer Gesamtfläche von lediglich 54 ha eine untergeordnete Rolle ein, welche vermutlich auf die leichten Bodenverhältnisse im Projektgebiet sowie das Risiko des anhaltenden Wassermangels im Frühsommer zurückzuführen ist. Dadurch wird der Anbau von Sommerungen erschwert (Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, 2013; Wilmer-Jahn et al., 2021). Der Anbau von Zuckerrüben und Winterraps nimmt mit 58 respektive 4 ha zudem ebenfalls eine untergeordnete Rolle ein.

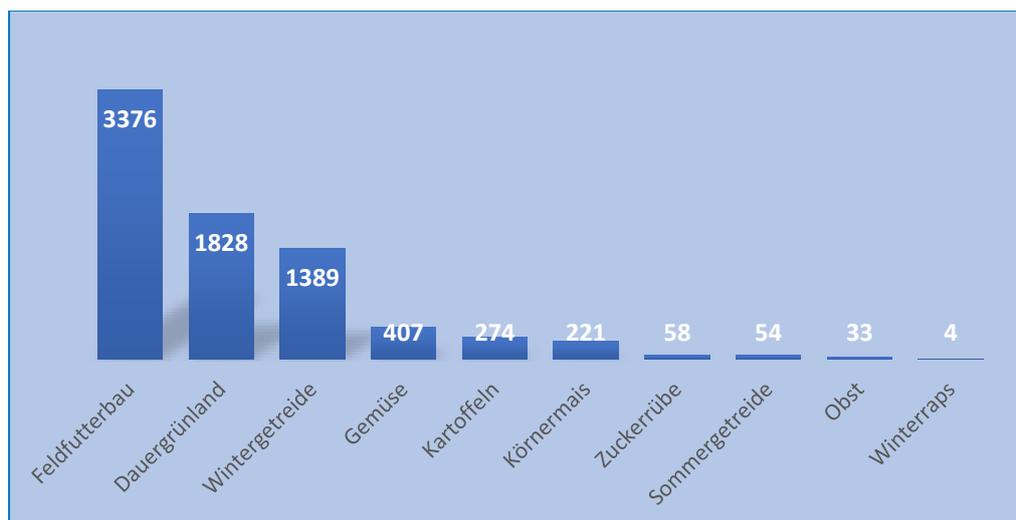


Abbildung 20: Mittlerer Anbauumfang nach Kulturgruppen in 2020/21 im Projektgebiet KlimaBeHageN (in ha), Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage LWK NRW

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

Auf einer Gesamtfläche von 407 ha wird Feldgemüse sowohl im Freiland als auch im Folientunnel angebaut. Zusätzlich entfallen rund 274 ha auf die Erzeugung von Kartoffeln sowie rund 33 ha auf den Anbau von Obst. Laut Wilmer-Jahn et al. (2021) setzen alle Erzeugerbetriebe von Kartoffeln und Gemüse in der Projektregion auf den Einsatz von Zusatzwasser in Form einer Beregnung.

4.2 Bewässerungsbetriebe im Projektgebiet

Im Rahmen dieser Arbeit werden drei Beregnungsbetriebe näher betrachtet. Im Vorfeld der Auswahl dieser Betriebe erfolgte im März 2021 zunächst eine Datenabfrage mittels Erhebungsbögen durch die LWK NRW bei allen Betrieben im Projektgebiet. Zentrales Ziel dieser Befragung war einerseits die Erhebung betrieblicher Daten sowie andererseits die Erfassung von Informationen rund um das Thema Bewässerung in der betreffenden Region. In diesem Kontext sind 380 landwirtschaftliche Betriebe angeschrieben worden, es erfolgte ein Rücklauf von 165 Erhebungsbögen. Insgesamt wird im Projektgebiet eine Fläche von 5.150 ha bewirtschaftet (Wilmer-Jahn et al., 2021).

Die Auswahl der Bewässerungsbetriebe für eine nähere Betrachtung erfolgte in Absprache zwischen der LWK NRW und der Universität Kassel, dabei lag das Augenmerk auf der Repräsentativität der jeweils dominanten Betriebszweige, insbesondere hinsichtlich der angebauten und bewässerten Kulturen. Die drei ausgewählten Betriebe sowie zwei perspektivisch am Einstieg in die Bewässerungswirtschaft interessierte (*Abbildung 21*) werden im weiteren Verlauf dieses Kapitels näher betrachtet.

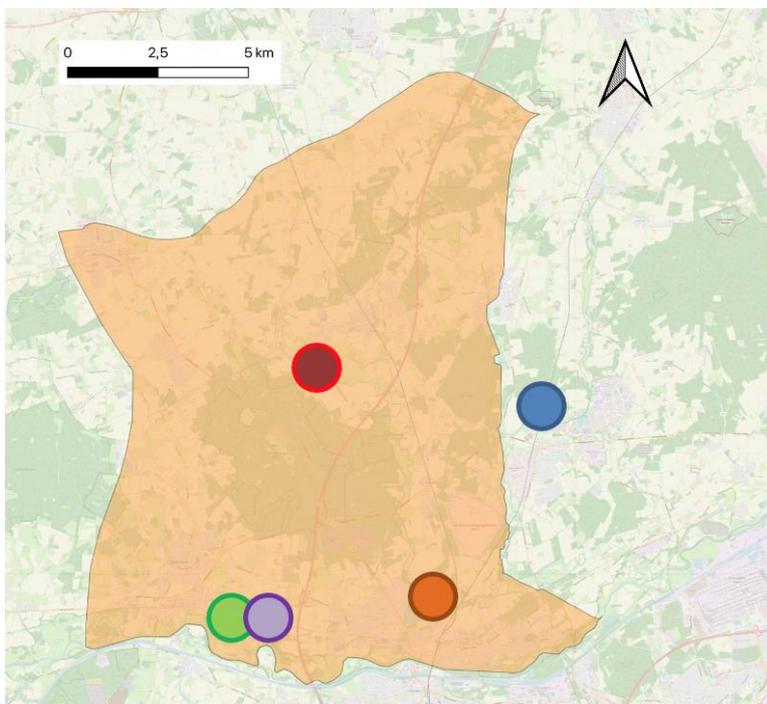


Abbildung 21: Lage der Projektbewässerungsbetriebe innerhalb der Referenzregion KlimaBeHageN, Quelle: Eigene Darstellung nach Datengrundlage der LWK NRW

Die Betriebe wurden im Rahmen mehrerer Ortstermine von Teilnehmenden der LWK NRW, Hochschule Ruhr-West (HRW) und Universität Kassel aufgesucht, wobei ein zunehmender Austausch zustande kam.

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

Durch zielgerichtete Befragungen wurden Daten zum Betrieb im Allgemeinen sowie zum Zusatzwassereinsatz beim Anbau verschiedener Kulturen erfasst, insbesondere mit Blick auf Wassermengen und Zeitpunkte. Die Auskunftsbereitschaft war grundsätzlich recht gut, wobei sich im Verlauf der Arbeit immer wieder Schwierigkeiten mit der Bereitstellung belastbarer Angaben gab. Hintergrund dessen ist primär die Tatsache, dass eine tagesaktuelle und schlagspezifische Dokumentation der eingesetzten Zusatzwassermengen in der Praxis kaum vorhanden war. Dies erschwerte die Erfassung der Bewässerungsmengen für die angebauten Kulturen und der Ausbringungsdaten.

4.2.1 Modellbetrieb A

Der Betrieb liegt zwischen den Orten Lembeck und Wulfen, nordöstlich der Stadt Dorsten. Der Betriebsstandort, welcher in *Abbildung 21* blau eingezeichnet ist, liegt etwas außerhalb des Projektgebietes, die betrieblich bewirtschafteten Landflächen befinden sich allerdings zum großen Teil innerhalb der Gebietsgrenzen. Die Schwerpunkte der betrieblichen Ausrichtung liegen im Ackerbau, insbesondere im Sonderkulturanbau sowie der Erzeugung von Biogas mit einer installierten elektrischen Anlagenleistung von 500 kW. Ein weiterer Produktionsbereich ist die Geflügelhaltung, welche 13.500 Aufzucht- und Mastputenplätzen umfasst sowie einer Pferdezucht mit sechs Tieren. Auf der betrieblich bewirtschafteten Fläche von 130 ha wird ein breites Kulturspektrum von Mais, Getreide und Ackergras über Sommer- und Winterspinat bis hin zu Freilanderdbeeren, Heidelbeeren und Spargel angebaut. Darüber hinaus erzeugt der Betrieb auf etwa 0,6 ha Heidelbeeren, Himbeeren und Erdbeeren unter geschützten Anbaubedingungen im Folientunnel (siehe *Abbildung 22*) und bewirtschaftet eine Süßkirschenplantage mit einer Größe von 0,4 ha.



*Abbildung 22: Geschützter Himbeeranbau im Folientunnel Betrieb A,
Quelle: Eigene Abbildung*

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

Die vorwiegende Bodenart der bewirtschafteten Flächen ist Sand, zur konventionellen Grundbodenbearbeitung kommt sowohl der Pflug als wendendes Verfahren, als auch der Grubber als nicht-wendendes System zum Einsatz. Beim Pflugeinsatz wird vom Betrieb ein kombiniertes Verfahren mit angebautem Packer gewählt. Eine Besonderheit des Betriebes liegt in der Fokussierung auf den Spinatanbau. Die Kultur wird im Vertragsanbau auf etwa 25 ha für die Firma IGLO als langjährigem Partner erzeugt. In der jüngeren Betriebsentwicklung stellt dieser Produktionsbereich eine wichtige Säule dar, die sich aufgrund der guten Standorteignung etabliert hat. Hintergrund dessen sind die sandigen Bodenverhältnisse, welche eine rasche Befahrbarkeit nach Niederschlägen ermöglichen und damit eine termingerechte Lieferung gewährleisten.

Der Betrieb nutzt verschiedene Verfahren zur Kulturbewässerung. Einerseits kommt beim geschützten Anbau im Folientunnel Mikrobewässerung (*Abbildung 23*) zum Einsatz, andererseits werden die Freilandkulturen primär mittels mobiler Beregnungstechnik mit Einzelregnern versorgt. Eine Ausnahme stellt der Spargel dar, welcher im Freilandanbau im direkten Umfeld des Betriebsgeländes angebaut und mittels Tropfbewässerung in der Dammkrone versorgt wird. Aufgrund der räumlichen Nähe zur Biogasanlage wird zudem die anfallende Abwärme des Prozesses mithilfe einer Wärmeleitung in den Dämmen abgegeben und zum Erwärmen des Bodens genutzt.



*Abbildung 23: Mikrobewässerung mit Pfeiltropfer im Folientunnel bei Betrieb A,
Quelle: Eigene Abbildung*

Bei der Bewässerung auf Schlägen ohne ausreichende Infrastruktur wird die Applikation von Zusatzwasser durch den Einsatz eines vom Schlepper gezogenen Wasserverteilwagens ergänzt. Im Kontext der Frostberegnung von mehrjährigen Obstkulturen kommen zudem fest installierte Rohrberegnungsanlagen zum Einsatz (Brüggemann, 2022).

4.2.2 Modellbetrieb B

Der Modellbetrieb B, welcher in *Abbildung 21* rot dargestellt ist, befindet sich nordwestlich der Stadt Dorsten zwischen Schermbeck und Lembeck im Ortsteil Rhade. Es handelt sich um einen landwirtschaftlichen Betrieb, der während der Projektlaufzeit den Umstellungsprozess von der konventionellen zur ökologischen Bewirtschaftungsweise durchläuft. Schwerpunkt bildet die Milchviehhaltung sowie der Betrieb einer Biogasanlage mit einer installierten elektrischen Leistung von 220 kW, die bereits seit dem Jahr 2017 nach den Grundsätzen des Ökologischen Landbaus bewirtschaftet wird. Als Substrat der Biogaserzeugung kommt primär Mist zum Einsatz, der ökologische Anteil beträgt rund 85 %. Die zum Anlagenbetrieb notwendige Biomasse wird durch Kooperationen mit anderen ökologisch wirtschaftenden Betrieben in der Nähe bereitgestellt, wobei es sich überwiegend um Mitglieder des Bioland-Verbandes handelt. Auf diesen Betrieben spielt die Geflügelhaltung anstelle von Wiederkäuern eine zentrale Rolle, weshalb innerbetrieblich die Verwertung von Biomasseaufwüchsen nur teilweise möglich ist. Die Rückführung von Nährstoffen erfolgt in Form von Gärresten, die in der durch Gemüse und Sonderkulturen geprägten Region ein begehrter Dünger sind.

Weiterhin werden auf einer Fläche von etwa 160 ha Getreide, Mais und Leguminosen angebaut. Bei der Erzeugung dieser Kulturen wird teilweise Bewässerung benötigt, die aus zwei Brunnenentnahmestellen gespeist wird. Auf diese wird teilweise auch von anderen Betrieben zugegriffen, deren Flächen sich in der Feldflur im Umfeld der Entnahmestellen befinden. Von technischer Seite wird dazu eine bereits im Betrieb befindliche, mobile Beregnungsmaschine in Kombination mit einem Einzelregner verwendet. Die für die Anlage erforderlichen Rohrleitungen werden im Austausch mit Berufskollegen genutzt, sodass größere Entfernungen zwischen Entnahmestelle und Anlagenstandort überbrückt werden können. Die Bodenbearbeitung wird auch auf Betrieb B mit Pflug respektive Grubber durchgeführt.

4.2.3 Modellbetrieb C

Modellbetrieb C liegt zwischen dem Stadtgebiet Dorsten und dem Ort Schermbeck in der Nähe der Lippe sowie des Weser-Datteln-Kanals. Der Betriebsstandort am südlichen Rande des Projektgebietes ist in *Abbildung 21* grün dargestellt. Es handelt sich um einen seit 2008 eigenständig nach Maßgaben des Bioland-Verbandes bewirtschafteten Betrieb, der sich aus einem konventionellen Betrieb auf Basis einer GbR entwickelt und mittlerweile primär auf die Erzeugung von Sonderkulturen spezialisiert hat. Neben dem Anbau von Kartoffeln und Mais gehören auf einer bewirtschafteten Fläche von rund 27 ha Riesen Kürbis, Gemüseerbse, Hanf, Chia und Salatgurke zum Kulturspektrum. Tomaten und Salatgurken werden wechselweise unter geschützten Bedingungen im Folientunnel angebaut, die übrigen Kulturen wachsen im Freiland. Die Applikation von Zusatzwasser erfolgt, wie aus *Abbildung 24* ersichtlich, einerseits im Rahmen des geschützten Anbaus im Folientunnel durch oberirdische Mikrobewässerung, andererseits im Freiland durch eine mobile Trommel mit Einzelregner. Zur Bodenbearbeitung setzt der Betrieb nach Kulturerfordernis und jeweiligen Witterungsbedingungen auf den Einsatz wendender Bodenbearbeitung durch einen Schälplug mit möglichst geringer Einsatztiefe sowie weitere Bodenbearbeitungsverfahren mit Grubber und Geohobel.



Abbildung 24: Mobile Beregnungsmaschine bei der Zusatzwasserapplikation von Kürbissen (Vordergrund) sowie geschützter Anbau von Tomaten im Folientunnel (Hintergrund) bei Betrieb C, Quelle: Eigene Abbildung

4.2.4 Potenziell am Einstieg in die Bewässerung interessierte Betriebe

In der Projektregion spielt die Bewässerungslandwirtschaft bereits eine zentrale Rolle. So ergibt sich in Bezug auf die Basis der Rückläufe zur Erhebung der LWK NRW ein Anteil der bewirtschafteten Fläche mit Bewässerung in Höhe von fast 60 % der Gesamtfläche. Dies entspricht etwa 890 ha der insgesamt bearbeiteten Landfläche im Projektgebiet im Umfang von rund 1.500 ha. Beim Anbau von Kartoffeln und Gemüse wird bereits jetzt von allen Betrieben auf den Einsatz von Zusatzwasser zurückgegriffen (Wilmer-Jahn et al., 2021).

Vor dem Hintergrund perspektivisch zu erwartender Klimaänderungen ist mit einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Bewässerung in der Region zu rechnen (Kreins et al., 2015). In diesem Kontext wurde durch die LWK der Kontakt zu zwei Betrieben hergestellt, die konkretes Interesse an einem Einstieg in die Bewässerungslandwirtschaft haben.

Hierbei handelt es sich um die Modellbetriebe D und E, welche im Rahmen eines Ortstermins von Vertretern der LWK, HRW und Universität Kassel am 05.10.2021 aufgesucht wurden. Der Standort des Betriebes D befindet sich am südlichen Rande des Projektgebietes mit einer Distanz von etwa zwei Kilometern zum Modellbetrieb C und ist in *Abbildung 21* lila markiert. Auf etwa 45 ha Landfläche wird Mais angebaut, darüber hinaus bewirtschaftet der Betrieb etwa 20 ha Dauergrünland. Nach Aussage des Betriebsleiters besteht Bedarf an Bewässerung für die gesamte Anbaufläche, da der Betrieb bereits seit längerem unter Trockenheitsproblemen leidet. Dadurch ergaben sich etwa beim Mais im Anbaujahr 2021 erhebliche Trockenschäden, die regional in diesem Zeitraum ansonsten nicht aufgetreten sind. Bedingt durch die direkte Nähe zur Lippe in Kombination mit Folgeerscheinungen des historisch über eine lange Zeit intensiv betriebenen Bergbaus wurden die bewirtschafteten Flächen erst durch eine Entwässerung für den Anbau nutzbar. Durch die geologischen

Gegebenheiten im Bereich des Betriebes hat eine Genehmigung zur Brunnenbohrung und anschließenden Wasserentnahme allerdings bislang nicht erteilt werden können.

Der Modellbetrieb E (in *Abbildung 21* orange gekennzeichnet) befindet sich im Dorstener Ortsteil Hervest in etwa einem Kilometer Entfernung zum Blauen See, welcher als Betriebswasserspeicher der Rheinisch-Westfälischen Wasserwerksgesellschaft mbH dient. Der Betrieb ist ebenfalls durch Folgeerscheinungen des Bergbaus betroffen, weshalb sich das Umfeld des Betriebsstandortes nach Angaben des Betriebsleiters um rund 4,5 m abgesenkt hat. Insgesamt wird eine Fläche von rund 30 ha durch den Anbau von Getreide und Mais bewirtschaftet, wobei davon 18 ha, auf drei Teilschläge verteilt, für eine Bewässerung grundsätzlich erschließungsfähig sind. Der Hintergrund des betrieblichen Interesses zum Einstieg in die Bewässerungslandwirtschaft beruht besonders auf der perspektivischen Erweiterung der Betriebsausrichtung auf den Kartoffelanbau, welcher den Einsatz von Zusatzwasser erfordert.

4.3 Software zur Modellierung des Bewässerungsbedarfes

Die vorliegenden Betriebsdaten hinsichtlich der aufgewendeten Zusatzwassermengen beim Anbau verschiedener Feldkulturen in den Jahren 2017 bis 2021 werden im Rahmen dieser Arbeit in zweierlei Hinsicht betrachtet. Einerseits werden die Werte ins Verhältnis zu durchschnittlichen Bewässerungsmengen der jeweiligen Frucht gesetzt, andererseits findet eine Modellierung des in der Vergangenheit erfolgten Zusatzwassereinsatzes mittels Software statt. Die Auswahl dieser Software wird im vorliegenden Kapitel beschrieben, wobei zunächst die Programme CROPWAT und AquaCrop dargestellt werden. Diese wurden anfangs noch als grundsätzlich geeignet identifiziert, ihre Nutzung ist im Laufe der weiteren Entwicklung der Arbeit jedoch verworfen worden. Anschließend wird die Software „agrowetter-Beregnung“ des Deutschen Wetterdienstes vorgestellt, welche schließlich zur Modellierung des Bewässerungsbedarfes verwendet worden ist.

4.3.1 Software CROPWAT und AquaCrop

Das Programm CROPWAT wurde von der Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) als Software zur Berechnung des Wasserbedarfes und Bewässerungsbedarfes von Pflanzen anhand von Pflanzen- und Klimadaten entwickelt. Es wird im Rahmen der Bewässerungslandwirtschaft für unterschiedliche Anwendungsfälle eingesetzt. So dient die Software etwa zur Erstellung von Bewässerungsplänen unter verschiedenen Bedingungen der Landbewirtschaftung sowie zur Prognose hinsichtlich der Auswirkungen von Trockenphasen und Niederschlägen auf die Pflanzenentwicklung (Smith, 1996).

Neben dem Vegetationskoeffizienten K_c , der bereits im Teil 3.2.1 behandelt wurde, wird etwa die Dauer der Vegetationsperiode in Tagen benötigt, die sich aus der Zeitspanne zwischen Pflanzdatum und Erntetermin ergibt. Weiterhin berücksichtigt das Programm die Durchwurzelungstiefe sowie den Erschöpfungsgrad der Pflanzen in der Kalkulation. Letzterer beschreibt den Punkt des zugelassenen Bodenfeuchteniveaus, von dem an erster Trockenstress auftritt, welcher sich auf die Evapotranspiration und Pflanzenentwicklung auswirkt (Smith, 1996). Ebenso wird der Ertragsreaktionsfaktor der Kultur mit einbezogen, welcher die Ertragsreduktion in Abhängigkeit von der Evapotranspiration angibt. Zusätzlich

fließt auch die Höhe des Pflanzenbestandes zum mittleren Entwicklungsabschnitt in die Berechnung ein. Das Programm beinhaltet Standardwerte für die hinterlegten Kulturen, welche an die räumlich vorliegenden Bedingungen angepasst werden können (Smith et al., 2000; Hajirad et al., 2021). Die zugrunde liegenden Klimadaten werden vom Programm CLIMWAT bezogen, welches Klimadaten für 3.262 regionale Wetterstationen in 144 Ländern zur Verfügung stellt (Diemer, 2001). Aufgrund des begrenzten Kulturumfanges von CLIMWAT, der beispielsweise keine Pflanzenparameter für Spinat, Spargel und Erdbeeren bereitstellt, war die Software leider für unsere Zwecke nicht geeignet (Smith, 1996).

Im Folgenden wurde die Eignung des Programms AquaCrop zur Modellierung des historischen Bewässerungsbedarfes überprüft. In diesem Kontext stellte Frau Wilmer-Jahn, stellvertretend für die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen den Kontakt zu Herrn Dr. Fuad Hussein in seiner Funktion als Berater für Geoinformationssysteme her, der die Software im Rahmen seiner Arbeit bei der LWK NRW einsetzt. Das Programm, welches seit dem Jahr 2009 verfügbar ist, wird beispielsweise zur Erstellung von Ertragsmodellen eingesetzt. Zielsetzung der Modelle, die genauso wie Modelle der Software CROPWAT etwa im Rahmen der Defizitbewässerung verwendet werden, ist die Darstellung des Zusammenhangs von Wasserverfügbarkeit und Ertrag. Als Defizitbewässerung wiederum gilt die Versorgung von Pflanzen mit Wasser im Bereich unterhalb des maximalen Bedarfes. Als Einschränkung bei diesem Einsatzzweck wird von den Autoren jedoch die Zahl der Pflanzenvariablen angemerkt (Smith, 1996; Kögler und Söffker, 2018). Weiterhin wird die Software dazu verwendet, um die Wasserproduktivität zu steigern und ihre Grenzen zu ermitteln. Ein zusätzlicher Nutzungsbereich ist die Darstellung der Ertragslücke zwischen potenziell erreichbaren und tatsächlich erzielten Pflanzenerträgen (Mejias und Piraux, 2017).

Nach einer Prüfung des konkreten Anwendungsfalles wurde deutlich, dass bestimmte Inputdaten benötigt werden, um den in der Vergangenheit liegenden Bewässerungsbedarf mit dem Programm darzustellen. Da viele dieser Daten nicht vorliegen, erwies sich das Programm als ungeeignet für unsere Zwecke.

4.3.2 Beratungssystem „agrowetter-Beregnung“ des Deutschen Wetterdienstes

Bei dem Programm *agrowetter-Beregnung* des Deutschen Wetterdienstes handelt es sich um eine kostenpflichtige Software, welche dem Nutzer an den Standort angepasste Empfehlungen zur optimalen Beregnungsmenge beim Anbau seiner Kulturen im Zeitraum zwischen dem 1. März und dem 31. Oktober liefert. Der Verlauf der Bodenfeuchte wird ab dem Pflanz- oder Aussaatzeitpunkt für bis zu vier Tage in die Zukunft errechnet, wobei die vorhergesagten Niederschläge für diesen Zeitraum in die Kalkulation mit einbezogen werden. Die Empfehlungen der Software orientieren sich an der baden-württembergischen Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung, welche sich auf die Anforderungen einer Bewirtschaftung in Wasserschutzgebieten bezieht (DWD, 2022b; DWD, 2022c). Das Softwaretool arbeitet mit dem Wasserbilanzmodell, wobei Niederschläge und Zusatzwassermengen der Verdunstung und Versickerung gegenübergestellt werden. Die Datengrundlage für die Niederschlagswerte liefert eine der etwa 500 deutschlandweit vorhandenen Wetterstationen, welche in räumlicher Nähe zum Einsatzgebiet beim Erwerb der Jahreslizenz für das Programm *agrowetter-Beregnung* vom Nutzer ausgewählt wird.

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

Im vorliegenden Fall dienen die für Station H 411 des Deutschen Wetterdienstes in Borken errechneten Daten als Referenz für die Software. Der Erwerb einer Jahreslizenz für 2022 ermöglichte uns den Zugriff darauf. Durch die Station werden Informationen zur potenziellen und realen Verdunstung über Gras und sandigem Lehm sowie zur Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm durch agrarmeteorologische Modelle in täglicher, monatlicher und vieljähriger Auflösung bereitgestellt. Im Fall der Verdunstungsberechnung wird auf die Daten der ausgewählten Basisstation zurückgegriffen. Hier fließen speziell die potenzielle Grasverdunstung sowie der Vegetationskoeffizient (K_c) der jeweiligen Kultur mit ein (siehe Kapitel 3.2.1). Bei eigener Niederschlagsmessung besteht in der Software zudem die Möglichkeit zur Erfassung eigener Daten, die in der Berechnung berücksichtigt werden (DWD, 2020; DWD, 2022c). Laut Paschold (2004) ist die Nutzung einer Basisstation in Bezug auf die Verdunstung in der Praxis ausreichend, wohingegen Niederschläge aufgrund der starken räumlichen Variation vom Nutzer vor Ort erfasst und ins Programm eingepflegt werden sollten. In diesem Kontext ist die Zahl von 250 Referenzstationen zu nennen, die zum Zeitpunkt der erwähnten Veröffentlichung im Programm verfügbar waren. Für das Anbaujahr 2022 hat sich diese Anzahl auf etwa 500 bundesweit in *agrowetter-Berechnung* hinterlegte Referenzstationen erhöht.

Zur zuverlässigen Berechnung von Beregnungsempfehlungen benötigt die Software Bodendaten, die der Nutzer einmalig beim Anlegen des Schlages hinterlegt. Hier stehen drei Eingabemöglichkeiten zur Verfügung, die in *Abbildung 25* dargestellt sind.

Die für das Feld anzugebende Feldkapazität sowie der Welkepunkt können über drei verschiedene Wege angegeben werden.		
Bitte Wählen sie einen davon		
über Bodenzahl	über grobe Klassifizierung	über Direkteingabe

Abbildung 25: Eingabemenü Felddaten, Quelle: Eigene Darstellung nach DWD (2022)

Von besonderem Interesse sind die Feldkapazität und der Welkepunkt, deren Differenz 100 % nutzbarer Feldkapazität entspricht. Sofern diese exakten Werte vorliegen, ist eine direkte Eingabe in das Menü Felddaten möglich. Alternativ besteht die Möglichkeit, auf die Bodenzahl des betreffenden Schlages zurückzugreifen, die dem Bewirtschafter in der Regel bekannt ist. Aufgrund der Tatsache, dass die schlagspezifischen Bodenzahlen im Rahmen dieser Arbeit nicht erfasst werden konnten, fand die Einordnung von Feldkapazität und Welkepunkt mittels der Option „grobe Klassifizierung“ statt. Diese erfolgt nach DWD (2022d) in die Kategorien „leichte Böden“, „mittlere Böden“ und „schwere Böden“, wobei die maximale Beregnungsmenge pro Gabe bei schweren Böden größer als bei leichten ist. In der vorliegenden Quelle ist eine Zuordnung einzelner Bodenarten zu Werten für die Feldkapazität und den Welkepunkt hinterlegt. Die Grundlage für diese Eingabeoption stellen weiter oben erörterten Bodendaten dar. Der Faktor der aktuellen Bodenfeuchte zum Startzeitpunkt des Auftrages wird entweder durch einen konkreten Wert, sofern dem Nutzer bekannt, oder durch eine abgestufte Klassifizierung berücksichtigt. Es stehen die Auswahlmöglichkeiten „Boden vorher bewachsen“, „Boden vorher unbewachsen“ und „Boden mit Wasser gefüllt“ zur Auswahl, wobei mit den Optionen jeweils die Annahme von

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

90 % nFk bei im Vorfeld unbewachsenen Boden, 70 % nFk für vorab bewachsenen Boden sowie 100 % nFk als weitere Auswahlmöglichkeit getroffen wird. Für die vorliegende Arbeit gab es keine konkreten Startwerte seitens der Bewirtschafter, weshalb die Klassifizierung anhand der erhobenen Vorbewirtschaftungsform erfolgte (DWD, 2022d).

Das Programm bietet zur Anbausaison 2022 eine Einsatzbandbreite von 45 verschiedenen Kulturen, aus denen der Nutzer in maximal 99 schlagspezifischen Aufträgen auswählen kann. Während der Auftragserstellung, deren Starteingabemaske in *Abbildung 26* dargestellt ist, werden spezifische Angaben durch das Programm erfragt. Neben dem Auftragsnamen sowie der angebauten Kultur und dem im Vorfeld angelegten Schlag werden die Basisstation oder ein alternativer Niederschlagsort erfasst. Dies setzt, wie bereits erwähnt, eine eigene Niederschlagsmessung und Dokumentation voraus. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit zur Angabe der Flächengröße. Durch diese errechnet das Programm in Kombination mit den getätigten Bewässerungsgaben pro Hektar die benötigte Gesamtwassermenge für den vorliegenden Schlag über die komplette Bewässerungsperiode (DWD, 2016; DWD, 2022d).

Auftragsname	Größe in ha (optional)
<input type="text" value="Spinat 2018"/>	<input type="text" value="5.0"/>
Kultur	Feld
<input type="text" value="Spinat"/>	<input type="text" value="Eickelhoff"/>
Wetterstation	Niederschlagsort
<input type="text" value="H411 Borken in Westfalen"/>	<input type="text" value="Borken"/>
speichern	

Abbildung 26: Auftragsmaske agrowetter-Berechnung, Quelle: Eigene Darstellung nach DWD (2022)

Für jeden Auftrag wählt der Nutzer zudem die eingesetzte Bewässerungsart aus, wobei zwischen Tropf- und Kronenbewässerung unterschieden wird. Die Berechnung der Bewässerungsempfehlungen erfolgt auf Grundlage tagesbezogener Mengenangaben der durchgeführten Bewässerung, die vom Nutzer aktuell eingepflegt werden. Die maximal mögliche Tagesapplikationsmenge ist bei der Tropfbewässerung auf 8 mm und bei der Kronenbewässerung auf 30 mm limitiert. Bewässerungsverluste werden ebenfalls für beide Verfahren mitberücksichtigt, wobei systembedingte Verluste in Höhe von 5 % bei der Tropfbewässerung und von 10 % bei der Kronenbewässerung angenommen werden (DWD, 2022c). Um die notwendigen Pflanzenparameter mit in die Berechnung einbeziehen zu können, werden spezifische Phasen in der Pflanzenentwicklung durch das Programm erfasst. Das Verdunstungsverhalten verändert sich kulturspezifisch je nach Entwicklungsphase. In *Abbildung 27* sind die Phasen der Entwicklung von Spinat dargestellt, bei denen sich das Verdunstungsverhalten vom Auflaufen der Pflanze zum Sechsstadium sowie zum Ende der Anbauperiode hin verändert. Aufgrund verschiedener Reaktionen auf Wassermangel in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen lässt sich der Wert, welcher nicht unterschritten werden soll und entsprechend eine Berechnungsempfehlung bedingt, phasenweise anpassen.

Angaben zur Phasenentwicklung von Spinat		
Phasen	Datum (TT.MM.JJJJ)	Berechnung ab (%nFK)
Auflaufen (BBCH 09)	10.10.2018	70
6. Blatt (BBCH 16)	30.10.2018	55
Ende Ernte	15.05.2019	45
speichern		

Abbildung 27: Eingabemenü Pflanzenentwicklung in agrowetter Berechnung, Quelle: Eigene Darstellung nach DWD (2022)

Dieser Wert wird als Grenzfeuchte bezeichnet und standardgemäß vom Programm durch eigene, kulturspezifisch vorgeschlagene Werte dargestellt. Weiterhin hat die maximale Durchwurzelungstiefe einen Einfluss auf die Berechnungen der Software. In diesem Kontext wird eine eigenständige Empfehlung vorgenommen, die aufgrund der Komplexität des Einflusses von Wasserversorgungsgrad und jeweiligem Anbaujahr vom Nutzer nicht eigenständig verändert werden soll. Hier stellt DWD (2022d) eine kulturspezifische Liste mit Wertebereichen der maximalen Durchwurzelungstiefe zur Verfügung, welche für die vorliegende Eingabe in dieser Arbeit zusätzlich mit den oben behandelten Bodendaten des Geologischen Dienstes NRW (2022) abgeglichen wurde (DWD, 2017; DWD, 2022d).

4.4 Klimamodellierung

Die perspektivisch mögliche Entwicklung klimatischer Bedingungen wird mit Hilfe von Klimamodellen beschrieben, die im Ergebnis sogenannte Klimaprojektionen aufzeigen. Dabei wird der Einfluss des Menschen auf das Klima in unterschiedlicher Weise durch verschiedene Szenarien dargestellt. Hierbei stellen die Treibhausgaskonzentrationen und der Umfang kleiner atmosphärischer Partikel, sogenannter Aerosole, gemeinsam als Strahlungsantrieb bezeichnet, eine wichtige Einflussgröße dar (Hübener, 2022; DWD, 2022b).

Als Grundlage der Simulation werden globale Klimaszenarien berechnet, die sich wiederum auf verschiedene Emissionsszenarien stützen. Als Basis dafür dienen Informationen zur perspektivisch zu erwartenden demographischen Entwicklung, Wirtschaftswachstum und Energiesektor sowie voraussichtliche Landnutzungsänderungen. Zusätzlich wird die Berechnung eines Klimamodells durch Angaben über atmosphärische Prozesse zu Land und zu Wasser sowie in der Biosphäre und in Gletscherzonen ergänzt, die Einfluss auf zukünftige klimatischen Verhältnisse ausüben (Walkenhorst und Stock, 2009; Linke et al., 2017).

Die Aussagekraft vieler globaler Klimamodelle wird dadurch begrenzt, dass die dargestellten Gebiete relativ großräumig sind. Durch eine horizontale Auflösung, die teilweise im Bereich von 100 bis 400 km liegt, werden gebietsbezogene Wetterereignisse, wie Niederschläge und die Wolkenbildung in einzelnen Regionen, nicht hinreichend erfasst. Aus diesem Grunde

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

wird auf Basis der globalen Klimamodelle eine Regionalisierung vorgenommen. Die resultierenden kleinräumigeren Regionalmodelle arbeiten mit einer höheren horizontalen Auflösung im Bereich von weniger als 50 km, einzelne Simulationen erreichen Auflösungen von bis zu fünf Kilometern. Die Regionalmodelle benötigen durch den begrenzten Gebietsumfang eine verhältnismäßig geringere Rechnerkapazität im Vergleich zu globalen Klimamodellen. Die Berechnungen erfolgen für die Zukunft sowie für die Vergangenheit als direkte Referenz des Modelles (Walkenhorst und Stock, 2009; Hübener, 2022).

Die Vielzahl möglicher Einflüsse erzeugt eine sogenannte Streuung oder Bandbreite von Klimamodellen. Einerseits ergibt sich diese bei klimatischen Modellierungen durch verschiedene Emissionsszenarien und die Klimavariabilität als Grundlage der Computerberechnung, andererseits durch methodische Unsicherheiten in Form verschiedener plausibler Darstellungen klimatischer Prozesse. Als Klimavariabilität gelten etwa Schwankungen der Solarstrahlung sowie Extremereignisse wie Vulkanausbrüche, deren Einfluss sich durch die Notwendigkeit langer Forschungsreihen, teilweise mehrere hundert Jahre umfassend, nur bedingt abschätzen lässt. Die Bandbreite eines Klimamodelles ergibt sich zudem beispielsweise durch den Einsatz verschiedener klimatischer Szenarien in Verbindung mit demselben Klimamodell (Jacob et al., 2012; DWD, 2022c).

Die Entwicklung der Emissionsszenarien schreitet durch neue Erkenntnisse zu den genannten Rahmenbedingungen sowie optimierte technische Berechnungskapazitäten kontinuierlich voran. Die jeweils aktuellen Szenarien werden im Rahmen fortlaufender Berichte des Weltklimarates, dem International Panel on Climate Change (IPCC) thematisiert. In diesem Kontext wurden zunächst sechs Emissionsszenarien im Rahmen des Special Report on Emissions Scenarios (SRES) im Jahr 2000 veröffentlicht. Die als A1FI, A1T, A1B, A2, B1 und B2 bezeichneten Szenarien bilden verschiedene demographische, technologische und ökonomische Verlaufsoptionen der Zukunft mit entsprechenden Treibhausgasemissionen nach dem damaligen Untersuchungsstand ab. Die grundlegende Weiterentwicklung erfolgte im Rahmen des 2013/2014 veröffentlichten 5. IPCC-Berichtes in Form von vier Representative Concentration Pathways-Szenarien (RCP), welche sich als Repräsentative Konzentrationspfade stellvertretend für einen Satz an Szenarien etwa durch die Berücksichtigung unterschiedlich ambitionierter Klimaschutzmaßnahmen sowie den entsprechenden Einfluss auf die Treibhausgaskonzentration und den resultierenden Strahlungsantrieb von den bislang verwendeten SRES-Szenarien unterscheiden. Die Bezeichnung der vier Szenarien (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5) erfolgt auf Basis der Änderung des Strahlungsantriebes zum Ende des 21. Jahrhunderts im Vergleich zum vorindustriellen Wert im mittleren 19. Jahrhundert als zusätzliche Wärmeaufnahme in der Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m^2) (DWD, 2021; DWD, 2022b; DWD, 2022c). Die aktuellen Szenariodefinitionen des 6. IPCC-Sachstandsberichtes bestehen aus der Kombination eines RCP-Szenarios und eines sozioökonomischen Pfades (Shared Socioeconomic Pathway, SSP), wobei letzterer neben demographischen und technologischen Entwicklungen auch politische, institutionelle und sozioökonomische Annahmen beinhaltet und Lebensstil-Trends mit aufgreift. Da zu diesen gekoppelten Szenarien bislang noch keine regionalen Datensätze vorliegen, bezieht sich die vorliegende Arbeit auf Aussagen der

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

bereits behandelten RCP-Szenarien, welche den aktuellen Stand der Wissenschaft abbilden (Kreienkamp et al., 2022; DWD, 2022b).

Bei der zugrunde liegenden Auswahl von drei Klimaszenarien liegt die Zielsetzung in der Abdeckung einer möglichst großen Spannweite zwischen den einzelnen Modellierungen. In der Konsequenz kommt das RCP 2.6-Szenario zum Einsatz, welches eine Treibhausgaskonzentration von 490 parts per million (ppm) CO₂-Äquivalent und einen Strahlungsantrieb von 2,6 W/m² für das Jahr 2100 zugrunde legt. Dieses gilt als Klimaschutzszenario mit den vergleichsweise ambitioniertesten Schutzmaßnahmen. Zusätzlich wird in diesem Szenario davon ausgegangen, dass zum Ende des 21. Jahrhunderts Negativmissionen entstehen, welche aus einer netto-Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre resultieren (siehe *Abbildung 28*). Des Weiteren wird das Szenario RCP 4.5 als moderater Mittelweg mit einer Treibhausgaskonzentration von etwa 650 parts per million (ppm) CO₂-Äquivalent und einem voraussichtlichen Strahlungsantrieb von 4,5 W/m² im Jahr 2100 betrachtet. In diesem Kontext wird ein Anstieg der Treibhausgasemissionen bis zum mittleren 21. Jahrhundert sowie ein anschließender Abfall der Werte bis zum Ende der Betrachtungsperiode angenommen.

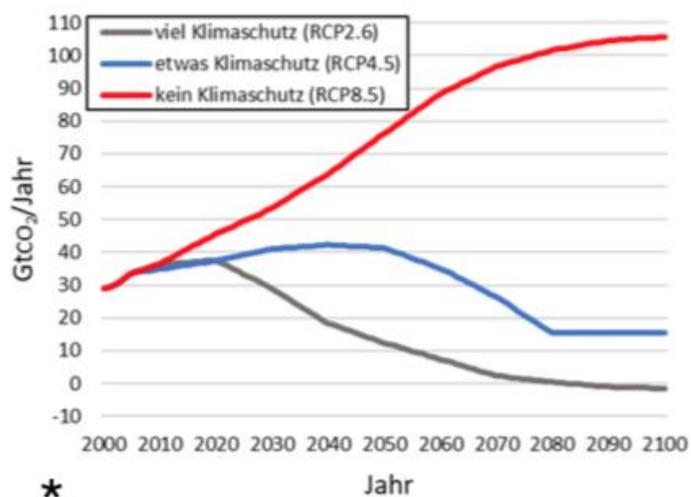


Abbildung 28: CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2100 nach RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5, Bildquelle: Pfeifer et al. (2020) nach Datengrundlage Potsdam Institute for Climate Research

Als Extremszenario mit kontinuierlich steigenden Emissionen in Verbindung mit ausbleibenden Klimaschutzmaßnahmen wird zusätzlich das Szenario RCP 8.5 berücksichtigt, welches eine Treibhausgaskonzentration von 1370 parts per million (ppm) CO₂-Äquivalent und einen Strahlungsantrieb von 8,5 W/m² für den Referenzzeitraum ausweist (DKRZ, 2022; Pfeifer et al., 2020).

Für Nordrhein-Westfalen liegen Analyseergebnisse von Pfeifer et al. (2020) auf Basis von 85 Regionalklimasimulationen vor, welche insgesamt 17 relevante Kennwerte berücksichtigen. In diesem Kontext werden etwa die Niederschläge, Temperaturen und die Klimatische Wasserbilanz bis zum Jahr 2100 simuliert. Diese Daten stellen eine entscheidende Grundlage für die Modellierung des zukünftig zu erwartenden Bewässerungsbedarfes dar.

4.5 Bewässerungsmodellierung

Dieses Kapitel geht der Frage nach, wie sich der Bewässerungsbedarf in der Projektregion unter verschiedenen Klimaszenarien verändern wird. Betrachtet wird dabei ein Maximalszenario, in dem alle angebaute Kulturen optimal mit Wasser versorgt werden. Das Ziel ist es, zukünftige Trends für den Bewässerungsbedarf herauszuarbeiten, gleichzeitig wird damit eine methodisch fundierte Obergrenze für den Wasserbedarf der Landwirtschaft in der Projektregion gegeben.

4.5.1 Datengrundlage und Methodik

Als Grundlage der Berechnungen wurden sowohl Geodaten als auch historische Wetterdaten sowie Klimaprojektionsdaten verwendet. Sowohl das Einlesen und verarbeiten der Daten als auch die spätere rechnerische Modellierung wurde mit der Statistiksoftware R durchgeführt.

Die Geodaten wurden über das Geoportal des Geologischen Dienstes NRW bezogen. Hierbei handelte es sich um Vektordaten zur Flächennutzung 2022 sowie um Bodendaten zu nutzbarer Feldkapazität und durchwurzelbarer Tiefe des Bodens. Diese Daten wurden miteinander verschnitten und Mittelwerte errechnet, sodass schließlich für jede Kulturart im Projektgebiet die Anbaufläche sowie die mittlere nutzbare Feldkapazität und die mittlere durchwurzelbare Tiefe unter der Kultur gegeben waren. Das Ergebnis ist in Abbildung 30 graphisch dargestellt und in Tabelle 1 noch einmal aufgeführt.

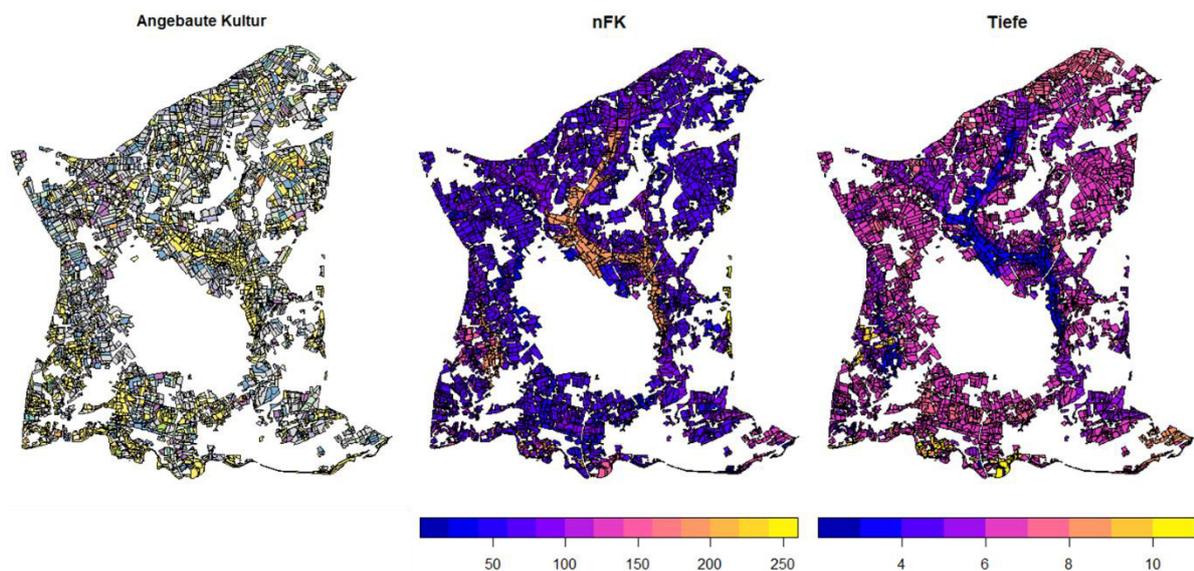


Abbildung 29: Verwendete Geodaten: Angebaute Kulturarten, nutzbare Feldkapazität in mm sowie durchwurzelbare Tiefe des Bodens in dm.

Tabelle 1: Flächendaten der einzelnen Kulturen/Kulturgruppen

Kulturen	Tiefe in cm	nFK in mm	Fläche in ha
Ackergras	61,40	97,40	534,77
Dauergrünland	63,68	105,04	1.766,63
Kartoffeln	64,66	78,21	390,95
Körner-/Silomais	64,35	80,60	2.831,95
Möhre	64,90	64,96	51,42
Obst	61,24	81,64	43,88
Sommergetreide	62,74	70,66	28,92
sonst. Gemüse	65,85	66,26	33,42
Sonstiges	67,37	80,18	285,58
Spargel	59,47	104,42	91,32
Spinat	67,85	65,54	32,36
Wintergetreide	65,14	76,55	1.508,47
Zwiebel/Lauch	66,81	81,14	61,19

- Auf Anbauumfang und andere Charakteristika der Kulturen im Projektgebiet wird im Bericht der LWK NRW detailliert eingegangen (Wilmer-Jahn et al., 2021).

Die verwendeten klimatologischen Daten teilen sich auf in historische Daten sowie Klimaprojektionsdaten. Zur Modellierung des Bewässerungsbedarfs werden als Eingangsgrößen der Niederschlag sowie die potenzielle Evapotranspiration benötigt. Für historische Zeiträume können diese Größen in Form von Rasterdaten über den Open Data Server des DWD bezogen werden. Die Werte beruhen auf Messungen an Wetterstationen und einer anschließenden Interpolation über das gesamte Bundesgebiet, im Falle der potentiellen Evapotranspiration wird der Wert an den Messstationen zunächst aus anderen meteorologischen Größen errechnet. Alle Daten haben eine zeitliche Auflösung von einem Tag und eine räumliche Auflösung von einem Quadratkilometer im Fall der historischen Daten sowie fünf Quadratkilometer im Fall der Klimaprojektionsdaten.

Für zukünftige Zeiträume wurden Klimaprojektionsdaten des DWD-Referenz-Ensembles verwendet, die vom DWD auf Anfrage zur Verfügung gestellt wurden. Hierbei handelt es sich um ein Ensemble unterschiedlicher regionaler Klimaprojektionen, die entweder auf unterschiedlichen globalen Klimamodellen beruhen oder unterschiedliche Modelle zur Regionalisierung verwenden. Die Idee bei der Nutzung eines Ensembles ist es, einen konsistenten Eindruck von der Spannweite möglicher klimatischer Entwicklungen auch

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

innerhalb eines RCP-Szenarios zu bekommen. Untersuchte RCP-Szenarien waren RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5.

Um Werte für das Projektgebiet zu erhalten, wurde aus den Daten für das gesamte Bundesgebiet oder (im Fall der Klimaprojektionen) den Daten für NRW das Projektgebiet ausgeschnitten und aus den darin enthaltenen Rasterfeldern der Mittelwert gebildet. Dadurch wurde für jeden Tag ein Wert für Niederschlag und potenzielle Evapotranspiration im gesamten Projektgebiet erhalten. Abbildung 31 zeigt dies beispielhaft für Niederschlag.

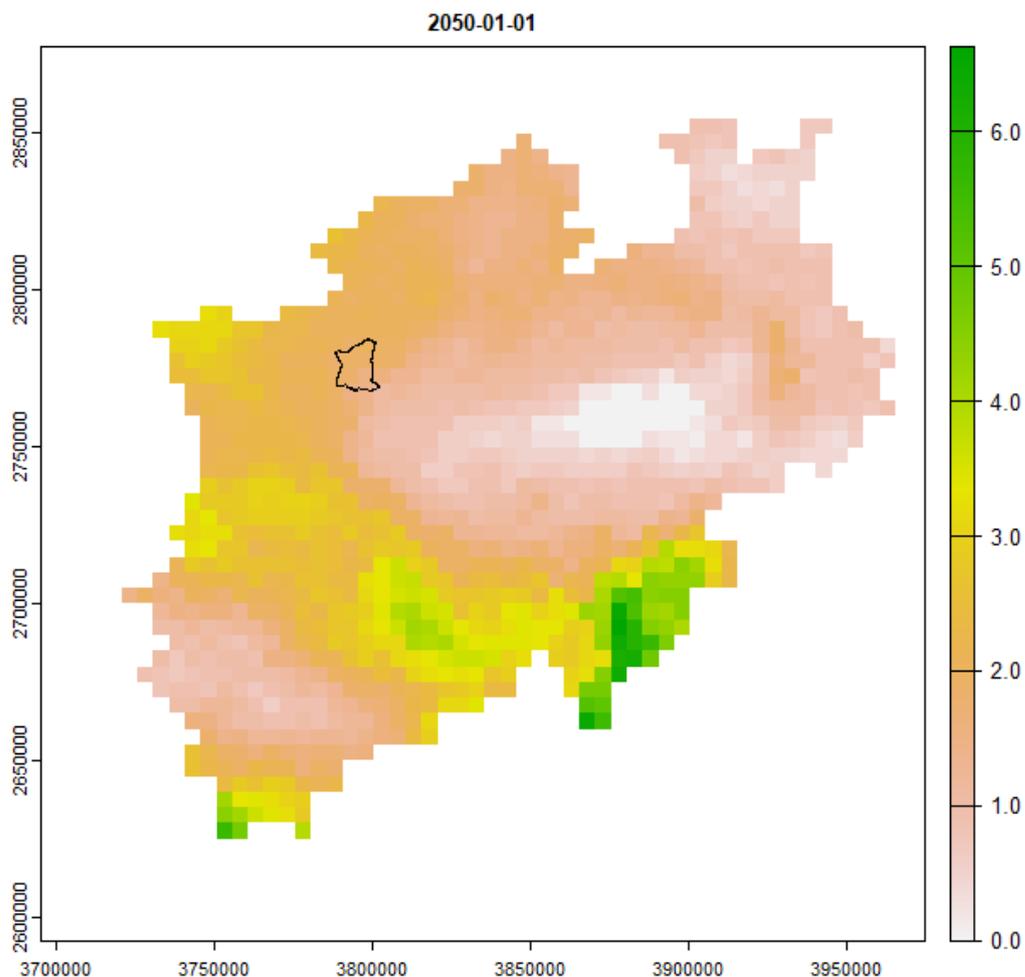


Abbildung 301: Niederschlag für den 01.01.2050 in einem der Modelle unter RCP 2.6

Die Werte für potenzielle Evapotranspiration waren in den Klimaprojektionsdaten noch nicht enthalten und mussten aus den gegebenen meteorologischen Größen unter Verwendung der Penman-Monteith-Formel selbst berechnet werden (Allen et al. 1998).

Die Daten für Niederschlag und Evapotranspiration für alle Szenarien und über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg sind in Abbildung 32 und 33 dargestellt.

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

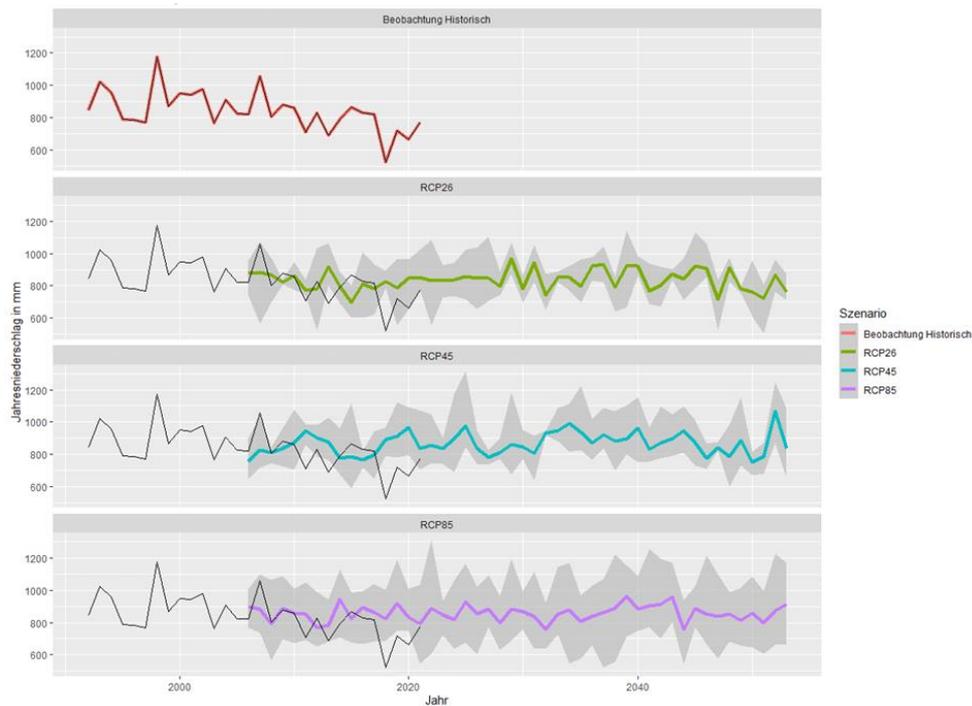


Abbildung 32: Jahresniederschlag unter verschiedenen Klimaszenarien

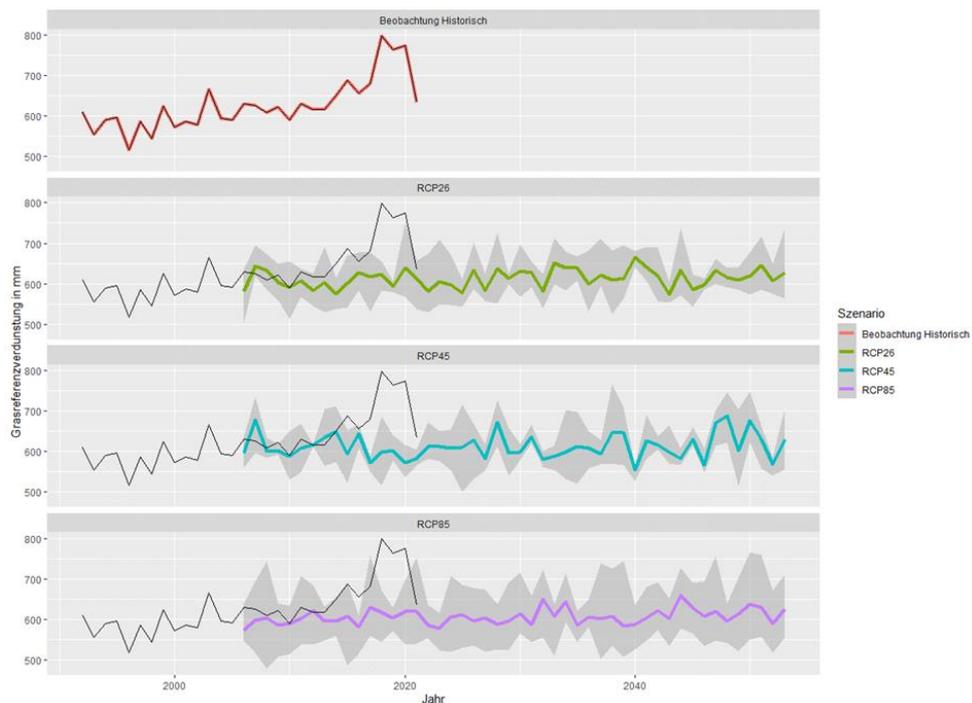


Abbildung 33: Potenzielle Evapotranspiration unter verschiedenen Klimaszenarien

In den historischen Daten ist für beide Größen ein deutlicher Trend erkennbar. Während die Niederschlagsmenge in den letzten 30 Jahren insgesamt zurückgegangen ist, hat die Verdunstung im gleichen Zeitraum zugenommen. In den Klimaprojektionsdaten findet sich dieser Trend nicht wieder. In der Simulation historischer Daten durch die Klimamodelle liegen die Jahre bis 2017 noch im Bereich der tatsächlich beobachteten Werte, die Extreme

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung Material und Methoden

der Jahre 2018-2020 werden jedoch von keinem Klimamodell erfasst. Das könnte darauf hindeuten, dass die Modelle die tatsächlichen Klimaänderungen in der Region unterschätzen.

- Von den Mittelwerten her sind die verschiedenen RCP-Szenarien sich sehr ähnlich, allerdings sind unter RCP 8.5 die Extreme deutlich stärker ausgeprägt als unter den anderen Szenarien
- Die Tatsache, dass die verschiedenen RCP-Szenarien sich nicht drastisch voneinander unterscheiden, verweist darauf, dass die global unterschiedlichen Szenarien hier regional relativ eng beieinanderliegen

Die Berechnung des Bewässerungsbedarfs unter den gegebenen klimatologischen Bedingungen orientierte sich an der bei Bernhardt et al. (2022) vorgestellten Methode. Hierbei wird kulturspezifisch für jeden Tag der Bewässerungsbedarf errechnet, indem die klimatische Wasserbilanz durch Verrechnung von Transpiration und Niederschlag gebildet wird. Sinkt die nutzbare Feldkapazität unter einen kulturspezifischen Schwellenwert, wird von einer Bewässerung ausgegangen.

Hierfür wurden neben den oben vorgestellten bodenkundlichen und klimatischen Daten auch kulturspezifische Parameter benötigt.

- k_c -Wert: pflanzenspezifischer Transpirationskoeffizient, der mit der potenziellen Evapotranspiration (Grasreferenzverdunstung) verrechnet wird, um die tatsächliche Verdunstung zu erhalten
 - o k_c -Werte der Kulturen nach Zinkernagel et al. (2022) und ALB (2020)
- Daten für phänologische Phasen
 - o Werden benötigt, weil sich der k_c -Wert je nach Wachstumsstadium verändert (größere Pflanzen verdunsten mehr)
 - o Für fast alle Kulturen nach Bernhardt et al. (2022), für Winterweizen nach den phänologischen Daten des DWD für NRW → leider gibt es die nur für wenige ausgewählte Pflanzenarten
- Durchwurzelungstiefe
 - o Dynamisch, wird benötigt um das der Pflanze zur Verfügung stehende Bodenwasser zu errechnen
 - o Begrenzt durch die maximale Durchwurzelungstiefe des Bodens
 - o Für alle Kulturarten errechnet nach Borg und Grimes (1986)
- Schwellenwerte für Bewässerung und Zielfeuchte
 - o Schwellenwerte nach ALB (2020); Zielfeuchte für alle Kulturen bei 80%
 - o Einzelwassergaben auf 30 mm beschränkt

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung
Material und Methoden

Tabelle 2 gibt einen Eindruck von dem Vorgang der Berechnung an Hand von Silomais. Sinkt die nutzbare Feldkapazität unter einen Schwellenwert, wird eine Bewässerungsgabe vorgesehen, die auf 30 mm pro Tag beschränkt ist.

Tabelle 2: Ausschnitt aus der Berechnung des Bewässerungsbedarfs für Mais

Datum	Szenario	Kultur	Referenzverd	Niederschlag	kc-Wert	Wurzeltiefe	Wasserbilanz	nFK_max	Bewässerung	nFK
08.07.2044	RCP85	Mais	3,4	0,5	0,70	58,85	-1,86	73,7	0	32,5
09.07.2044	RCP85	Mais	3,7	0,5	0,71	59,50	-2,12	74,5	0	30,3
10.07.2044	RCP85	Mais	3,3	1,5	0,72	60,15	-0,94	75,3	0	29,4
11.07.2044	RCP85	Mais	4,0	0,1	0,73	60,80	-2,87	76,2	30	56,5
12.07.2044	RCP85	Mais	4,2	0,7	0,73	61,45	-2,36	77,0	0	54,2

5 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Ergebnisse hinsichtlich des aktuell ermittelten Bewässerungsbedarfes der drei vorgestellten Projektbetriebe erläutert. Weiterhin erfolgt eine Einordnung der Auswirkungen von drei Klimaszenarien auf die perspektivisch zu erwartende Bewässerungsbedürftigkeit in der Projektregion. Darüber hinaus werden Einsparpotenziale beim Einsatz von Zusatzwasser auf Ebene der Bewässerungsbetriebe vor Ort vorgestellt. Abschließend erfolgt die thematische Auseinandersetzung mit sozioökologischen Auswirkungen verschiedener Szenarien auf unterschiedliche Akteure in der Projektregion.

5.1 Aktuelle Bewässerung bei den Beispielbetrieben

Die oben beschriebene Datenabfrage bei drei Projektbewässerungsbetrieben erbrachte sehr unterschiedliche Rückmeldungen. Während Betrieb A für einzelne Feldfrüchte des breiten Kulturspektrums teilweise tagesgenaue Werte zur Zusatzwasserapplikation in den Jahren 2017 bis 2021 dokumentierte, stellte sich die Datenverfügbarkeit bei den anderen beiden Betrieben deutlich abweichend dar. Daraus resultierend war die Einordnung der durchgeführten Bewässerungsmaßnahmen durch Einsatz des Beratungssystems „agrowetter-Beregnung“ des Deutschen Wetterdienstes lediglich für den Spinatanbau von Betrieb A möglich, da für diesen eine tagesgenaue Dokumentation der genutzten Zusatzwassermengen vorlag. Die Ursachen und Folgen dieses Umstandes werden weiter unten diskutiert

5.1.1 Erfassung der Bewässerungspraxis und des vorliegenden Wasserbedarfes

Der Wasserbedarf von Betrieb A schwankt im Zeitraum von 2017 bis 2021 mit Werten zwischen etwa 94.000 m³ und rund 188.000 m³ zur Zusatzbewässerung von Kulturen sehr stark. Insbesondere in den Jahren 2018 und 2019, die laut LANUV (2020) als besondere Trockenjahre hervorstechen, wurden mit 188.374 und 178.625 m³ die größten Wassermengen benötigt. In den Jahren 2017 und 2020 liegt die eingesetzte Menge mit 107.120 und 115.795 m³ hingegen unterhalb des Mittelwertes über alle Jahre hinweg. Im Jahr 2021 bewegt sich die eingesetzte Zusatzwassermenge mit rund 94.000 m³ auf dem niedrigsten betrieblichen Niveau im Betrachtungszeitraum. Während die Jahrestemperaturen in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2017 mit 10,3 °C rund 1,3°C oberhalb des vieljährigen Mittels gelegen haben, entsprachen die Niederschläge mit 875 l/m² den vieljährigen Werten. Auch das Jahr 2020 kommt in Bezug auf fast alle klimatischen Parameter dem langjährigen Mittel nahe, wobei die fehlenden Niederschläge der beiden vorausgegangenen Jahre nicht kompensiert werden konnten und entsprechend weiterhin bestehen bleiben (DWD, 2017b; LANUV, 2020). Diese Situation wird auch durch die vorliegenden Jahresmengen beim Einsatz von Zusatzwasser recht gut abgebildet.

Die jährliche Wasserentnahmemenge wurde vom Betrieb bei der ersten Datenabfrage durch die LWK im Jahr 2021 zunächst abweichend von später im persönlichen Gespräch genannten Werten angegeben. In der ursprünglichen Darstellung entfielen jährlich 29.000 m³ auf den Zusatzwassereinsatz beim Gemüseanbau, 7.000 m³ auf Obstanbau, 1.000 m³ auf Spargel sowie 3.000 m³ auf die Bewässerung von Silomais. Die daraus resultierende Jahresgesamtmenge von 40.000 m³ wurde als erhöhter Bedarf eingeordnet, der

Wasserbedarf über einen zehnjährigen Zeitraum mit 30.000 m³ beziffert. Weiterhin ergab eine von betrieblicher Seite geplante Erhöhung einen zusätzlichen Bedarf von 20.000 m³ (Wilmer-Jahn et al., 2021). Laut Aussagen im weiteren Projektverlauf ergibt sich im Mittel der Jahre 2017 bis 2021 bei Betrieb A ein Zusatzwasserbedarf von etwa 136.000 m³. Das eingesetzte Wasser wird schwerpunktmäßig beim Anbau einzelner Kulturen genutzt. Konkret wurde Zusatzwasser in den abgefragten Anbaujahren 2017 bis 2021 zur Versorgung von Spinat, Erdbeeren, Mais, Ackergras, Heidelbeeren, Himbeeren, Kirschen und Spargel eingesetzt. Sporadisch erfolgte eine Bewässerung von Tomaten und einem Blumenfeld zum Selbstpflücken. Hingegen fand im Betrachtungszeitraum beim Getreideanbau und auf Grünlandflächen nach eigener Aussage keine Applikation von Zusatzwasser statt.

Die anteiligen Bewässerungsmengen nach angebauten Kulturen an der mittleren Gesamtwassermenge der Jahre 2017 bis 2021 werden in *Abbildung 31* dargestellt.

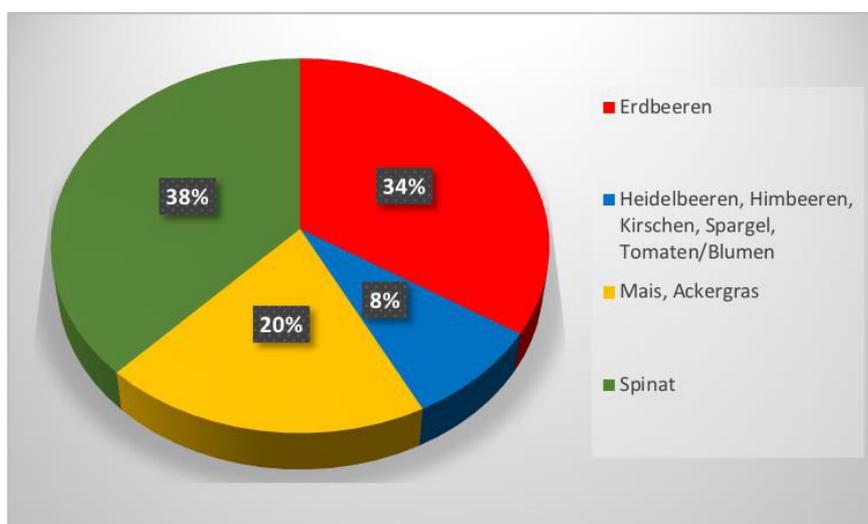


Abbildung 31: Anteile verschiedener Kulturen an der mittleren Zusatzwassermenge der Jahre 2017 bis 2021, Quelle: Eigene Darstellung auf Datengrundlage von Betrieb A

Auf den Spinatanbau entfällt über den Gesamtzeitraum mit etwa 38 % und etwa 51.800 m³ der größte Anteil der mittleren eingesetzten Wassermenge. Es ergeben sich durch den stark schwankenden Anbauumfang zwischen 25 und 52 ha sowie die jeweiligen klimatischen Gegebenheiten große Unterschiede in Bezug auf die benötigte Wassermenge in den einzelnen Jahren.

Die geringste Menge von 31.500 m³ liegt beim Anbau im Jahr 2020 mit einer Fläche von 25 ha vor, während die größte Wassermenge im trockenen Anbaujahr 2018 anfiel. Im betreffenden Jahr lag der Anbauumfang von Spinat mit 52 ha deutlich über dem mehrjährigen betrieblichen Durchschnitt von 37 ha. Die Bewässerung von Spinat findet bei Betrieb A mittels mobiler Trommelberegnung mit Einzelregner statt, welche nach betrieblicher Erfahrung je nach Beurteilung des Pflanzenzustandes eingesetzt wird.

Die Kultur wird als Winterspinat, frühe oder späte Aussaat angebaut. Während Winterspinat um den 7. Oktober ausgesät und um den 13. Mai geerntet wird, findet die Aussaat des

Frühspinales zwischen Ende April und Anfang Mai statt. Die Ernte wiederum erfolgt meist Mitte bis Ende Juni des betreffenden Jahres. Der späte Aussattermin des Spinates liegt üblicherweise im Juli, der Anbau endet mit der Ernte im September. Daraus ergibt sich die Hauptberechnungsperiode im April und Mai für Winterspinat sowie Mai und Juni im Fall von Frühspinat. Der späte Anbauermin hingegen benötigt insbesondere im Juli und August die Applikation von Zusatzwasser.

Die Zusatzwassermenge lag beim Anbau von Winterspinat im ersten Trockenjahr 2018 bei 80 mm, im zweiten Trockenjahr 2019 hingegen bei 230 mm. Auch die frühe Aussaat lag mit 180 mm eingesetzter Zusatzwassermenge unter dem Niveau des Folgejahres, in dem 200 mm appliziert wurden. Die späte Kultur wurde im Jahr 2018 am 3. August angesät, wobei die Pflanzen bis zur Ernte mit insgesamt 220 mm Zusatzwasser versorgt wurden. Im Folgejahr 2019 wurde der Aussattermin um etwa vier Wochen auf den 8. Juli vorgezogen, der Zusatzwassereinsatz belief sich bis zum Erntetermin auf 160 mm. Im Fall eines mittleren Jahres mit regelmäßigem Niederschlag, wie dem Jahr 2020, wurden für den Anbau von Winterspinat rund 200 mm Zusatzwasser eingesetzt. Der Frühspinat wurde in diesem Referenzjahr ebenfalls mit 200 mm zusätzlichem Niederschlag versorgt. Beim späten Aussattermin erfolgte ein Zusatzwassereinsatz in Höhe von 140 mm, wobei bereits im Umfang von 40 mm zum Auffüllen der Feldkapazität vor der Bodenbearbeitung und Aussaat berechnet wurde.

Auf Grundlage der in „agrowetter-Berechnung“ eingepflegten Daten zum Zusatzwassereinsatz beim Spinatanbau von Betrieb A in den Jahren 2017 bis 2021 lassen sich Aussagen zum gewählten Zeitpunkt der Bewässerungsgabe sowie der applizierten Wassermenge tätigen. Beim Anbau wird Spinat in der Praxis laut Landesanstalt für Pflanzenbau BW (2002) ab einem Bodenfeuchteniveau von 60 bis 70 % nFk mit Zusatzwasser versorgt. Dabei wird als Zielsetzung der Bewässerung eine Anhebung des Feuchtigkeitsniveaus im Boden auf nicht mehr als 80 % nFk verfolgt.

In *Abbildung 325* wird das Niveau der nutzbaren Feldkapazität am Vortag der Bewässerungsmaßnahmen beim Spinatanbau von Betrieb A in den Jahren 2017 bis 2021 dargestellt. Dabei handelt es sich um eine nachträgliche Berechnung der nFk durch das Tool „agrowetter-Berechnung“. Durch das Programm werden 70 % nFk als üblicher Schwellenwert bis zu einem Entwicklungsstadium von BBCH 16 hinterlegt, welche in der Folge auf 55 % nFk reduziert werden. Diese Voreinstellung wurde bei der Eingabe übernommen.

Es wird deutlich, dass im betrachteten Zeitraum in 57 % der Fälle bis BBCH 16 eine Bewässerungsmaßnahme nach einem Bodenfeuchteniveau am Vortag bis 70 % nFk durchgeführt wurde, welche einen Zusatzwassereinsatz laut Landesanstalt für Pflanzenbau BW (2002) erforderlich macht. In 30 % der Fälle lag die errechnete nutzbare Feldkapazität im oberen Wurzelraum im Bereich oberhalb des empfohlenen Niveaus von 70 % bis zu einem Wert von 100 % nutzbarer Feldkapazität. Ergänzend erfolgten im betrachteten Zeitraum rund 13 % der Bewässerungsmaßnahmen bei einem rechnerischen Vortagsniveau von > 100 % nFk. Laut DWD (2022g) ist eine langfristige Speicherung der Feuchtigkeit im Boden in diesem Fall nicht möglich, wodurch das Wasser teilweise in tiefere Bodenschichten

versickert. Darüber hinaus besteht das Risiko für eine Auswaschung von Nährstoffen (Landesanstalt für Pflanzenbau BW, 2002).

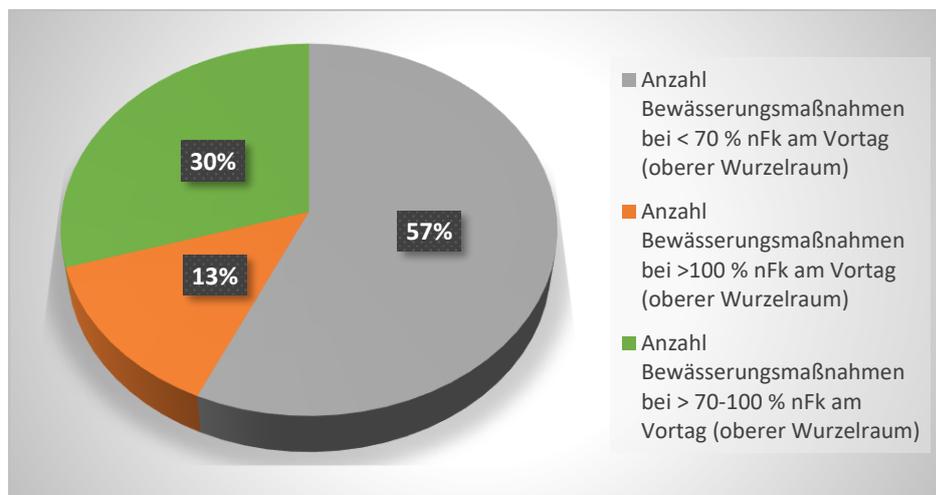


Abbildung 325: Niveau der nutzbaren Feldkapazität am Vortag von Bewässerungsmaßnahmen beim Spinatanbau von Betrieb A in den Jahren 2017 bis 2021 bis BBCH 16, Quelle: Eigene Abbildung auf Basis der Bewässerungsdokumentation, Betrieb A

Für die Bewässerungsmaßnahmen ab einem Entwicklungsstadium des Spinats von BBCH 16 in den Jahren 2017 bis 2021 lag das Ausgangsniveau der rechnerischen nFk wie in *Abbildung 33* dargestellt vor. Rund 23 % der Bewässerungsmaßnahmen wurden nach einem Bodenfeuchteniveau am Vortag im erforderlichen Bereich unterhalb von 55 % nFk durchgeführt. In 65 % der Fälle lag die errechnete nutzbare Feldkapazität im oberen Wurzelraum im Bereich oberhalb des empfohlenen Niveaus von 55 % bis hin zu einem Wert von 100 % nutzbarer Feldkapazität. Darüber hinaus erfolgten im betrachteten Zeitraum rund 12 % der Bewässerungsmaßnahmen bei einem rechnerischen Vortagsniveau von > 100 % nFk, bei dem der Zusatzwassereinsatz nicht angeraten ist.

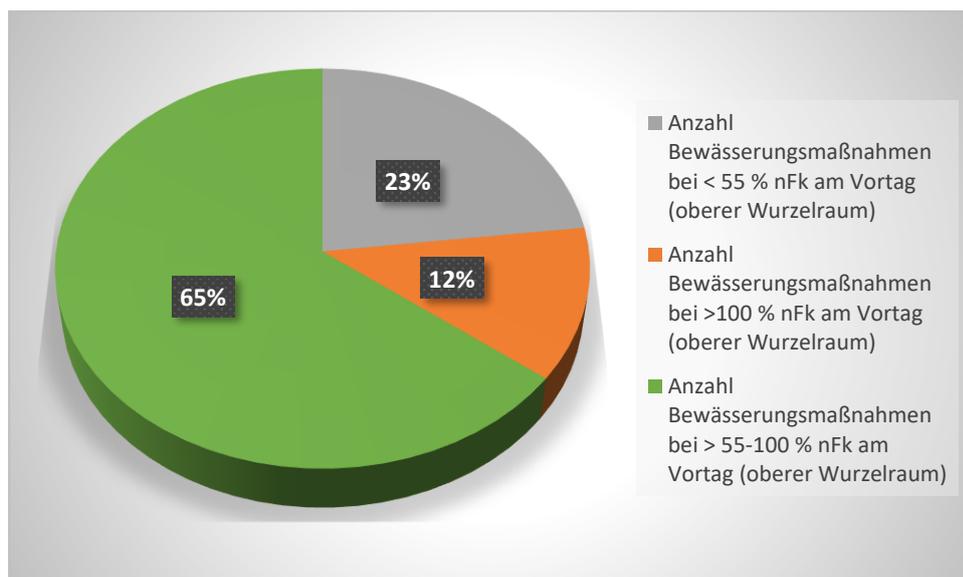


Abbildung 336: Niveau der nutzbaren Feldkapazität am Vortag von Bewässerungsmaßnahmen beim Spinatanbau von Betrieb A in den Jahren 2017 bis 2021 ab BBCH 16, Quelle: Eigene Abbildung auf Basis der Bewässerungsdokumentation, Betrieb A

Der zweitgrößte Zusatzwasserbedarf mit einem Anteil von rund 34 % an der Gesamtmenge über den fünfjährigen Zeitraum besteht in Höhe von etwa 46.570 m³ beim Anbau von Erdbeeren. Der Betrieb kultiviert neun verschiedene Sorten als frühe, mittlere und späte Anpflanzung, wodurch eine möglichst lange Vermarktungszeit von Mitte Mai bis Anfang August erreicht wird. Der Anbauumfang liegt konstant bei 16,86 ha, wobei der Freilandanbau mit 16,5 ha gegenüber dem geschützten Anbau im Folientunnel deutlich überwiegt. Die insgesamt zum Erdbeeranbau eingesetzte Wassermenge schwankt mit 36.680 m³ im Jahr 2021 gegenüber 54.940 m³ im Trockenjahr 2018 sehr ähnlich dem betrieblichen Gesamtbedarf. Dieser hat in den betreffenden Jahren ebenfalls sein Minimum beziehungsweise Maximum erreicht. Die Wasserversorgung der geschützten Kultur im Folientunnel erfolgt konstant mit einer jährlichen Zusatzwassermenge von 500 mm/m². Auch die frühen Freilanderdbeeren werden, bis auf das Jahr 2021, in dem 120 mm/m² eingesetzt wurden, mit einer jährlich gleichbleibenden Wassermenge von 250 mm/m² versorgt. Die mittleren und späten Erdbeeren bewegen sich bei einer jährlichen Zusatzwassermenge von rund 250 mm/m². Abweichende Wassergaben fanden in den Jahren 2017 und 2021 statt. In diesen Jahren erfolgte eine jährliche Applikation zwischen 120 und 200 mm je Quadratmeter Anbaufläche. Die Hauptbewässerungszeit der Erdbeeren liegt zwischen Anfang Mai und Anfang Juli. Im Freiland wird, wie auch beim geschützten Anbau im Folientunnel, überwiegend auf ein oberirdisch verlegtes Mikrobewässerungssystem mit Tropfschläuchen zurückgegriffen. Dieses wird im Frühjahr im Bestand installiert und dient neben der Wasserversorgung der Pflanzen auch der Zufuhr von Nährstoffen.

Zusätzlich setzt der Betrieb beim Erdbeeranbau gezielt auch die betriebseigene mobile Trommelberegnung mit Einzelregner ein. Diese Applikationsform des Wassers kommt insbesondere direkt nach der Pflanzung, sowie bei sehr starker Trockenheit, beispielsweise direkt nach der Ernte, zum Einsatz. Als technische Lösung, die zur Versorgung kleiner Schläge ohne direkten Zugang zu Wasser für die Beregnung zum Einsatz kommt, dient ein Wasserverteilwagen. Dieser arbeitet mit einem 9 m breiten Ausleger, welcher die Pflanzen von oben mit Wasser versorgt. Laut Betrieb A ist damit eine sehr exakte Applikation des Wassers möglich, wobei eine Besichtigung der Technik vor Ort nicht stattfinden konnte. Deshalb ist eine Beurteilung dieser Einschätzung im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht möglich.

Ein Anteil von etwa 20 % der mittleren jährlichen Gesamtwassermenge über den Zeitraum von 2017 bis 2021 wird für den Anbau von Silomais und Ackergras verwendet. Die durchschnittliche Jahresmenge beträgt etwa 26.870 m³. Wie in Kapitel 4.2.1 erläutert, wird von Betrieb A eine Biogasanlage mit einer installierten elektrischen Leistung von 500 kW betrieben, in der die Biomasse von Silomais und Ackergras verwertet wird. Während im Jahr 2019 der maximale Umfang der bewässerten Anbaufläche von Silomais mit 34 ha und einer Wassermenge von 120 mm im Mittel über alle Flächen beträgt, entfällt der Zusatzwassereinsatz bei der Kultur im Jahr 2021 komplett. Der mittlere Bewässerungsumfang von Silomais über den Zeitraum 2017 bis 2021 liegt bei 98 mm jährlichem Zusatzwassereinsatz je Quadratmeter. Beim Ackergras liegt die maximale bewässerte Fläche ebenfalls im Jahr 2019 mit 34 ha vor, wobei in diesem Jahr die geringste Zusatzwassermenge aller Jahre von lediglich 30 mm/m² aufgewendet wurde. Als maximale

Wassermenge wurden im Jahr 2020 im Flächenmittel 60 mm/m^2 appliziert, wobei sich der Flächenumfang im Jahr 2020 auf 4 ha beschränkt. Im fünfjährigen Mittel setzte der Betrieb beim Anbau von Ackergras jährlich etwa 42 mm/m^2 Zusatzwasser ein.

Über den Gesamtzeitraum entfallen weitere rund 8 % der mittleren jährlichen Zusatzwassermenge auf den Anbau von Heidelbeeren, Himbeeren, Süßkirschen und Spargel. Zusätzlich umfasst dieses mittlere fünfjährige Kontingent von insgesamt rund 11.570 m^3 die Bewässerung von $0,05 \text{ ha}$ Anbaufläche für Tomaten im Jahr 2019. Darüber hinaus beinhaltet es ebenfalls den Zusatzwassereinsatz auf $0,7$ beziehungsweise $1,2 \text{ ha}$ bewirtschafteter Fläche zum Anbau von Blumen als Selbstpflückangebot, der in den Jahren 2020 und 2021 stattfand. Der Anbau von Heidelbeeren und Himbeeren erfolgt über den gesamten Zeitraum konstant in geschützter Form im Folientunnel auf einer Fläche von $0,1 \text{ ha}$ für Heidelbeeren und $0,12 \text{ ha}$ für Himbeeren. Die Höhe der Bewässerungsmenge variiert zwischen den einzelnen Jahren, wie auch beim geschützten Erdbeeranbau im Folientunnel, nicht. Jährlich erfolgt eine Zusatzwasserapplikation mit einem Umfang von 1000 mm/m^2 bei Heidelbeeren und 500 mm/m^2 beim Himbeeranbau im Folientunnel. Technisch wird das Wasser durch ein Mikrobewässerungsverfahren mit Pfeiltropfern an die Pflanzen appliziert, wie es bereits in Kapitel 4.2.1 beschrieben wurde. Zusätzlich zu dem geschützten Heidelbeeranbau im Folientunnel wurden durch den Betrieb im Jahr 2021 auf $1,1 \text{ ha}$ auch Heidelbeeren als Freilandkultur erzeugt. Durch ein oberirdisches Mikrobewässerungssystem werden die Pflanzen mit einer jährlichen Wassermenge von 80 mm je Quadratmeter versorgt.

Auf einer gleichbleibenden Anbaufläche von $0,4 \text{ ha}$ bewirtschaftet Betrieb A eine Süßkirschenplantage, die mit einer mittleren jährlichen Zusatzwassermenge von 230 mm versorgt wird. Die Jahreswerte bewegen sich dabei zwischen minimal 120 mm im Jahr 2017 und maximal 360 mm im Jahr 2019. Die Applikation des Wassers erfolgt mittels oberirdischer Mikrobewässerung. Zudem wird Spargel auf einer Anbaufläche mit gleichbleibendem Umfang von $3,3 \text{ ha}$ in Betriebsnähe angebaut. Die verwendete mittlere Zusatzwassermenge beläuft sich auf 84 mm/m^2 , wobei die Bewässerung im Jahr 2021 mit lediglich 40 mm/m^2 den geringsten Wert sowie in den Jahren 2018 und 2019 mit einer eingesetzten Jahresmenge von jeweils 120 mm/m^2 den größten Umfang eingenommen hat. Das Wasser wird primär durch den Einsatz eines unterirdischen Mikrobewässerungssystems in der Dammkrone an die Spargelpflanzen appliziert, wobei je nach Bedarf zusätzlich auf die mobile Trommelberegnungsanlage mit Einzelregner zurückgegriffen wird.

Zusätzlich wurden im Jahr 2019 auf einer Fläche von etwa 500 m^2 ebenfalls Tomaten im geschützten Anbau im Folientunnel erzeugt. Auf die Anbaufläche wurde über die Vegetationsperiode hinweg eine Zusatzwassermenge von 600 mm/m^2 ausgebracht. Zudem setzte der Betrieb in den Jahren 2020 und 2021 auch Zusatzwasser im Umfang von 500 mm/m^2 beziehungsweise 360 mm/m^2 für den Anbau verschiedener Blumen auf einer Selbstpflückfläche im Freiland ein. Die Anbaufläche belief sich auf $0,7 \text{ ha}$ im Jahr 2020 und $1,2 \text{ ha}$ im Jahr 2021.

Beim Anbau von Erdbeeren und Süßkirschen setzt Betrieb A eine Frostberegnung ein. Die benötigte jährliche Wassermenge für die Beregnung zum Schutz gegen Frostschäden liegt im mehrjährigen Mittel für Erdbeeren bei etwa 17.100 m^3 . Eine Frostberegnung findet über alle

Jahre hinweg auf konstant 3,5 ha bewirtschafteter Fläche statt, welche zum Anbau früher Freilanderdbeeren zum Einsatz kommt. Für die Frostberegnung von Süßkirschen liegt der mittlere Wasserbedarf bei 3.910 m³, wobei die Maßnahme auf der gesamten Anbaufläche von 0,4 ha durchgeführt wird.

Die Bewässerungspraxis und Erfassung der Zusatzwassermengen stellt sich bei Betrieb B abweichend dar. Der Betrieb verfügt über zwei eigene Wasserentnahmestellen und besitzt zudem die Möglichkeit, auf zwei Feldbrunnen zur Wasserentnahme zurückzugreifen, die zu anderen landwirtschaftlichen Betrieben gehören. Damit besteht nach Angabe von Betrieb B eine theoretische Bewässerungsmöglichkeit für die gesamte Ackerfläche im Umfang von etwa 160 ha. Im Erhebungsbogen der LWK von 2021 gibt der Betrieb eine mittlere jährliche Gesamtfördermenge im Umfang von etwa 15.000 m³ Zusatzwasser pro Jahr an. Die eingesetzte Bewässerungsmenge wird von Betrieb B auf Grundlage der Betriebsstundenzählung der Wasserpumpe abgeleitet, welche das Wasser zur Beregnungsmaschine fördert. Durch Ablesen des Betriebsstundenzählers sowie anschließende Ermittlung der Differenz zum vorherigen Erfassungszeitpunkt, wird die Betriebsdauer der Wasserpumpe in der Zwischenzeit ermittelt. Anhand einer Herstellerangabe der Durchflussmenge pro Stunde errechnet Projektbetrieb B die verwendete Zusatzwassermenge. Über den fünfjährigen Zeitraum fanden innerhalb der Beregnungsperiode jeweils zwischen vier und sechs Betriebsstundenerfassungen an der Wasserpumpe statt. Die übermittelten Daten zur Dokumentation der Bewässerungsmengen im Zeitraum von 2017 bis 2021 beziehen sich ausschließlich auf eine der beiden betriebseigenen Wasserentnahmestellen. Dabei handelt es sich um einen Feldbrunnen, welcher auch durch einen anderen landwirtschaftlichen Betrieb genutzt wird. Die Beantwortung der Frage, für welchen Betrieb und welche Kultur zum jeweiligen Zeitpunkt ein Bewässerungsrecht an der Entnahmestelle vorliegt, erfolgt bislang nach betrieblicher Auskunft auf Grundlage der Bewässerungswürdigkeit der Kulturen. Für den Feldbrunnen wurde zwischen 2017 bis 2020 eine mittlere jährliche Wasserentnahme im Umfang von etwa 10.700 m³ pro Jahr dokumentiert. Im Jahr 2021 erfolgte an diesem Feldbrunnen keine Entnahme von Beregnungswasser. Die Gesamtfördermenge der betreffenden vier Jahre mit Bewässerungseinsatz beläuft sich auf etwa 43.000 m³, wovon rund 21.000 m³ durch einen Fremdbetrieb primär zur Beregnung von Kartoffeln entnommen wurden. Zu konkreten Zeitpunkten sowie der berechneten Flächengröße und Beregnungshöhe liegt keine Dokumentation vor. Der Austausch der Betriebsstundenänderungen erfolgt bislang in einem zeitlichen Rhythmus von rund 14 Tagen durch eine Kurznachricht vom Betriebsleiter des entnehmenden Betriebes über einen Messenger Dienst, woraufhin der Betriebsleiter von Betrieb B die Dokumentation in seinen Aufzeichnungen vornimmt. Die betriebseigenen Wasserentnahmen beschränkten sich in den Jahren 2017 und 2019 auf den Anbau von Silomais. Dabei wurden ebenfalls lediglich die bewässerten Kulturen ohne entsprechende tagesgenaue Werte zu Zusatzwassermengen dokumentiert.

Die zweite betriebseigene Wasserentnahmestelle, ein Hofbrunnen mit einer Wasserentnahmeleistung von 60 m³ pro Stunde, dient der Bewässerung von 20 ha bewirtschafteter Fläche in arrondierter Lage. Für diese Entnahmestelle lag im betreffenden Zeitraum von 2017 bis 2021 noch keine Entnahmeerlaubnis vor, weshalb keine Bewässerung

über den Hofbrunnen erfolgt ist. Die Entnahmeerlaubnis in Höhe von 12.500 m³ wurde im Jahr 2021 durch die zuständige Behörde erteilt. Über die anteilige Nutzungsmöglichkeit der betriebsfremden Wasserentnahmestellen liegen ebenfalls keine Daten vor.

Die Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit sowie das Bewässerungsmanagement findet bislang lediglich auf Grundlage betrieblicher Erfahrung statt. Dazu beurteilt der Betriebsleiter von Betrieb B den Zustand der Pflanze zu bestimmten Zeitpunkten visuell, im Fall von Silomais beispielsweise den Zustand der Pflanze zur Blüte. Technisch erfolgt die Zusatzwasserapplikation durch Einsatz mobiler Beregnungstechnik des Herstellers Nettuno. Die mobile Beregnungsmaschine mit einer Schlauchlänge von 500 m ist mit einem Starkregner ausgerüstet. Das System arbeitet auf einer Breite von bis zu 75 m und ist mit einer Düse mit einem Durchmesser von 22 mm bestückt. Die Wasserzuleitung erfolgt wahlweise durch eine Schlauchleitung oder durch mobile Rohrleitungen. Der Transport der Schlauchleitung zum Einsatzort erfolgt auf einer Schlauchhaspel, die in der Fronthydraulik des Schleppers gefahren werden kann, der auch die mobile Beregnungsmaschine bewegt. Mobile Rohrleitungen hält der Betrieb teilweise selbst vor und tauscht sich, wie auch bei der Nutzung der Wasserentnahmestellen, wechselseitig mit anderen landwirtschaftlichen Betrieben aus. Die Bodenbearbeitung wird vorwiegend im Schälverfahren mit einer Arbeitstiefe von etwa 8 cm durchgeführt. Dadurch wird das Ziel der flach-wendenden Stoppelbearbeitung und Minderung des Unkrautdruckes verfolgt. Ergänzend dazu setzt Betrieb B nach Bedarf auf den Pflugeinsatz mit einer größeren Eingriffstiefe.

Der Umfang des Zusatzwassereinsatzes bei Betrieb C beläuft sich auf eine jährliche Entnahmemenge von 6.000 m³. Davon entfielen zum Erhebungszeitpunkt der LWK jeweils 2.000 m³ auf den Kartoffel- und Gemüseanbau sowie 1600 m³ auf die Bewässerung von Silomais und 400 m³ auf die Erzeugung von Leguminosen. Der Betrieb sieht Bedarf für eine perspektivische Erhöhung der Wasserfördermenge um weitere 15.000 m³ (Wilmer-Jahn et al., 2021). Im Freiland wird eine mobile Trommelberegnung mit einer Schlauchlänge von 400 m sowie ein Starkregner vom Typ Twin 140 eingesetzt, welcher jeweils mit einem Düsendurchmesser von 18, 20 oder 22 mm betrieben werden kann. Die Wasserbereitstellung findet durch zwei Entnahmebrunnen statt, welche zur Versorgung der potenziell beregnungsfähigen Fläche von etwa 20 ha dienen. Zu konkreten Beregnungszeitpunkten, der Beregnungshöhe und der jeweiligen Kultur liegen seitens des Betriebes keine Aufzeichnungen vor. Alternativ greift der Betrieb zur Dokumentation auf einen Beregnungsplan zurück, der im Zuge der Antragstellung zur Wasserentnahme von der genehmigenden Behörde eingefordert wurde. Daraus ergibt sich der kalkulierte Wasserbedarf von Betrieb C, der von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen auf Basis der erzeugten Kulturen ermittelt wurde.

Die Berechnung bezieht sich ausschließlich auf eine betriebsnahe Anbaufläche mit einer Größe von 8,3 ha. Die Fläche wird zum Anbau von Kartoffeln, Möhren, Kürbissen und verschiedene Frischgemüsearten verwendet. Der zugrunde gelegte Zeitraum für den Zusatzwassereinsatz liegt zwischen Ende April und Ende August. Bei der Kalkulation des Wasserbedarfes wurde über alle Kulturen hinweg ein wöchentlicher Beregnungsbedarf zwischen 5 mm im April und bis zu 20 mm für die restliche Vegetationsphase zugrunde gelegt. Dadurch resultiert für die einzelnen Kulturen eine benötigte Gesamtregenhöhe

zwischen 60 und 120 mm über eine mittlere Anbauperiode hinweg. Während Mais und Getreide in dieser Berechnung mit 60 mm veranschlagt werden, liegt der Bedarf beim Kartoffelanbau bei 80 mm und für die Erzeugung von Erdbeeren bei einem Wert von 90 mm. Im Fall von Kürbis, Möhren und der Sammelkategorie „diverse Gemüse“ wird durchweg ein Bedarf von 120 mm über den berechnungsintensiven Zeitraum der jeweiligen Anbauperiode zwischen Mai und August zugrunde gelegt. Dieser gliedert sich in sechs Gaben mit jeweils 20 mm Regenhöhe. Auf Grundlage der Annahmen der LWK ergibt sich für die betreffende Anbaufläche von 8,3 ha ein mittlerer jährlicher Gesamtbedarf von etwa 9.600 m³.

Als monatliche Berechnungsmenge unter anhaltend trockenen Bedingungen wurden hingegen 800 bis 1.000 m³ pro Hektar sowie eine mittlere Jahresmenge von 3.000 m³ von der LWK ermittelt. Auf Grundlage dieser Bedarfsermittlung ergibt sich in einem extremen Trockenjahr für die genannte Anbaufläche von 8,3 ha bei der gegebenen Kulturzusammensetzung ein Gesamtbedarf von etwa 24.900 m³. Bezogen auf die laut Schlagverzeichnis im Jahr 2020 bewirtschaftete Gesamtfläche von etwa 21,7 ha und die angebauten Kulturen Kartoffeln, Kürbis, Hanf, Mais, Mischkulturen im Reihenanbau und Gemüseerbsen resultiert ein jährlicher Zusatzwasserbedarf zwischen etwa 18.800 m³ und 23.400 m³ pro Anbaujahr (Wilmer-Jahn et al., 2021).

5.1.2 Klimatische Entwicklung in Abhängigkeit verschiedener Szenarien

Die in Kapitel 4.4 beschriebenen Klimaszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 stellen unterschiedliche klimatische Bedingungen dar, denen die Bewässerungslandwirtschaft in Zukunft möglicherweise ausgesetzt ist. Die projizierten klimatischen Veränderungen in Nordrhein-Westfalen für den Zeitraum von 2036 bis 2065, die auf Basis von 85 regionalen Klimasimulationen berechnet wurden, stellen sich im Vergleich zur Referenzperiode der Jahre 1971 bis 2000 laut Pfeifer et al. (2020) und GERICS (2018) wie folgt dar.

Durch das Szenario RCP 2.6, welches das geringste Emissionsniveau abbildet, ergibt sich ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um minimal 0,3 °C und maximal 2,0 °C, wobei der Median bei 1,2 °C liegt. Die Anzahl der Sommertage mit einer Maximaltemperatur oberhalb von 25 °C steigt von einem bisherigen Niveau von etwa 27 um rund sieben Tage an, wobei ein minimaler Zuwachs von 2 und maximal 19 Tagen zu erwarten ist. Als Hitzetage gelten Tage mit Maximaltemperaturen von mehr als 30 °C. Diese traten im Referenzzeitraum etwa fünfmal jährlich auf. In diesem Bereich wird eine Entwicklung projiziert, die zwischen einem unveränderten Zustand und einem Anstieg um fünf Tage liegt, wobei im Mittel der Zukunftsprojektionen ein Anstieg von zwei Tagen erwartet wird.

Für das mittlere Szenario RCP 4.5 wird ein Temperaturanstieg zwischen minimal 0,8 °C und maximal 2,6 °C berechnet, woraus sich ein Median von 1,5 °C ergibt. Das Szenario RCP 8.5 bildet die Auswirkungen des vergleichsweise höchsten Emissionsniveaus ab. In diesem Fall ist für den Zeitraum von 2036 bis 2065 ein Anstieg der Temperatur von minimal 1,2 °C und maximal 2,9 °C im relativen Vergleich zur Referenzperiode von 1971 bis 2000 zu erwarten. Der Median liegt in diesem Szenario bei 1,8 °C. Der Anstieg der Zahl von Sommertagen wird für dieses Szenario mit 7 bis 39 Tagen, im Mittel mit 11 Tagen angegeben. Die Anzahl der Hitzetage nimmt im Vergleich zur Referenzperiode um 1 bis 18 Tage, im Mittel um rund 4 Tage zu.

Die projizierte temperaturbezogene Klimaänderung für den darauffolgenden Zeitraum von 2070 bis 2099 ergibt im Niedrigemissionsszenario RCP 2.6 einen Temperaturanstieg im Bereich von minimal 0,3 °C bis maximal 1,7 °C, wobei der Zentralwert bei 1,1 °C liegt. Die Sommertageszahl erhöht sich in diesem späteren Zeitraum um 3 bis 21 Tage, im Mittel ist ein Zuwachs von rund 8 Tagen zu erwarten. Für die Zahl der Hitzetage ist eine Zunahme im Bereich von 1 bis 7 Tagen, im Mittel rund 2 Tagen zu erwarten. Im mittleren Szenario RCP 4.5 liegt der Anstieg der Jahresmitteltemperatur zwischen 1,3 °C und 3,1 °C mit einem Median von 2,0 °C. Für das Szenario RCP 8.5 mit dem vergleichsweise höchsten Emissionsniveau wird ein Temperaturanstieg zwischen 2,5 °C und 5,0 °C projiziert, wobei der Median unter diesen Gegebenheiten bei 3,4 °C relativ zur Referenzperiode von 1971 bis 2000 liegt. Die Anzahl der Sommertage mit einer Temperatur über 25 °C nimmt um 15 bis 69 Tage zu, es liegt ein Zentralwert von 26 Tagen vor. Im Bereich der Hitzetage mit einer Temperatur über 30 °C wird ein Anstieg zwischen 3 und 40 Tagen projiziert, wobei im Mittel eine Zunahme um rund 10 Tage erwartet wird.

Die Veränderungen des zu erwartenden Niederschlages sind laut den Autoren nicht robust. In der Periode von 2036 bis 2065 wird im Fall des Szenarios RCP 2.6 relativ zur Referenzperiode von 1971 bis 2000 eine Spannbreite zwischen einer Verringerung um 8,4 % und einem Zuwachs von 8,5 % mit einem Zentralwert von -0,5 % projiziert. Die Bandbreite des zu erwartenden Sommerniederschlages liegt in dieser Periode zwischen einer Verringerung um 13,1 % und einem Zuwachs von 13,6 % mit einem Median von -2,8 %. Die projizierte Niederschlagsänderung im mittleren Szenario RCP 4.5 deutet im betreffenden Zeitraum auf eine Veränderung hin, die im Minimum eine Verringerung um 3,1 % und im Maximum eine Zunahme der Niederschläge um 8,2 % bedeutet. Der mittlere Wert der Datenreihe liegt bei einer Zunahme von 3,9 %. Die Ergebnisse für den zu erwartenden Sommerniederschlag liegen relativ zur Referenzperiode zwischen -17,3 % und 11,0 % und einem Zentralwert von 1 %. In der Berechnung zum Szenario RCP 8.5 mit dem höchsten Emissionsniveau resultiert eine Spanne des zu erwartenden Niederschlages zwischen -10,4 % und +16,6 % bei einem Median von 4,1 %. Im Bereich der Sommerniederschläge resultiert im Minimum eine Abnahme um 19,4 % und im Maximum eine Steigerung um 26,2 % bei einem Zentralwert der Datenreihe von -0,3 %.

Im Betrachtungszeitraum von 2070 bis 2099 liegt die prozentuale Niederschlagsveränderung von Szenario RCP 2.6 relativ zur Referenzperiode im Bereich von -11,3 und 7,0. Der Median bedeutet einen relativen Anstieg des Jahresniederschlages um 1,3 %. Die Entwicklung der zu erwartenden Sommerniederschläge liegt zwischen einer Abnahme um 16,0 % und einer Zunahme um 7,0 %. Durch den mittleren Wert der Datenreihe in Höhe von 0,0 % wird keine relative Veränderung des Sommerniederschlages im Vergleich zum Zeitraum von 1971 bis 2000 prognostiziert. Als projizierte Jahresniederschlagsveränderung im Szenario RCP 4.5 liegt eine Zunahme im Bereich von 0,4 % bis 13,8 % und ein Median von 2,9 % vor. Die Spanne der Sommerniederschläge reicht von einer relativen Abnahme um 13,2 % bis hin zu einer relativen Zunahme um 28,8 % bei einem mittleren Wert der Datenreihe von -0,5 %. Die projizierten Veränderungen im Kontext des Szenarios RCP 8.5 mit dem höchsten Emissionsniveau im Vergleich der drei Szenarien weist auf eine Spanne der projizierten Veränderungen zwischen einer minimalen Abnahme der Jahresniederschläge um 8,3 % und eine maximale Zunahme um 29 % im Vergleich zur Referenzperiode von 1971 bis 2000 hin.

Der Zentralwert dieser Datenreihe liegt bei 6,4 %. Die zu erwartenden Veränderungen im Bereich der Sommerniederschläge im Szenario RCP 8.5 bewegen sich zwischen einer relativen Abnahme der Sommerniederschläge um 56,2 % und zu einer relativen Steigerung um 41,6 %. Durch die mittlere Änderung wird eine relative Abnahme der zu erwartenden Sommerniederschläge um 8,9 % projiziert.

Die projizierten Entwicklungen der Klimatischen Wasserbilanz, die das Jahresmittel der tagesbezogenen Differenz von Niederschlag und Verdunstung abbildet, stellen sich in Abhängigkeit der Szenarien laut Pfeifer et al. (2020) wie folgt dar.

Sowohl im ersten betrachteten Zeitraum von 2036 bis 2065 als auch in der späteren Periode bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden für RCP 2.6 und RCP 4.5 relativ zur Referenzperiode von 1971 bis 2000 keine Veränderungen der Klimatischen Wasserbilanz erwartet. Lediglich das Szenario RCP 8.5 mit den höchsten berücksichtigten Emissionen führt zur Projektion einer tendenziellen Zunahme der Klimatischen Wasserbilanz. Konkret wird im Zeitraum von 2036 bis 2065 eine Veränderungsspanne erwartet, welche im Bereich von einer Abnahme um 0,31 mm pro Tag und einer Zunahme um 0,37 mm pro Tag liegt. Der Median der Projektion liegt bei einer Zunahme im Jahresmittel um 0,04 mm pro Tag im Vergleich zur Referenzperiode von 1971 bis 2000. Im späteren Zeitraum von 2070 bis 2099 hingegen resultiert aus der Berechnung eine relative projizierte Änderung im Bereich einer täglichen Abnahme um 0,29 mm pro Tag und einer täglichen Zunahme von 0,65 mm mit einem Zentralwert von 0,07 mm pro Tag im Jahresmittel (GERICS, 2018; Pfeifer et al., 2020).

Die Berechnungen zum zukünftigen Bedarf des Zusatzwassereinsatzes von Kreins et al. (2015) und Rolfes et al. (2019), die nicht auf den RCP-Szenarien sondern dem Globalszenario A1B und dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2010 basieren, geben Aufschluss über die zu erwartende landwirtschaftliche Beregnungsbedürftigkeit in Nordrhein-Westfalen insgesamt sowie in Bezug auf die einzelnen Regierungsbezirke bis zum Jahr 2080.

Laut den Autoren lag die durchschnittliche Beregnungsbedürftigkeit bei Spätkartoffeln im Zeitraum von 1991 bis 2020 in den Teilräumen, welche das Projektgebiet betreffen zwischen 75 und 100 mm. Für den Zeitraum zwischen 2021 und 2050 steigert sich der projizierte Bedarf zur Versorgung der Kultur auf 100 bis 125 mm, beziehungsweise 125 bis 150 mm. Im weiteren zeitlichen Verlauf ab dem Jahr 2051 bis 2080 wird eine durchschnittliche Beregnungsbedürftigkeit von Spätkartoffeln im Bereich von mehr als 150 mm erwartet.

5.1.3 Bewässerungsbedarf für das Projektgebiet unter Klimaszenarien

Zunächst die Gesamtbetrachtung, dann die Betrachtung der einzelnen Kulturen

Abbildung 37 stellt die Ergebnisse der Modellierung über die gesamte Zeitspanne dar, zusammengefasst als Gesamtbedarf aller Kulturen pro Jahr.

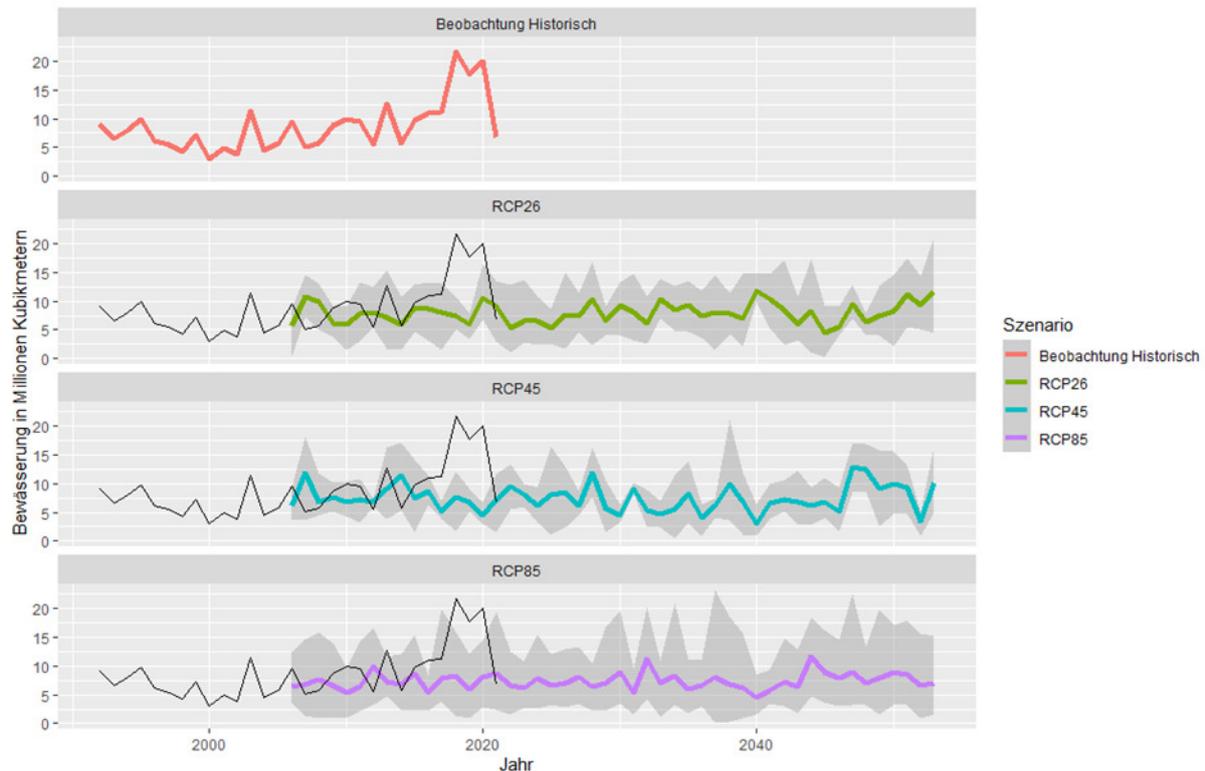


Abbildung 37: Bewässerungsbedarf unter verschiedenen Klimaszenarien

Es zeigt sich, dass die Projektionsdaten den hohen Wasserbedarf in den Jahren 2018 – 2020 nicht berücksichtigen. Nur die jeweils extremsten Klimamodelle in den RCP 8.5 Szenarien prognostizieren etwas Vergleichbares. Insgesamt zeigt sich in den Projektionen nicht der gleiche Trend eines steigenden Bewässerungsbedarfs, der aus den Beobachtungsdaten abzulesen ist.

Die aus den Klimaprojektionen generierten Zeitreihen können dazu dienen, mögliche Trends abzulesen, sie sind allerdings nicht als Vorhersage für konkrete Jahre zu verstehen. Um kurzfristige Schwankungen auszumitteln werden häufig Mittelwerte über 30 Jahre gebildet. Tabelle 3 zeigt den mittleren jährlichen Bewässerungsbedarf unter verschiedenen Klimaszenarien. Der historische Wert bezieht sich auf die Jahre 1992 – 2021, die RCP-Szenarien auf die Jahre 2022 – 2051.

Tabelle 3: Mittlerer jährlicher Bewässerungsbedarf in Millionen Kubikmetern

Szenario	Mittel	Minimum	Maximum
Beobachtung Historisch	8,7		
RCP 2.6	8,0	3,7	13,2
RCP 4.5	7,4	3,7	11,6
RCP 8.5	7,4	2,5	15,0

In allen RCP-Szenarien liegt der mittlere Bewässerungsbedarf etwas unter dem Bewässerungsbedarf der Referenzperiode. Schreibt man allerdings die Entwicklung der letzten Jahre fort, scheint es plausibler, die jeweiligen Maxima der Modellrechnungen zu berücksichtigen, die in Abbildung 37 die Oberkante des grauen Bereichs bilden. Im Mittel der Referenzperiode würde der Bewässerungsbedarf dann von gegenwärtig 8,7 Millionen Kubikmetern auf 11,6 – 15 Millionen Kubikmeter pro Jahr steigen. In Spitzenjahren könnten bei flächendeckender Bewässerung Bedarfsmengen von 20 Millionen Kubikmetern Wasser erreicht werden.

Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen den Bewässerungsbedarf, aufgeschlüsselt nach den angebauten Kulturen. Ähnlich wie in der Gesamtbetrachtung liegen die aus den Beobachtungsdaten ermittelten Wasserbedarfe etwas über dem Mittel der Projektionsdaten, wobei die Spanne die der Projektionen auch eine deutliche Zunahme des Bewässerungsbedarfs miteinschließt. Bezogen auf den Wasserbedarf der Kulturen in mm ist in vielen Fällen eine Erhöhung um das 1,5-fache, bei Silomais auch um das 2-fache möglich.

- Betrachtet man den flächenbezogenen Wasserbedarf, liegen Dauergrünland, Silomais und Ackergras ganz vorne. Das ist insofern nicht erstaunlich, da sie zusammen mit Wintergetreide die größten Anbauflächen besitzen. Sowohl für Dauergrünland als auch für Silomais könnte der Bewässerungsbedarf auf über 5 Millionen Kubikmeter pro Jahr steigen.
- Kartoffeln und Gemüse als bereits bewässerte und bewässerungswürdige Kulturen machen dagegen auch in Zukunft nur einen Bruchteil des Gesamtbedarfs aus

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

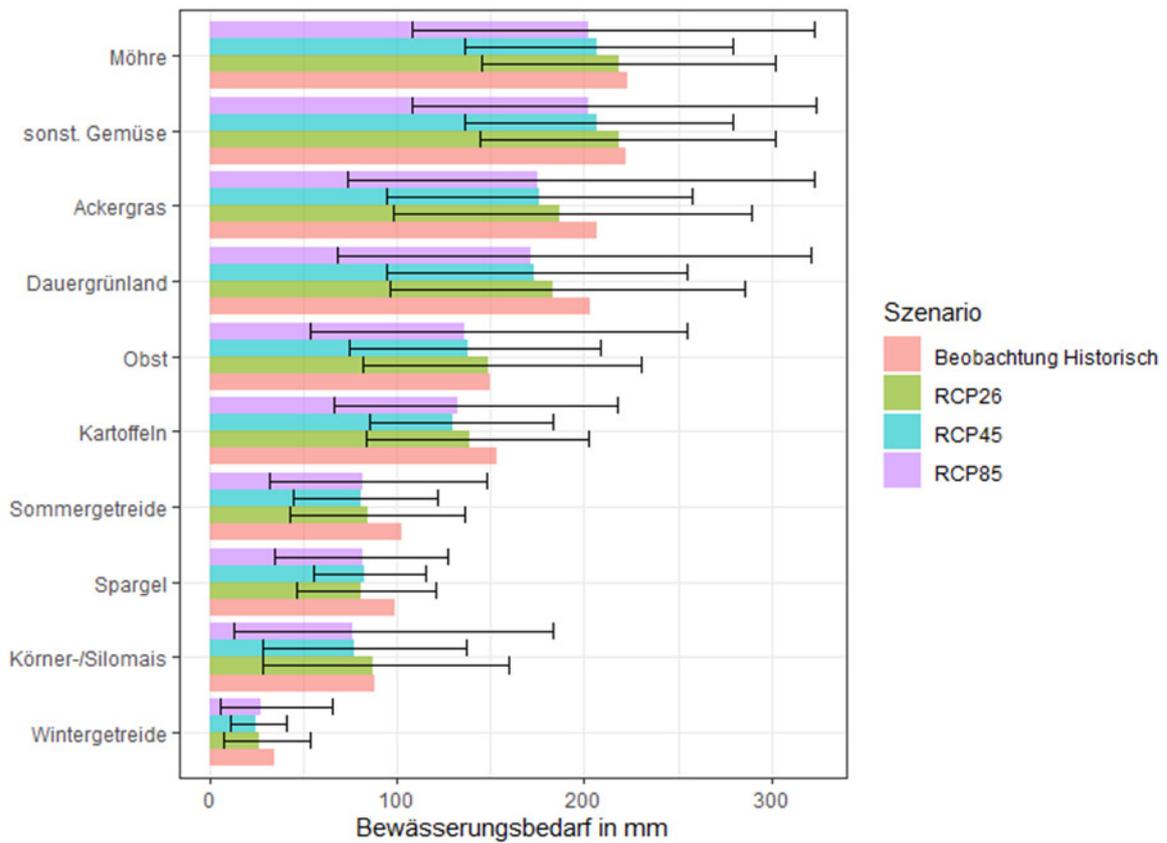


Abbildung 38: Kulturspezifischer Bewässerungsbedarf in mm

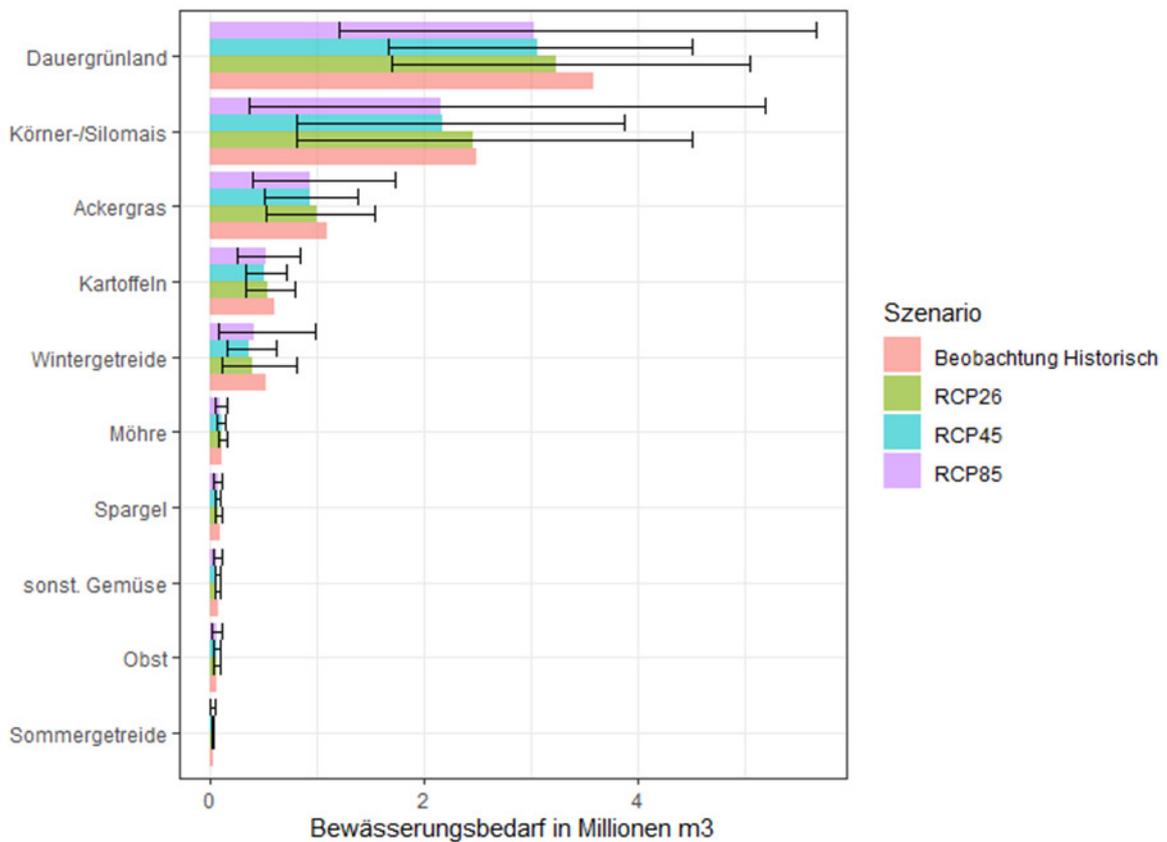


Abbildung 39: Kulturspezifischer Bedarf in Millionen Kubmetern

5.2 Optimierungspotenzial für ressourcenschonende Bewässerung

Im folgenden Kapitel werden verschiedene Ansätze behandelt, die als Zielsetzung den ressourcenschonenderen Umgang mit Zusatzwasser verfolgen. Diese gehören primär zu den Bereichen Bewässerungstechnik und Management. Darüber hinaus werden Aspekten zur Schonung der Ressource Wasser bei der Kulturauswahl und Bodenbearbeitung betrachtet.

5.2.1 Optimierungspotenzial der Bewässerungstechnik

Bewässerungstechnisch wird bei allen drei Beispielbetrieben, die ihre Kulturen bereits gegenwärtig teilweise mit Zusatzwasser versorgen, auf den Einsatz der mobilen Trommelberegnung mit Einzelregner zurückgegriffen. Verfahren zur Mikrobewässerung kommen bei zwei Betrieben im Folientunnel zum Einsatz, einer nutzt ein solches System ergänzend auch im Freiland. Zudem verwendet dieser Betrieb zusätzlich einen Wasserverteilwagen zur Versorgung von Anbauflächen ohne Möglichkeit der direkten Wasserbereitstellung zur Feldbewässerung. Dieses Verfahren kommt aufgrund der schwachen Schlagkraft jedoch lediglich in geringem Umfang zum Einsatz.

Die Verteilung der Nennungen zu den verwendeten Verfahren zur Feldbewässerung der insgesamt 29 bei der Erhebung von Wilmer-Jahn et al. (2021) betrachteten Betriebe mit Bewässerung in der Projektregion sind *Abbildung 40* zu entnehmen. Daraus lässt sich keine Aussage über den flächenbezogenen Einsatzumfang des jeweiligen Verfahrens ableiten.

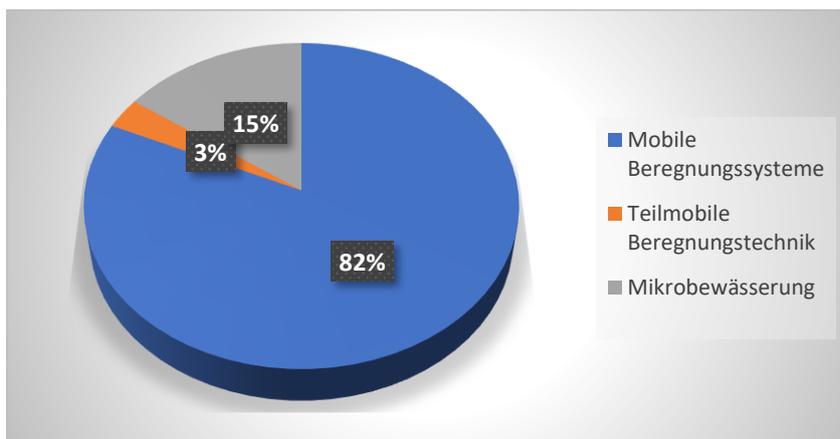


Abbildung 40: Nennungen zu den verwendeten Verfahren der Feldbewässerung bei den erfassten Bewässerungsbetrieben, Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage der LWK NRW (2021)

Auf mobile Beregnungssysteme entfielen 82 % der Nennungen, Mikrobewässerung wurde in einem Umfang von 15 % benannt und teilmobile Beregnungstechnik kam in 3 % der betrachteten Betriebe zum Einsatz. Damit spielt die mobile Beregnungstechnik, wie auch bei den drei ausgewählten Projektbewässerungsbetrieben, die zentrale Rolle bei der Feldbewässerung vor Ort. Dieser Aspekt bestätigt tendenziell die Aussage von Fröba und Belau (2022), wonach mobile Beregnungstechnik mit Einzelregnern zur Versorgung von mehr als 98 % der bewässerten Landfläche in Deutschland eingesetzt wird (siehe Kapitel 3.1.1).

Da die vergleichsweise niedrigste Beregnungsintensität nach Aussage von Gramm (2014) und die größte Wassereffizienz im Bereich von etwa 95 % laut Sourell (2006) bei der Nutzung von

Tropfbewässerungsverfahren vorliegt, ist mit der Verbreitung dieses Systems hohes Einsparpotenzial verbunden. Zusätzlich benötigen Tropfbewässerungssysteme wesentlich weniger Energie und verringern Verschlammungsrisiken.

Zur Optimierung des Einsatzes bereits vorhandener mobiler Beregnungstechnik hinsichtlich geringerer Beregnungsintensität und gleichmäßigerer Wasserverteilung durch reduzierte Windempfindlichkeit ist der Einsatz von Düsenwagen anstelle von Einzelregnern denkbar. Zusätzlich ergibt sich laut Fricke (2022) durch diese Systemanpassung auch hier eine Energieeinsparung von bis zu 20 % im Vergleich zu Verfahren mit Einzelregnern. Aus den Daten der Erhebung der LWK lässt sich allerdings nicht entnehmen, ob die betrachteten Betriebe durchweg auf den Einsatz von Einzelregnern setzen, oder ob teilweise bereits Düsenwagen zum Einsatz kommen.

Auch die vermehrte Verwendung von teilmobilen Beregnungssystemen birgt ähnliches Potenzial im Hinblick auf verbesserte Verteilgenauigkeit und geringere Anfälligkeit für Bodenverschlammungen. Im direkten Vergleich mit mobiler Beregnungstechnik sind zudem Energieeinsparungen von 50 bis 60 % möglich, bedingt durch den wesentlich geringeren Betriebsdruck des Verfahrens. Im Rahmen der genannten Erhebung betraf der Einsatz teilmobiler Beregnungssysteme jedoch lediglich einen Betrieb. Auf den drei Beispielbetrieben spielt die teilmobile Beregnungstechnik hingegen keine Rolle. Einen wesentlichen Grund für die regional geringe Praxisrelevanz stellt vermutlich die Tatsache dar, dass der Einsatz teilmobiler Beregnungstechnik laut Fricke (2022) erst ab einer Schlaggröße von etwa 25 ha zu empfehlen ist. Laut Befragungsergebnissen von Tietz (2016) ist die mittlere Schlaggröße in Nordrhein-Westfalen mit etwa 5,5 ha für Ackerland und rund 1,7 ha für Grünland deutlich geringer. Laut Sourell (2006) ergibt sich durch teilmobile Kreisberegnung im Vergleich zur Mikrobewässerung ein Wassermehrbedarf von etwa 10 bis 20 %, was das Einsparpotenzial beim Systemwechsel zur Mikrobewässerung nochmals unterstreicht. In der folgenden Tabelle ist der Wirkungsgrad diverser Bewässerungssysteme noch einmal übersichtlich zusammengefasst.

Tabelle 4: Wirkungsgrad verschiedener Bewässerungsverfahren

Verfahren	Pflanzen- verfügbar	Evaporation+ Interzeption	Drift	Versickerung	Run-off
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Beregnung					
Rohrberegnung	60-80	10-20	5-10	10-30	0-5
Kreisberegnung	60-85	10-20	5-10	10-30	0-5
Schlauchtrommelregner	55-70	10-20	5-10	20-35	0-10
Präzisionssystem	80-95	0-10	0-10	2-10	0
Mikrobewässerung					
Tropfbewässerung	80-98	0-2	-	2-15	0
Sprühbewässerung	80-90	5-10	0-5	2-15	0

(Quelle: W.Spreer)

5.2.2 Potenzial zur Optimierung des Bewässerungsmanagements

Die Notwendigkeit eines auf objektiven Kriterien beruhenden Managements von Bewässerungsmaßnahmen ist bereits in Kapitel 3.2 betrachtet worden. Zudem wurden die gegenwärtig häufig in der Praxis vorkommenden Methoden zur Steuerung der Bewässerung in Teil 3.2.4 behandelt und darauf verwiesen, dass betriebliche Erfahrung immer noch das vorwiegende Entscheidungskriterium ist. Auch im vorliegenden Fall der drei Beispielbetriebe wird die Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit einer Kultur und das damit verbundene Management hinsichtlich Gabenhöhe und gewähltem Einsatzzeitpunkt ausschließlich auf Basis der sogenannten betrieblichen Erfahrung vorgenommen. Darunter ist nach Aussage der Betriebsleitungen insbesondere die visuelle Beurteilung des Pflanzenzustandes und der Feuchtigkeit im Boden zu verstehen. Die regionale Situation der Bewässerungssteuerung über die Projektbetriebe hinaus wird in *Abbildung 41* deutlich. Laut Erhebungsergebnissen von Wilmer-Jahn et al. (2021) setzt der überwiegende Umfang von 93 % der befragten Bewässerungsbetriebe ausschließlich auf betriebliche Erfahrung zur Steuerung der Feldbewässerung.

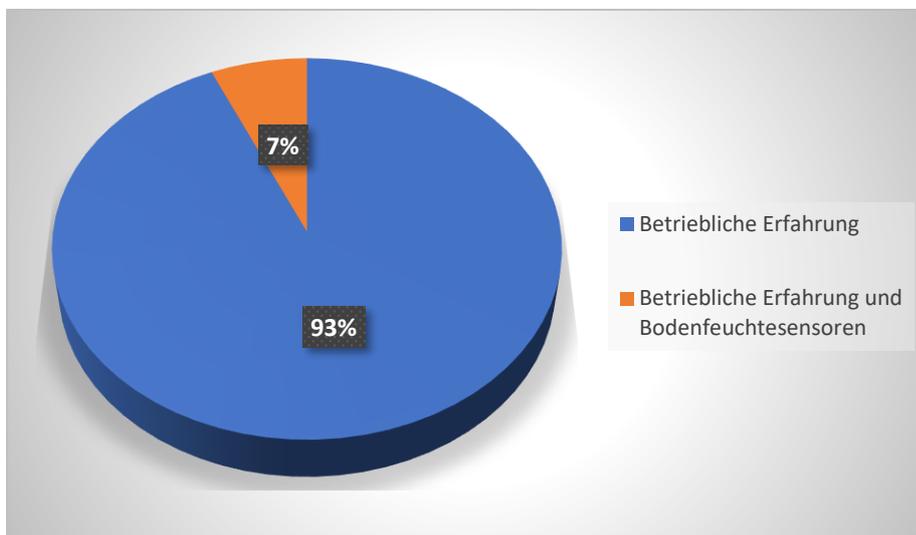


Abbildung 41: Nennungen zur Grundlage der Bewässerungssteuerung bei den erfassten Bewässerungsbetrieben, Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage der LWK NRW (2021)

Lediglich bei 7 % der betrachteten Betriebe erfolgt das Management auf Basis einer Kombination aus betrieblicher Erfahrung und der Verwendung von Bodenfeuchtesensoren. Die Nutzung eines Softwaretools wurde im Rahmen der Datenerhebung von keinem Betrieb angegeben. Damit wird die überwiegende Praxis der Steuerung des Zusatzwassereinsatzes nach betrieblicher Erfahrung ohne Berücksichtigung objektiver Kriterien auch über die drei Projektbewässerungsbetriebe hinaus bestätigt.

Laut Paschold et al. (2010) kann durch eine objektive Steuerung des Zusatzwassereinsatzes in der Praxis einerseits eine Verringerung der benötigten Wassermenge resultieren, andererseits im Einzelfall jedoch auch gesteigerter Bewässerungsaufwand auftreten. Die Effizienz des eingesetzten Zusatzwassers steigt jedoch an, sodass neben einem höheren Ertragsniveau auch die Verringerung der Ertragsschwankungen zwischen einzelnen Jahren

sowie die Steigerung der Qualität von Ernteerzeugnissen erreicht werden können. Damit ist mit dieser Option ein Optimierungspotenzial für die lokale Bewässerungslandwirtschaft verbunden.

Eine konkrete Möglichkeit zur Optimierung des Bewässerungsmanagements liegt etwa in der Nutzung von Softwaretools zur objektiven Bewertung der vorliegenden Bodenfeuchtigkeit. Dazu steht den Betrieben eine Vielzahl sowohl kostenfreier als auch kostenpflichtiger Tools zur Verfügung, wie in Kapitel 4.3.2 am Beispiel des Softwaretools „agrowetter-Berechnung“ des Deutschen Wetterdienstes erläutert. In der Praxis spielen in anderen Regionen zudem zielgerichtete Berechnungsempfehlungen von Fachverbänden eine wichtige Rolle für die Managementpraxis der regionalen Bewässerungslandwirtschaft. So beinhalten die Berechnungsempfehlungen des Fachverbandes Feldberechnung e.V. in Nordostniedersachsen auf Basis von Informationen zur klimatischen Wasserbilanz verschiedene Angaben zu Wasserbedarfsvorhersagen und der Bodenfeuchte in der Region, auf deren Basis der Landwirt die Zusatzwasserapplikation einschätzen kann (Meinardi et al., 2021).

Weiterhin beinhaltet die Installation und Nutzung eines regionalen Netzes von Bodenfeuchtemessstationen für den Zusatzwassereinsatz in der Landwirtschaft laut Sornay (2022) ein tendenzielles Einsparpotenzial von Wasser. In einer aktuellen Praxiserhebung im Schweizer Kanton Waadt liegen Zwischenresultate vor, nach denen laut Autor bis zu 40 % der Bewässerungsmaßnahmen bereits vor einem kritischen Zustand der Pflanze erfolgten, der einen Zusatzwassereinsatz nach Bodenfeuchtemessung erforderlich macht. Die Klärung der entsprechend vorliegenden Praxissituation im Projektgebiet KlimaBeHageN kann letztlich nur durch eine eigenständige Erhebung erfolgen, wobei die überwiegend auf betrieblicher Erfahrung beruhende Steuerung der Bewässerung tendenziell ein ähnliches Optimierungspotenzial erwarten lässt. Ein regional denkbarer Ansatz zur Installation und zum Betrieb eines solchen Messsensornetzes zur objektiven Messung der Bodenfeuchte wird in Kapitel 6 thematisiert.

Laut LANAT (2016) liegt der Idealzeitraum zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen aufgrund hoher Luftfeuchtigkeit, geringem Windeinfluss und der geringsten Temperaturdifferenzen am Morgen, wohingegen ein Zusatzwassereinsatz im Zeitraum zwischen 12 Uhr und 20 Uhr das größte Potenzial für Wasserverluste mit sich bringt. Entsprechend ist für eine ressourcenschonende Bewässerung auf Maßnahmen in diesem Zeitfenster zu verzichten. Laut Betriebsangaben der Erhebung von Wilmer-Jahn et al. (2021), die in *Abbildung 42* dargestellt sind, setzen 52 % der erfassten Betriebe diese Empfehlung bereits jetzt in der Praxis um. Lediglich 10 % der Betriebe führen Bewässerungsmaßnahmen über den ganzen Tag hinweg durch. Anzumerken ist, dass 38 % zum Zeitraum der Bewässerung keinerlei Angaben gemacht haben. Aus diesem Grunde kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht geklärt werden, ob im Management der Einsatzzeiten eventuell Einsparpotenzial für die Ressource Wasser liegt.

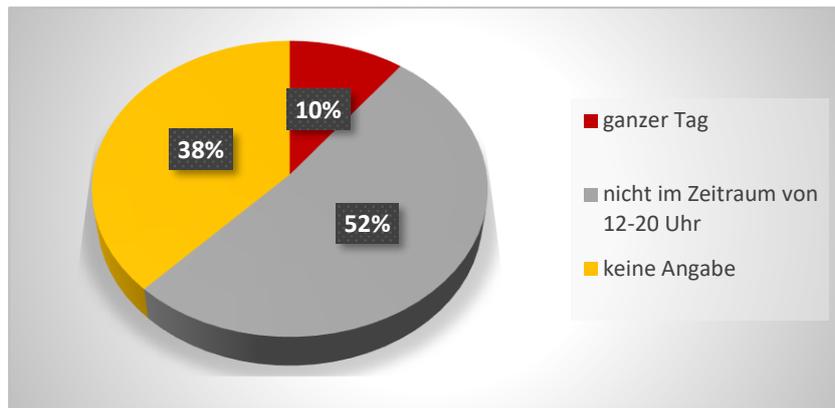


Abbildung 42: Nennungen zu den Tageszeiträumen der Bewässerung bei den erfassten Bewässerungsbetrieben, Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage der LWK NRW (2021)

Gegebenenfalls kann dieses Potenzial in der Praxis durch konkrete Aufklärungsarbeit bei den landwirtschaftlichen Betrieben sowie die Begrenzung von Bewässerungsmaßnahmen auf die verlustärmeren Tageszeiten gefördert werden. Dahingehende behördliche Beschränkungen der Applikationszeiten von Zusatzwasser durch die jeweilige untere Wasserbehörde finden laut Fricke (2022b) aktuell bereits in anderen Regionen Anwendung.

5.2.3 Ressourcenschutz durch Kulturspektrum und Bodenbearbeitung

Neben dem Optimierungspotenzial zum Schutz der Ressource Wasser in den Bereichen Bewässerungstechnik und Management besteht die Möglichkeit, durch Maßnahmen und Anpassungen im Bereich der angebauten Kulturen Einfluss auf die benötigte Wassermenge und die Nutzungseffizienz zu nehmen. Laut Wehse et al. (2017) liegen etwa Chancen in der Nutzung von Multiple Cropping-Systemen, dem Kombinationsanbau verschiedener Kulturen zur Verringerung der Evapotranspiration. Zudem lässt sich durch den Anbau von Kulturen wie Hirse, die eine guten Anpassung an steigende Jahrestemperaturen zeigen, eine Steigerung der Wassernutzungseffizienz erreichen. Auch die Berücksichtigung der Trockenstresstoleranz angebauter Arten und Sorten sowie die Anpassung an den jeweiligen Standort sind von erheblicher Bedeutung (Albert, 2011).

Die flächenbezogen große Relevanz des Feldfutter- und Energiepflanzenbaus in der Projektregion, insbesondere durch die Erzeugung von Silomais mit dem entsprechenden Zusatzwassereinsatz, beinhaltet ein Einsparpotenzial der Ressource Wasser durch Anpassung der Feldfutterbaukulturen. Nach Jäkel et al. (2018) liegt beispielsweise beim Anbau von Sorghum bicolor im Vergleich zu Energiemais eine verbesserte Wassernutzungseffizienz bei gleichzeitig höheren Erträgen vor. Die Autoren verweisen allerdings darauf, dass dieser Vorzug an ein gutes Wasserangebot geknüpft ist. Die Kultur verfügt zudem über ein größeres Vermögen zur Aufnahme von Bodenwasser.

Als weitere Maßnahme zum Schutz der Feuchtigkeit im Boden und der Reduzierung von Verdunstung auf Ackerflächen hat sich der Einsatz von Gehölzelementen, die für geringere Windgeschwindigkeiten sorgen, herausgestellt. Die Wasserversorgung der Kulturen wird durch den Kombinationsanbau vielfach verbessert. Diese als Agroforstsysteme bezeichneten Kombinationen von Gehölzen und Acker- oder Grünlandflächen bieten darüber hinaus die

Chance zur Reduzierung der Bodenerosion und leisten durch ihr Speicherpotenzial für Kohlenstoffdioxid einen Beitrag zu Treibhausgasreduzierung und Klimaschutz (Böhm, 2021).

Weiterhin wird von Gömann et al. (2017) auf die Bedeutung von Maßnahmen verwiesen, welche der Erhöhung der Wasserspeicherfähigkeit und dem Konservieren der Feuchtigkeit im Boden dienen. So lassen sich etwa der Humusgehalt sowie die Wasserhaltefähigkeit im Boden durch ackerbauliche Maßnahmen erhöhen. Bei der Anbauplanung wird dazu beispielsweise der Wechsel von humuszehrenden und humusmehrenden Kulturen beachtet. Weiterhin bietet etwa die Diversifizierung hin zu einer vielfältigeren Fruchtfolge neben einer breiteren Risikoverteilung auch Vorteile im Hinblick auf die Anfälligkeit der angebauten Kulturen für Schädlinge und Pflanzenkrankheiten. Die Wasserspeicherung im Boden wird grundsätzlich durch eine Vielzahl verschiedener Einflussfaktoren bestimmt. Förderlich sind zusätzlich zu den genannten Aspekten etwa die Vermeidung von verdichteten Bereichen im Boden und eine erhöhte Filtration durch Stroh- und Mulchauflagen. Diese Form der Bodenbedeckung über den gesamten Jahreszeitraum hinweg minimiert darüber hinaus auch die Gefahr für Stoffausträge ins Grundwasser, die insbesondere in Verbindung mit punktuell steigenden Niederschlägen auftreten. Eine Reduzierung der Bodenbearbeitungsintensität wirkt der Austrocknung von Böden in niederschlagsarmen Sommerperioden entgegen. Der Einsatz von Mulchsaatverfahren dient ebenfalls dem Schutz der Ressource Wasser und bietet zusätzlich Vorteile im Hinblick auf Erosionsereignisse (Albert, 2011; LANUV, 2022).

Durch die Erhebungsdaten der LWK wird deutlich, dass die wendende Bodenbearbeitung in Form der ausschließlichen Verwendung des Pfluges mit 35 % der Bewässerungsbetriebe in der Region einen recht großen Stellenwert hat. Auch der Bereich des kombinierten Einsatzes von Pflug und Grubber stellt mit 45 % der Nennungen einen großen Anteil dar. Lediglich im Fall von 17 % der befragten Betriebe wird komplett auf einen Pflugeinsatz verzichtet. Durch Aufklärungs- und Beratungsarbeit hinsichtlich wassersparender Bearbeitungsverfahren des Bodens liegt in der Projektregion ein Potenzial zu besserem Ressourcenschutz vor.

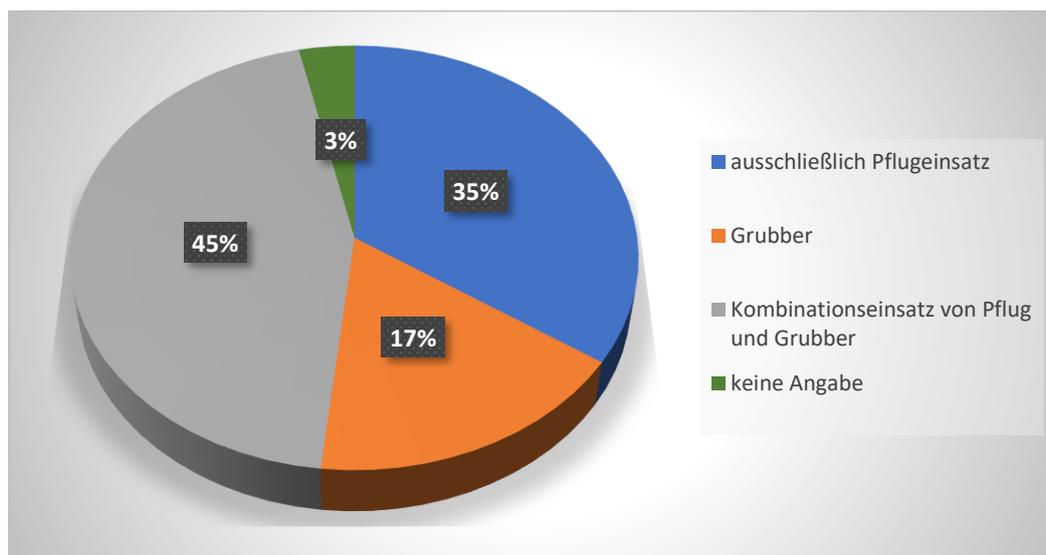


Abbildung 43: Nennungen zu verwendeten Bodenbearbeitungsgeräten bei den erfassten Bewässerungsbetrieben, Quelle: Eigene Abbildung nach Datengrundlage der LWK (2021)

5.3 Potenzielle sozialökologische Auswirkungen einer Wasserverknappung

Als Sozialökologie wird laut Umweltbundesamt (2022) die Beziehung vom Menschen zu seiner natürlichen sowie gesellschaftlichen Umwelt verstanden. Klimatische Veränderungen wirken sich beispielsweise in Form regional eingeschränkter Wasserverfügbarkeit in Sommerperioden auf die unterschiedlichen Bereiche der Umwelt, der Land-, Forst- und Wasserwirtschaft sowie die Bevölkerung aus (LANUV, 2021). Im folgenden Kapitel werden exemplarisch sozialökologische Auswirkungen der klimatisch bedingten Veränderungen mit Fokus auf die Ressource Wasser für die unterschiedlichen beteiligten Akteure betrachtet.

5.3.1 Problemstellungen durch klimatische Veränderungen

Auf Grundlage der in Kapitel 4.4 behandelten Klimaszenarien ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen für die einzelnen Wassernutzer, die für die Landwirtschaft in Kapitel 5.1.2 thematisiert wurden. Konkret wirken sich die abgebildeten klimatischen Veränderungen der Szenarien in unterschiedlichen Abstufungen beispielsweise durch die jahreszeitliche Umverteilung von Niederschlägen und mögliche Zunahme von Überschwemmungen und Hochwasserereignissen aus. Für die Bevölkerung bedeuten diese Folgeerscheinungen von Starkregenereignissen neben direkter physischer Bedrohung eine mögliche negative Beeinflussung der Hygiene im Rohwasser, welches zur Trinkwasserversorgung Verwendung findet. Weiterhin ergeben sich durch eine Reduzierung der Niederschlagsmengen in den Sommermonaten mit steigenden Jahresmitteltemperaturen vermehrt Niedrigwasserstände. Mögliche Folgeerscheinungen treten in Form eines Temperaturanstiegs im Wasser sowie folglich sinkender Sauerstoffgehalte auf. In diesem Zusammenhang steigt auch das Risiko für höhere Konzentrationen von Nährstoffen im Niedrigwasser. Als Gegenmaßnahme dient die Verringerung der Stoffeinträge in Form von Nähr- und Schadstoffen, die von Seiten der Landwirtschaft durch eine Vielzahl an Maßnahmen gewährleistet werden kann. Dazu zählen etwa eine dem Pflanzenbedarf angepasste Düngung, der Anbau von Zwischenfrüchten sowie eine reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung und angepasste Bewässerungsstrategien. Aus Trockenheit und ansteigenden Temperaturen resultieren zudem Probleme im Bereich der Abwasserableitung. Dazu zählen beispielsweise eine vermehrte Geruchsbelastung aus den betreffenden Systembereichen sowie ein Anstieg des Korrosionsrisikos. Insgesamt besteht durch die Veränderung der klimatischen Bedingungen eine Nutzungskonkurrenz um die Ressource Wasser sowie grundsätzlich die Gefahr einer verringerten Neubildung von Grundwasser und damit sinkender Grundwasserstände (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, 1999; LANUV, 2022b; IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung (Mülheim an der Ruhr) et al., 2019).

5.3.2 Einfluss klimatischer Veränderungen auf Umwelt und Naturschutz

Im Hinblick auf den Naturschutz, etwa auf die verschiedenen Ökosystemfunktionen ergeben sich durch die Veränderung von Temperaturen und Niederschlägen in Folge sich wandelnder klimatischer Bedingungen deutliche Auswirkungen. Diese kommen besonders durch einen regional und saisonal schwankenden Wasserhaushalt zustande (Schliep et al., 2021). In der Projektregion stellt beispielsweise das Naturschutzgebiet Witte Berge und Deutener Moor mit einer Gesamtfläche von etwa 87,3 ha als Moor- und Erlenbruch Waldgelände einen

schutzwürdigen Raum dar (Bezirksregierung Münster, 2021). Gemäß Meßer et al. (2019) liegt im Projektgebiet eine Konkurrenzsituation um die regionale Grundwassernutzung vor. In diesem Zusammenhang verweisen die Autoren neben dem Ressourcenbedarf für Trinkwasserversorgung und Bewässerungslandwirtschaft ausdrücklich auf den Wasserbedarf zur Versorgung von Feuchtlebensräumen und Gewässern.

Während einzelne Arten auf trockenen Habitaten wie Magerrasen teilweise positive Effekte durch klimatische Veränderungen erleben, stellt sich die Situation für Feuchtlebensräume anders dar. Diese Bereiche, die laut Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2010) im gesamten Landesgebiet etwa durch Uferräume, Moorflächen oder feuchte Heideareale geprägt sind, werden in besonderer Weise negativ von klimatischen Veränderungen beeinflusst. Aus diesem Grunde stellen Beeinträchtigungen der Lebensräume für Amphibien wie Frösche, Kröten, Molche und Salamander eine Gefährdung dar. Spezieller Handlungsbedarf zum Schutz und Erhalt ist neben Nass- und Feuchtgrünland insbesondere im Fall von Moor- und Erlenbruchflächen gegeben, zu denen auch das Naturschutzgebiet Witte Berge und Deutener Moor zählt. Diese Maßnahmen zielen auf eine Verbesserung des Lebensraums für entsprechende vorkommende Arten ab und verfolgen etwa den Zustand eines möglichst naturnahen Wasserhaushaltes. Dieser wird vor Ort beispielsweise durch Wiedervernässung und teilweise Überflutung von Arealen mittels Dammanlagen verfolgt, wie sie in *Abbildung 44* dargestellt sind.



Abbildung 44: Temporärer Damm im Deutener Moor, Bildquelle: Deutsche Bundesstiftung Umwelt

5.3.3 Ressourcenschonender Umgang mit Wasser

Neben den bereits thematisierten Maßnahmen, die den schonenden Umgang mit der Ressource Wasser durch die Landwirtschaft betreffen, bestehen auch für andere Wassernutzer Möglichkeiten zur Verringerung der benötigten Ressourcenmenge. Für den Bereich der Privatanutzer kann laut Umweltbundesamt (2022b) neben der Verwendung von Regenwasser zur Bewässerung im häuslichen Garten etwa die Nutzung im Haushalt einen ökologischen Vorteil im Vergleich zur Nutzung von Trinkwasser darstellen. Konkret bietet sich etwa der Einsatz zur Toilettenspülung an. Zudem ist unter bestimmten hygienischen Bedingungen auch ein Einsatz zum Wäschewaschen möglich, der allerdings Schadstofffreiheit im Regenwasser voraussetzt.

Die kommunale Versickerung von Niederschlägen vor Ort dient insbesondere in städtischen Gebieten der Reduktion des Oberflächenabflusses und trägt zur Grundwasserneubildung bei. Ein Baustein dafür ist der Einsatz von sogenannten Baum-Rigolen, welche neben der höheren Versickerung auch für eine gesteigerte Verdunstung sorgen. Dadurch ergeben sich in stark versiegelten Umgebungen positive Effekte der Verdunstungskühlung (Sieker et al., 2019). Grundsätzlich ist eine Versickerung von Regenwasser auch im privaten Umfeld anzuraten. Dies setzt allerdings eine größtmögliche Schadstofffreiheit des Sickerwassers voraus. Als Maßnahme zur Förderung der örtlichen Versickerung bietet auch die Entsiegelung von Flächen ein Potenzial zum schonenden Umgang mit der Ressource Wasser (Umweltbundesamt, 2022b).

In der Diskussion um die Einsparung von Trinkwasser durch private Nutzer werden regional teilweise zudem Einschränkungen in Bezug auf den Verwendungszweck ins Gespräch gebracht. So können etwa das Befüllen privater Pools oder Planschbecken sowie die Bewässerung von Rasenflächen oder Blumenrabatten und die Autowäsche mit Trinkwasser lokal untersagt werden. Dabei wird die Reglementierung zur Ressourcenschonung insbesondere in extremen Trockenperioden angewendet, die für ein Absinken des Grundwasserspiegels sorgen können. Der Handlungsbedarf einzelner Kommunen hängt insbesondere von der Frage nach der Art der Trinkwasserbereitstellung ab (SWR, 2022).

Laut Umweltbundesamt (2022c) spielt zudem neben dem direkten Verbrauch von Wasser auch der indirekte Wasserverbrauch eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Gesamtmenge benötigten Wassers. Die Summe dieser beiden Teilbereiche stellt den Wasserfußabdruck dar. Gegenüber den oben angesprochenen Maßnahmen zur Reduzierung des Wasserverbrauchs zielt die Bewertung durch den Wasserfußabdruck darauf ab, die übermäßige Ressourcennutzung in einzelnen regionalen Bereichen abzubilden. Dadurch wird auf die regional ungleiche Verteilung, insbesondere in schwächer versorgten Regionen und Produktionsländern hingewiesen.

In der Region Ruhr spielt der Einfluss von Gewerbebetrieben auf die Ressource Wasser zudem eine wichtige Rolle. Nach Angaben von Business Metropole Ruhr GmbH (2019) sind viele kleine und mittelständische Unternehmen in der Region angesiedelt, die im Zuge der Produktion und des täglichen Bedarfes auf die Ressource Wasser zurückgreifen. Auch diese Wassernutzer stellen eine Einflussgröße für den regionalen Gesamtwasserbedarf dar. Durch große Dachflächen von Industriebetrieben besteht die Möglichkeit zum Auffangen

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

erheblicher Regenwassermengen. Diese können entweder in Produktionsprozessen verwertet oder durch entsprechende bauliche Anlagen auf unversiegelten Teilflächen versickert werden. Dadurch wird neben der Entlastung des Kanalisationssystems auch die Auffüllung der Grundwasservorräte erreicht. Auch die Reduktion der Gesamtwassermenge bei industriellen Prozessen spielt eine wichtige Rolle. In diesem Zusammenhang können etwa geschlossene Wasserkreisläufe und der Mehrfacheinsatz der Ressource als Ansatzpunkte zur gezielten Einsparung dienen (Scheele und Malz, 2011).

6 Diskussion

Im Folgenden werden sowohl die aktuelle Praxis der Bewässerungslandwirtschaft anhand der drei Beispielbetriebe, als auch grundsätzlich mögliche Auswirkungen durch klimatische Veränderungen diskutiert. Darüber hinaus werden Einsparpotenziale und Maßnahmen zur Reduktion von Zusatzwasser in der Bewässerungslandwirtschaft vor Ort kritisch betrachtet.

Hinsichtlich der in Kapitel 5.1.3 genannten Bedarfsmengen zu gegenwärtiger und projizierter Bewässerung im Projektgebiet ist insgesamt auf Grund der Projektionsdaten nicht davon auszugehen, dass der Bewässerungsbedarf sprunghaft ansteigen wird. Allerdings wird bei Betrachtung der Jahre 2018 bis 2020 deutlich, dass die Projektionsmodelle die Intensivierung der Auswirkungen des Klimawandels offensichtlich unterschätzen. Es besteht durchaus Grund zur Sorge, dass die derzeitigen Maxima in Zukunft das Mittel sein könnten.

Weiterhin stellt sich die Frage nach der ökonomischen Sinnhaftigkeit mancher Maßnahmen. Unsere vorliegenden Berechnungen gehen von einer optimalen Bewässerung aller Kulturen aus, was angesichts der absehbaren Entwicklung nicht nur im Fall von Ackergras und Dauergrünland kritisch betrachtet werden sollte. Beispielsweise kann auch die Bewässerung von Silomais bei weiterer Ausdehnung problematisch werden. Bisher sind es vor Ort nur 370 von 2.800 ha, im Projektgebiet trotzdem flächenmäßig die größte bewässerte Kultur.

Zur Einschätzung der Bewässerungswürdigkeit von Kulturen besteht die Notwendigkeit einer ökonomischen Modellierung, wobei u.a. folgende Aspekte berücksichtigt werden sollten:

- Eine Optimierung bereits bestehender Bewässerungskapazitäten hinsichtlich ihrer Ressourceneffizienz
- Die Abwägung, bei welchen Kulturen Bewässerung zwingend notwendig ist, um überhaupt Erträge zu erwirtschaften und bei welchen sie eher der Qualitätssicherung oder der vollen Ertragsausschöpfung dient
- Einerseits: Verstärkte Trockenheit kann Bewässerung ökonomisch attraktiver machen
- Andererseits: Die finanzstärksten Betriebe investieren als erstes in Bewässerung ökonomisch wichtiger Kulturen, während anderen die Mittel dafür fehlen
- Bewässerung von Kartoffeln und Gemüse wird auf Grund der geringen Flächenanteile insgesamt vermutlich unproblematisch bleiben

In der Bewässerungslandwirtschaft vor Ort wird zum überwiegenden Teil auf den Einsatz von mobilen Beregnungsmaschinen mit Einzelregnern zur Wasserversorgung der angebauten Kulturen zurückgegriffen. Das ist auf den relativ geringen Arbeitsaufwand sowie die vergleichsweise niedrigen Verfahrenskosten und die hohe Schlagkraft dieser Technik zurückzuführen. Auch die drei näher betrachteten Betriebe im Projektgebiet nutzen vorwiegend diese Technik, ergänzt um Tropfberegnung, die in begrenztem Umfang beim Anbau von Kulturen im Folientunnel zum Einsatz kommt. Engel et al. (2017) betonen die Bedeutung von wassersparender Technik insbesondere im Hinblick auf zukünftige Herausforderungen in der Folge klimatischer Veränderungen. Durch eine Optimierung der aktuell eingesetzten Technik zur Zusatzwasserapplikation lässt sich eine erhebliche Reduzierung der benötigten Bewässerungsmengen erreichen.

Die betreffenden Betriebe sind sich der unpräzisen Wasserverteilung, beispielsweise bedingt durch Windeinfluss und des großen Energiebedarfs der Technik durchaus bewusst. Es besteht grundsätzliche Bereitschaft zu Ersatzinvestitionen in aktuellere und verlustärmere Systeme der Zusatzwasserapplikation, etwa den Austausch vorhandener Einzelregner gegen Düsenwagensysteme. Dafür wären allerdings ökonomische Voraussetzungen zu erfüllen, beispielsweise höhere Preise für die erzeugten Agrarprodukte

Neben dem Einsparpotenzial von Zusatzwasser durch technische Maßnahmen liegen insbesondere im Management Chancen zur Ressourcenschonung und optimierten Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen. Management und Steuerung des Zusatzwassereinsatzes erfolgen bei den Beispielbetrieben, wie auch bei 93 % der durch die LWK befragten Bewässerungsbetrieben auf Grundlage betrieblicher Erfahrung. Sornay (2022) verweist am Beispiel aktueller Praxisforschung in der Schweiz auf ein immenses Einsparpotenzial in der Bewässerungslandwirtschaft durch die Feststellung der Bewässerungsbedürftigkeit anhand objektiver Ergebnisse von Bodenfeuchtesensoren.

Im Projektverlauf und beim Austausch zwischen den verschiedenen am Projekt beteiligten Partnern wird die Möglichkeit der Installation eines zentralen Sensornetzes, dessen Betrieb etwa durch eine übergeordnete Institution auf Dienstleistungsebene denkbar wäre, diskutiert. Ein solches Sensornetz könnte etwa in einen möglicherweise zu gründenden Beregnungsverband eingebunden sein und würde dem einzelnen Bewässerungsbetrieb als Verbandsmitglied die Möglichkeit der Steuerung seines Zusatzwassereinsatzes auf einer objektiven Grundlage ermöglichen. Durch ein gemeinsam genutztes Sensornetz würden darüber hinaus die Investitionskosten in eigene Systeme zur Messung der Bodenfeuchte für den einzelnen Nutzer entfallen.

Der Einsatz von Sensorsystemen und effizienten Steuerungssystemen wird in Deutschland bereits auf regionaler Ebene teilweise finanziell unterstützt, hauptsächlich mit der Absicht, Ressourcenschonung durch Investitionen in der Bewässerungslandwirtschaft zu steigern und die Geschwindigkeit der Umstellung zu effizienteren und sparsameren Technologien zusätzlich zu erhöhen (Koch, 2021).

Zur objektiven Bestimmung des Bewässerungsbedarfes von Nutzpflanzen werden, über die aktuell verfügbaren Technologien hinaus, bereits weitere Ansätze erforscht und in der Praxis erprobt. Einer davon ist der in Kapitel 3.2.4 behandelte Crop Water Stress Index (CWSI), der Aussagen über den aktuellen Zusatzwasserbedarf durch Temperaturmessungen im Bestand ermöglicht. Durch derartige neue Modelle und Technologien wird die Bandbreite der zu Verfügung stehenden Systeme für ein Bewässerungsmanagement auf Grundlage objektiver Messungen erweitert (Anter et al., 2018).

Bei der Aufarbeitung der erfragten und übermittelten Betriebsdaten wurde insgesamt deutlich, dass Aussagen zu eingesetzten Zusatzwassermengen bei einzelnen angebauten Kulturen aufgrund der unvollständigen Dokumentation auf keinem Betrieb möglich sind. Die Betriebe waren grundsätzlich zur Auskunft und Mitwirkung am Projekt sowie der Datenübermittlung bereit. Sie verfügen allerdings nicht über Verbrauchszähler, welche für eine tagesgenaue Dokumentation der Zusatzwassermengen einzelner Kulturen notwendig sind. In Rücksprache mit der LWK wurde deutlich, dass dies keine Ausnahme darstellt,

sondern dem Regelfall entspricht. Die Dokumentation der Zusatzwassermengen erfolgt bislang lediglich anhand überschlägiger Durchflussmengenannahmen in Verbindung mit Betriebsstundenzählern an den Pumpen der jeweiligen Wasserentnahmestellen. Hier liegt ein erhebliches Potenzial zur Einsparung von Ressourcen sowie zur Verbesserung der Dokumentation von Entnahmemengen.

Auf Grundlage der vorliegenden Daten war eine exakte Einordnung des in der Vergangenheit erfolgten Zusatzwassereinsatzes mittels des Softwaretools „agrowetter-Beregnung“ des DWD lediglich für den Anbau von Feldspinat bei einem der drei Projektbetriebe durchführbar. Eine verallgemeinernde Bewertung des erfolgten Zusatzwassereinsatzes lässt sich auf dieser Grundlage nicht vornehmen. Um eine grundlegende und fundierte Einordnung und Bewertung der Bewässerungsmaßnahmen der Landwirtschaft vor Ort vornehmen zu können, ist eine präzise Messung der eingesetzten Bewässerungsmengen und die Dokumentation des genauen Zeitpunktes notwendig. Weiterhin sind Angaben zur Ausgangsbodenfeuchte, der angebauten Feldkultur und der gewählten Applikationstechnik notwendig für eine aussagekräftige Einordnung.

Anhand der Datenauswertung der Feldbewässerung beim Spinatanbau in den Jahren 2017 bis 2021 wird deutlich, dass die Beurteilung des Pflanzenzustandes und das Management der Bewässerung auf Erfahrungsbasis häufig zu Fehlentscheidungen führt, besonders hinsichtlich des unterschiedlichen Bedarfes in verschiedenen Entwicklungsphasen. In frühen Entwicklungsstadien der Kultur bis BBCH 16, die eine höhere Wasserversorgung erfordern, waren rund 57 % der Wassergaben rechnerisch notwendig. In den späteren Entwicklungsstadien ab BBCH 16 hingegen, in denen die Pflanze eine größere Trockenstresstoleranz aufweist, sinkt die Zahl der rechnerisch notwendigen Zusatzwasserapplikationen auf etwa 23 %. Rund 13 % der Zusatzwassergaben im frühen und 12 % der Beregnungsmaßnahmen im späten Entwicklungsstadium erfolgten sogar oberhalb eines Vortagsbodenfeuchteniveaus von 100 % nutzbarer Feldkapazität (nFK). In diesem Wasserversorgungszustand des Bodens ist keine Aufnahmefähigkeit mehr gegeben. Wie bereits in Kapitel 5.1.1 erwähnt, erhöht sich durch eine weitere Bewässerung des Bestandes die Gefahr von Versickerung und einer Nährstoffverlagerung in tiefere Bodenschichten und das Grundwasser. Daher sind Bewässerungsmaßnahmen in dieser Situation kontraproduktiv und explizit zu unterlassen (Fitzthum et al., 2019).

Ein maßgeblicher Anteil der Zusatzwasserapplikationen im Umfang von 30 % im frühen, beziehungsweise 65 % im späteren Entwicklungsstadium erfolgte zu einem Zeitpunkt, an dem die Pflanzen rechnerisch keinen Wasserbedarf hatten. Damit sind diese überflüssigen Gaben bedingt von der Versickerungsgefahr in tiefere Bodenschichten betroffen,

Die Versorgung des Spinates mit Zusatzwasser erfolgte über alle betrachteten Jahre sowie die gesamte Entwicklungsperiode der Pflanze hinweg im Umfang von etwa 20 mm. Aus den Dokumentationen geht der jeweilige Umfang einzelner Bewässerungsmaßnahmen beim Anbau anderer Kulturen nicht hervor. Hier wurden über die betrachteten Jahre hinweg lediglich die bereits in Kapitel 5.1.1 behandelten Jahreswassermengen dokumentiert.

Die Ergebnisse von Wilmer-Jahn et al. (2021) zu den Tageszeiten der Wassergaben legen nahe, dass in der Region bei der Mehrheit der Bewässerungsbetriebe durchaus ein

Bewusstsein für die Bedeutung des Applikationszeitpunktes zur Reduzierung von Verdunstungsverlusten besteht. Regional werden in diesem Kontext bereits Verbote zur Überkopfbewässerung bei bestimmten Bedingungen ausgesprochen, etwa im Hinblick auf Temperatur und Wind (Fricke, 2022b). Diese Möglichkeit zur Regulierung der Bewässerungspraxis bringt arbeitswirtschaftliche Herausforderungen für die Betriebe mit sich, kann zur Einsparung von Ressourcen allerdings ein zusätzliches Potenzial darstellen.

Im Hinblick auf die gegenwärtigen Bodenbearbeitungsstrategien bezüglich Intensität und Gerätewahl liegt der Fokus in der Region aktuell auf dem ausschließlichen beziehungsweise kombinierten Pflugeinsatz. Durch einzelbetriebliche Beratung hinsichtlich einer Minimierung der Bodenbearbeitungsintensität lässt sich der Bewässerungsbedarf ebenfalls verringern.

Aussagen zu genauen Mengen einer möglichen Einsparung von Zusatzwasser durch bestimmte Anpassungsmaßnahmen der Betriebe sind aufgrund der vorliegenden Daten nicht möglich. Es lassen sich lediglich Ansätze zur weiterführenden Betrachtung entsprechender Potenziale aufzeigen, die durch detaillierte Prüfung einer aussagekräftigen Datengrundlage bestätigt oder gegebenenfalls verworfen werden müssen. Insgesamt besteht die Forderung an die Landwirtschaft, auch und besonders in Zukunft vor dem Hintergrund klimatischer Herausforderungen weiterhin sorgsam mit der Ressource Wasser umzugehen. Die Vereinbarkeit der Interessen aller Wassernutzer und der Ressourcenschutz sollten zusammenhängend betrachtet werden. In diesem Kontext sorgt die Erarbeitung und kontinuierliche Überprüfung von Wasserhierarchien für Trockenzeiten von verantwortlicher Stelle sowie eine transparente Kommunikation selbiger für eine gewisse Planungssicherheit bei den Wassernutzern (Rasche et al., 2022).

Der Bewässerungslandwirtschaft in der Projektregion steht die Ressource Wasser zur Versorgung der angebauten Kulturen bislang, abgesehen von den Kosten für Technik und Energie, grundsätzlich kostenfrei zur Verfügung. Im Projektkontext werden Möglichkeiten zur Umsetzung eines dynamischen Preismodells für das verwendete Zusatzwasser durch die Hochschule Ruhr West (HRW) herausgearbeitet, wie bereits in Kapitel 2.1 erwähnt. Laut van den Akker (2013) zeigen Erfahrungen mit einer Anhebung von Wasserpreisen aus anderen Ländern, dass dadurch Anreize zum Wassersparen gesetzt werden. Die Autorin verweist in diesem Kontext allerdings auch auf institutionelle Anforderungen sowie die Notwendigkeit politischer Durchsetzungsmöglichkeiten. Je nach ökonomischer Einordnung der verschiedenen Management- und Applikationssysteme beim Zusatzwassereinsatz in Abhängigkeit vom jeweiligen Wasserpreis besteht vermutlich ein Potenzial zur Ressourceneinsparung in Verbindung mit der Einführung von Wasserpreisen.

Grundsätzlich sind die Herausforderungen durch klimatische Veränderungen in der Zukunft zum jetzigen Zeitpunkt nicht absehbar. Wie in den Kapiteln 4.4 und 5.1.2 dargestellt, bilden etwa die Projektionen RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 und deren klimatische Parameter für die Zukunft eine weite Spanne denkbarer Entwicklungen ab. Insgesamt sind jedoch steigende Jahresdurchschnittstemperaturen sowie eine Verschiebung der Niederschläge zu erwarten. Während die projizierte Entwicklung der Gesamtniederschlagsmenge über das Jahr hinweg teilweise einem recht konstanten Trend folgt, scheint eine Verschiebung von Sommer- zu Winterniederschlägen mit einem geringeren Niederschlagsniveau in der Vegetationsperiode

sehr wahrscheinlich. Steigende Sommertemperaturen sowie eine insgesamt zunehmende Sommertags- und Hitzetageszahl sorgen mit einhergehend höherer Verdunstung dafür, dass die Bewässerungsbedürftigkeit von Pflanzen insgesamt perspektivisch zunehmen wird.

Aus diesem Grunde kommen zukünftig neue Herausforderungen durch eine Zunahme der Bewässerungsdurchgänge mit personellem und maschinellem Mehraufwand auf die Betriebe zu, welche auch einen steigenden Bedarf an Beregnungswasser mit sich bringen. Zusätzlich wird sich als Anpassungsmaßnahme an die klimatischen Veränderungen die Zahl der insgesamt bewässernden Betriebe voraussichtlich ebenfalls erhöhen, wodurch sich die Gesamtsituation abermals verschärft (Fricke, 2022b).

Die Verteilungsfrage um das zur Verfügung stehende Wasser zwischen den verschiedenen Wassernutzern gewinnt damit zunehmend an Bedeutung. da neben der Landwirtschaft Privathaushalte, Gewerbebetriebe sowie der Natur- und Umweltschutz ebenfalls auf eine ausreichende Versorgung mit der Ressource Wasser angewiesen sind. Ein sparsamer Umgang aller Nutzer mit der Ressource ist geboten.

7 Fazit

Die Bewässerungslandwirtschaft in der Region Dorsten und Haltern wird ebenso wie weitere Teile des Agrarsektors und auch andere Lebensbereiche durch prognostizierte klimatische Veränderungen mit veränderten Rahmenbedingungen und neuen Herausforderungen konfrontiert. Der allgemeine Temperaturanstieg sowie die Zunahme der Hitzetage sorgen durch erhöhte Verdunstung in Kombination mit saisonal verschobenen Niederschlägen für eine periodisch angespannte Versorgungssituation mit Wasser.

Auch im aktuellen Jahr (2022) zeigen sich die Folgen geringer Niederschlagsmengen innerhalb der Vegetationsperiode trotz einer guten Ausgangsbodenfeuchte nach dem vorausgegangenen Winter. Durch die extreme Trockenheit gibt es, abhängig von der betrachteten Kultur, teils erhebliche Ertrags- und Qualitätsbeeinträchtigungen.

Diese lassen sich durch ausreichende Bewässerung vermeiden, die neben einer Anpassung anderer Bereiche an die klimatisch veränderten Rahmenbedingungen perspektivisch an Bedeutung gewinnen wird. Die zur Verfügung stehende Wassermenge für die Landwirtschaft ist allerdings nicht beliebig erweiterbar, da absinkende Grundwasserstände als Folge temporär hoher Entnahmemengen aller Wassernutzer drohen. Daher gilt es, grundsätzlich und insbesondere in Trockenperioden die Wasserentnahmemengen möglichst zu minimieren.

Die Landwirtschaft kann dazu durch verlustarme Applikationssysteme und präzise Steuerung der Bewässerungsmaßnahmen hinsichtlich Menge und Zeitpunkt beitragen. Es gibt mittlerweile unkomplizierte Online-Anwendungen und maßgeschneiderte Programme, die je nach Funktionsumfang kostenfrei oder im erschwinglichen Bereich kostenpflichtig sind. Die individuellen Anpassungsmöglichkeiten an die jeweiligen Standortfaktoren und die zu versorgende Kultur ermöglichen eine unkomplizierte Verwendung. Eine weitere mögliche Anpassung ist die Kulturwahl mit Blick auf Wasserbedarf und Trockenheitsresistenzen. Auch Bodenbearbeitungsstrategien können zu einem geringeren Wasserverbrauch beitragen.

Zur Vereinbarung der Interessen der Bevölkerung, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und des Umweltschutzes bedarf es einer ausgewogenen Verteilungsstrategie hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Verbrauchsmengen. Gemeinsame Anstrengungen aller Wassernutzer zur Einsparung der Ressource gewinnen voraussichtlich zunehmend an Bedeutung.

8 Literaturverzeichnis

Achtnich, Wolfram, 1980a: Technik des Bewässerungslandbaus, in: Bewässerungslandbau: agrotechnische Grundlagen der Bewässerungswirtschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-2124-7.

Achtnich, Wolfram, 1980b: Pflanzenproduktion im Bewässerungslandbau, in: Bewässerungslandbau: agrotechnische Grundlagen der Bewässerungswirtschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-2124-7.

ALB, 2020: Fachliche Grundlagen zur Bewässerungs-App - Teil 1 -. Kulturartbezogene Kennzahlen. Unter Mitarbeit von Martin Müller, Jana Zinkernagel, Jürgen Kleber, Ekkehard Fricke, Michael Beck und Markus Göttl. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. Online verfügbar unter <https://www.alb-bayern.de/media/files/0004/bb.bef2-kennzahlenkulturen-20200706.pdf>.

Albert, Dr. Erhard, 2011: Pflanzenbau im Wandel – Anpassung an den Klimawandel, Konferenz "Landwirtschaft 2020", online verfügbar unter: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/Pflanzenbau_im_Wandel-Anpassung_an_den_Klimawandel.pdf, abgerufen am: 19.08.2022.

Albrecht, Dr. habil. Martin, Pflieger, Dr. Ingrid, Nußbaum, Dipl.-Ing. (FH) Günter, 2004: Standpunkt zur Bewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau unter besonderer Berücksichtigung Thüringer Produktionsbedingungen, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena, online verfügbar unter: https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00030014/TLL_Standpunkt%20zur%20Bewaesserung%20in%20Landwirtschaft%20und%20Gartenbau%20unter%20besondere%20Beruecksichtigung%20Thueringer%20Produktionsbedingungen_2003.pdf, abgerufen am 05.05.2022.

Allen, Richard G., Pereira, Luis S., Raes, Dirk, Smith, Martin, 1998: Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome. ISBN 92-5-104219-5, online verfügbar unter: <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>, abgerufen am: 21.03.2022.

Amelung, Wolf, Blume, Hans-Peter, Fleige, Heiner, Horn, Rainer, Kandeler, Ellen, Kögel-Knabner, Ingrid, Kretzschmar, Ruben, Stahr, Karl, Wilke, Berndt-Michael, 2018: Physikalische Eigenschaften und Prozesse, in: Lehrbuch der Bodenkunde, 17. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-662-55871-3, online verfügbar unter: https://link-1springer-1com-1kssnxc2z017b.han.ub.uni-kassel.de/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-55871-3_6.pdf, abgerufen am: 24.03.2022.

Anlauf, Prof. Dr. Rüdiger, Giesenkamp, Heidi, Degner, Farida, Fehmer, Daniel, Friedel, Jan, Sattler, David, 2018: Weiterentwicklung eines hydraulisch und energetisch effizienten Unterflurbewässerungssystems mit vollautomatischer Regelung für die direkte Wurzeldüngung von Pflanzen und den großflächigen Einsatz in der Landwirtschaft (Abschlussbericht). Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Hochschule Osnabrück, Water Future

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

Systems GmbH, Osnabrück, online verfügbar unter: <https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-31988-01.pdf>, abgerufen am: 27.04.2022.

Anter, Jano, Belau, Till, Butz, Dr. Andreas, Fricke, Ekkehard, Fröba, Dr.- Ing. Norbert, Hageneder, Florian, Kleber, Jürgen, Kruse, Dr. Sandra, Müller, Dr. Martin, Scheyer,

Ralph, Teichert, Prof. Dr. Andreas, Thörmann, Hans-Heinrich, Weinheimer, Dr. S., 2013: Freilandbewässerung, Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen. Darmstadt. ISBN 978-3-941583-86-3.

Anter, Jano, Kraft, Martin, Langkamp-Wedde, Dr. Tina, 2018: Sensorgestützte Berechnungssteuerung – ein Blick in die angewandte Forschung, Bewässerung in der Landwirtschaft, Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg. <https://doi.org/10.3220/WP1515755414000>, online verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059620.pdf, abgerufen am 02.08.2022.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München, 1999: Merkblatt zur Verminderung der Nitratauswaschung, Druckhaus Pegnitz, online verfügbar unter: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiFuqnRu-T5AhWOuKQKHbamAasQFnoECAYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.lkr-lif.de%2Fm_293_dl&usg=AOvVaw3zmHGocbd8Yeh5K-03axMr, abgerufen am: 26.08.2022.

Beck, Dr. Michael, 2021: Mobile Berechnungsmaschine mit Großflächenregner oder Düsenwagen, Rohrberegnung, Kreisberegnung und Tropfbewässerung (Teil 1) Einsatzbereiche und Grenzen, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB) Workshop, Weißenstephan, Triesdorf, online verfügbar unter: https://www.alb-bayern.de/De/Bewaesserung/Seminare/trockenheit-hitzewellen-wasser_SemBew2021.1a.html, abgerufen am: 02.04.2022.

Bernhardt, Jacob Jeff; Rolfes, Lennart; Kreins, Peter; Henseler, Martin, 2022: Ermittlung des regionalen Bewässerungsbedarfs für die Landwirtschaft in Bayern. Braunschweig: Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut (Thünen-Report, 96).

Bezirksregierung Münster, 2021: Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Münster, online verfügbar unter: https://www.bezreg-muenster.de/zentralablage/dokumente/umwelt_und_natur/natur-und-landschaftsschutz/statistiken/RE_naturschutzgebietsstatistik.pdf, abgerufen am: 30.08.2022.

BMUV, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2022. Das Wasserhaushaltsgesetz, Wasserhaushaltsgesetz WHG und wesentliche Inhalte des WHG, Berlin, online verfügbar unter: <https://www.bmuv.de/themen/wasser-ressourcen-abfall/binnengewaesser/gewaesserschutzrecht/deutschland/das-wasserhaushaltsgesetz>, abgerufen am: 17.03.2022.

Böhm, Dr. Christian, 2021: Agroforstwirtschaft, Weniger Wind, mehr Wasser, DLG Mitteilungen, Sonderheft "Klima und Boden", Max Eyth-Verlag, Frankfurt, online verfügbar

unter: https://www.dlg-mitteilungen.de/fileadmin/img/content/Sonderhefte/Hosch1021_gesamt.pdf, abgerufen am: 20.08.2022.

Borg, H.; Grimes, D. W., 1986: Depth Development of Roots with Time: An Empirical Description. In: *Transactions of the ASAE* 29 (1), S. 194–197. DOI: 10.13031/2013.30125.

Bornwaßer, Dr. Thorsten, Sauer, Heike, Albers, Adrian, 2017: Herausforderungen einer bedarfsgerechten Bewässerung im Gartenbau. Landinfo 5, online verfügbar unter: <https://lel.landwirtschaft-bw.de/pb/Lde/Startseite/Service+Downloads/Jahresinhalte+2017#anker4962604>, abgerufen am: 05.04.2022.

Brückner, Dr. Ulrich, 1994: Einfluss der Bewässerung auf den Boden, in: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): *Bewässerung Im Gartenbau*. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup. ISBN 3-7843-1907-6.

Brüggemann, Christoph, 2022. Ergänzungen zur Bewirtschaftungspraxis, handschriftliche Ergänzungen zur Übersendung der Betriebsdaten, übermittelt per Email am 19.01.2022.

Business Metropole Ruhr GmbH, 2019: Ressourceneffiziente Gewerbegebiete, Abschlussbericht, Essen, online verfügbar unter: https://www.business.ruhr/fileadmin/user_upload/Bilder/Downloads/Abschlussbericht_Ressourceneffiziente_Gewerbegebiete_final_web_3.pdf, abgerufen am: 31.08.2022.

Calanca, Pierluigi, Smith, Pascale, Holzkämper, Annelie, Ammann, Christof, 2011: Die Referenzverdunstung und ihre Anwendung in der Agrarmeteorologie. *Agrarforschung Schweiz* 8, online verfügbar unter: <https://www.agrarforschungschweiz.ch/2011/04/die-referenzverdunstung-und-ihre-anwendung-in-der-agrarmeteorologie/#links>, abgerufen am 21.03.2022.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2022: Klima-Bewusstsein im Hammachgebiet (NRW): Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserversorgung (KlimaBeHageN), online verfügbar unter: https://www.dbu.de/projekt_35728/01_db_2848.html, abgerufen am: 08.06.2022.

de Witte, Dr. Thomas, 2022: Wirtschaftlichkeit der Feldbewässerung, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, online verfügbar unter: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/wirtschaftlichkeit-der-feldbewaesserung>, abgerufen am: 21.04.2022.

Destatis, Statistisches Bundesamt, 2022a: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Flächennutzung, Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung, online verfügbar unter: <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=abruftabelleBearbeiten&levelindex=1&levelid=1646751827979&auswahloperation=abruftabelleAuspraegungAuswaehlen&auswahlverzeichnis=ordnungsstruktur&auswahlziel=werteabruf&code=33111-0001&auswahltext=&werteabruf=Werteabruf#abreadcrumb>, abgerufen am: 08.03.2022.

Destatis, Statistisches Bundesamt, 2022b: Gemüseerhebung - Anbau und Ernte von Gemüse und Erdbeeren, online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Obst-Gemuese-Gartenbau/Publikationen/Downloads-Gemuese/gemueseerhebung-2030313217004.pdf?__blob=publicationFile, abgerufen am: 26.06.2022.

Destatis, Statistisches Bundesamt, 2021: Landwirtschaftliche Betriebe mit Bewässerungsmöglichkeit auf Freilandflächen - ohne Frostschutzberegnung - und bewässerte Fläche 2019, online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Produktionsmethoden/Tabellen/bewaesserungsmoeglichkeiten.html#fussnote-1-122514>, abgerufen am: 08.03.2022.

Deter, Alfons, 2021: FASTERHOLT Berechnungsmaschine DL 66 Pro, LANDfreund - Das Schweizer Agrarmagazin, Zollikofen, online verfügbar unter: <https://www.landfreund.ch/landtechnik/fasterholt-berechnungsmaschine-dl-66-pro-12770216.html>, abgerufen am: 05.04.2022.

Diemer, P., 2001: Existing Knowledge and Databases, in: Jamieson, P. D., Agbangla, A. D., Diemer, P., Jagtap, S. S., Lansigan, F., Strand, J. F., Strashny, V. N., Wang, S.: AGROMETEOROLOGICAL INFORMATION NEEDS IN AGRICULTURAL PRODUCTION, CAgM Report No. 85, WMO/TD No.1030, Geneva, Switzerland, online verfügbar unter: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9164, abgerufen am: 05.07.2022.

Dietrich, Dr. Ottfried, Schubert, Dipl. Geogr. Undine, Schuler, Dr. Johannes, Steindl,

Dr. Jörg, Zander, Dr. Peter, 2015: Wassermanagement in der Landwirtschaft, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 2813HS007 der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung Projektträger Agrarforschung, Müncheberg, online verfügbar unter: https://www.agrarrelevante-extremwetterlagen.de/fileadmin/extremwetterlagen/pdfs/Publikationen/Veroeffentlichungen/Schlussbericht_Wasser.pdf, abgerufen am: 07.03.2022.

DKRZ, Deutsches Klimarechenzentrum, 2022: CMIP5 (IPCC AR5) - Die Szenarien, online verfügbar unter: <https://www.dkrz.de/de/kommunikation/klimasimulationen/de-cmip5-ippc-ar5/die-szenarien>, abgerufen am: 16.06.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022a: Wasserbilanz - klimatische, Offenbach, online verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/begriffe/W/Wasserbilanz-klimatische.html?nn=16102&lsblid=510228>, abgerufen am: 17.03.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022b: agrowetter Beregnung, Interaktives Online-Beratungssystem für die Bewässerung in Deutschland, online verfügbar unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/agrowetter_beregnung/agrobereg.html, abgerufen am: 07.07.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022c: Modellbeschreibung agrowetter Beregnung, online verfügbar unter:

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

<https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/agrowetter/Modellbeschreibung.pdf?blob=publicationFile&v=2>, abgerufen am: 30.06.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022d: Hinweise und Definitionen zu den Boden- und Kulturkennwerten, online verfügbar unter:

<https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/agrowetter/Schlagkonfiguration.pdf?blob=publicationFile&v=2>, abgerufen am: 07.07.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022d: Klimaszenarien (Zukunft), online verfügbar unter:

https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/klimaszenarien_homenode.html, abgerufen am: 14.06.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022f: Bandbreite von Klimamodellen, online verfügbar unter:

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=100310&lv3=751612>, abgerufen am: 15.06.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2022g: Hinweise zur Ausgabe, agrowetter Berechnung des DWD, online verfügbar unter:

<https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/agrowetter/Ausgabe.pdf?blob=publicationFile&v=2>, abgerufen am: 24.08.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2021a: Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1981 - 2010, online verfügbar unter:

https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_8110_akt.html.html?view=nasPublication&nn=16102, abgerufen am: 11.07.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2021b: Erläuterungen zu den Klimaszenarien, online verfügbar unter:

https://www.dwd.de/DE/leistungen/deutscherklimaAtlas/erlaeuterungen/klimaszenarien/klimaszenarien_node.html, abgerufen am: 16.06.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2020: Climate Data Center - Open Data Bereich, online

verfügbar unter: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/Liesmich_intro_CDC-FTP.pdf, abgerufen am: 16.05.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2017: Hinweise zur Eingabe der Pflanzenphasen bei agrowetter Berechnung, online verfügbar unter:

https://kunden.dwd.de/agrobereg/data/hinweise_pflanzenphasen.pdf, abgerufen am: 08.07.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2017b: Deutschlandwetter im Jahr 2017, online verfügbar unter:

https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20171229_deutschlandwetter_jahr2017_news.html, abgerufen am: 11.07.2022.

DWD, Deutscher Wetterdienst, 2016: Bedienungsanleitung agrowetter Berechnung, online

verfügbar unter: <https://kunden.dwd.de/agrobereg/data/Bedienungsanleitung.pdf>, abgerufen am: 04.07.2022.

EGLV, Emschergenossenschaft und Lippeverband, 2022: Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet (NRW): Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserversorgung (KlimaBeHageN), online verfügbar unter: <https://www.eglv.de/emscher-lippe/kooperationen-und-projekte/>, abgerufen am: 04.07.2022.

Engel, Nicole, Hübsch, Lena, Müller, Udo, 2017: Beregnungsbedarfsermittlung und Beregnungssteuerung als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel, in: Porth, M., Schüttrumpf, H. (Hrsg.): Wasser, Energie und Umwelt, Aktuelle Beiträge aus der Zeitschrift Wasser und Abfall I, Springer-Verlag, Wiesbaden, pp. 508–516. ISBN 978-3-658-15921-4, online verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-658-15922-1.pdf>, abgerufen am: 23.07.2022.

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2000: RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik, online verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF, abgerufen am: 17.03.2022.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016: Required Input for Simulations with AquaCrop, online verfügbar unter: <https://www.fao.org/3/i6050e/i6050e.pdf>, abgerufen am: 23.06.2022.

Fitzthum, Ulrich, Riesbeck, Frank, Anter, Jano, Bucher, Bernd, Fricke, Ekkehard,

Götz, Reiner, Meyering, Ralf, Müller, Udo, Probst, Michael, Richter, Simone, Schörling,

Bernd, Thörmann, Hans-Heinrich, Wenkel, Karl-Otto, Hübsch, Lena, Barion, Dirk,

2019: Merkblatt DWA-M 590, Grundsätze und Richtwerte zur Beurteilung von Anträgen zur Entnahme von Wasser für die Bewässerung, 2. Auflage, korrigierte Fassung, druckhaus köthen GmbH & Co KG, Hennef. ISBN 978-3-88721-843-0.

Fricke, Ekkehard, 2022a: Effiziente Bewässerungstechnik – Stand und Trends, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), online verfügbar unter: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/effiziente-bewaesserungstechnik>, abgerufen am: 21.04.2022.

Fricke, Ekkehard, 2022b: Zur Zukunft der Bewässerung - Grundsatzbeitrag, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW), online verfügbar unter: https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/39060_Zur_Zukunft_der_Bewässerung_-_Grundsatzbeitrag, abgerufen am: 18.08.2022.

Fröba, Dr.-Ing. Norbert, Belau, Till, 2022: Betriebswirtschaftliche Eckdaten zur landwirtschaftlichen Bewässerung, Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), online verfügbar unter: <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/bewaesserung/betriebswirtschaftliche-eckdaten>, abgerufen am: 26.04.2022.

Fuhrer, Jürg, 2010: Bewässerungsbedürftigkeit heute und in Zukunft, Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement 108, 10/2010, <https://doi.org/10.5169/seals-236710>, online verfügbar unter: <https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=geo-007%3A2010%3A108%3A%3A1309>, abgerufen am: 05.05.2022.

Fuhrer, Jürg, Jasper, Karsten, 2009: Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima. Agrarforschung Schweiz 16, online verfügbar unter: <https://www.agrarforschungschweiz.ch/2009/10/bewaesserungsbeduerftigkeit-von-acker-und-grasland-im-heutigen-klima/#links>, abgerufen am: 05.05.2022.

Genßler, Lutz, Hädicke, Andrea, Hübner, Thomas, Jacob, Sibylle, König, Heinrich, Mehlig, Bernd, Michels, Carla, Neumann, Peter, Rosenbaum-Mertens, Jens, Seidenstcker, Christina, Sträter, Ellen, Straub, Winfried, Werking-Radtke, Jutta, Koch, Christ

an, 2010: Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen: Daten und Hintergründe / Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, LANUV-Fachberichte 27, online verfügbar unter: <https://digital.zlb.de/viewer/metadata/15362639/1/>, abgerufen am: 17.06.2022.

Geologischer Dienst NRW (Hrsg.), 2022: Boden, Daten & Karten, online verfügbar unter: https://www.gd.nrw.de/bo_dk.htm, abgerufen am: 18.05.2022.

GERICS, Climate Service Center Germany (Hrsg.), 2018: Änderungen des Klimas in Nordrhein-Westfalen, online verfügbar unter: https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/cordex/bundesland_nordrhein-westfalen_version1.2.pdf, abgerufen am: 20.07.2022.

Gömann, Horst, Frühauf, Dr. Cathleen, Lüttger, Dr. Andrea, Weigel, Hans-Joachim,

2017: Landwirtschaft, in: Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland - Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven, Springer Spektrum. ISBN 978-3-662-50396-6, online verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-50397-3.pdf>, abgerufen am: 28.06.2022.

Gramm, Marina, 2014: Untersuchungen zu pflanzenbaulichen Anpassungsstrategien an den klimabedingten Trockenstress und deren Wirtschaftlichkeit unter Nutzung wassersparender Verfahren der Bewässerung und Beregnung, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen (LfULG) (Hrsg.). ISSN 1867-2868.

Günther, Reinhard, 2014: 2.2 Niederschlag und Verdunstung - Steuergrößen des standörtlichen Wasserhaushaltes und der Bewässerung, in: Sourell, Dr. Heinz, Michel, Rickmann (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft, Themenbibliothek Pflanzenproduktion, Erling Verlag GmbH & Co, KG, Agrimedia. ISBN 978-3-86263-089-9 3-86263-089-7.

Günther, Reinhard., Michel, Rickmann, Sourell, Dr. Heinz, 2014: 4. Management - Steuerung der Bewässerung, in: Sourell, Dr. Heinz, Michel, Rickmann (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft, Themenbibliothek Pflanzenproduktion, Erling Verlag GmbH & Co, KG, Agrimedia. ISBN 978-3-86263-089-9 3-86263-089-7.

Häckel, H., 2008: Meteorologie, 6. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN, 978-3-8252-1338-1.

Hajirad, Iman, Mirlatifi, Sayed Majid, Dehghanisani, Hossein, Mohammadi, Sanaz, 2021: Determining yield response factor (ky) of silage maize under different irrigation levels of pulsed and continuous irrigation management, Central Asian Journal of Plant Science Innovation 1, ISSN 2783-1310, online verfügbar unter: https://www.cajpsi.com/article_143219_14f5405da450d28258a0bce9fe58f642.pdf, abgerufen am: 05.07.2022.

Hübener, PD Dr. Heike, 2022: Erläuterungen zur Klimamodellierung, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) (Hrsg.), online verfügbar unter: <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/klima-und-klimawandel/erlaeuterungen-zur-klimamodellierung>, abgerufen am: 14.06.2022.

Merkel, Dr. Wolfgang, aus der Beek, Dr. Tim, Juschak, Maxim, Wencki, Christina, Bolle, Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm, Palm, Dr.-Ing. Natalie, Wermter, Dr.-Ing. Paul, Echterhoff, Jan, Schröder, Wolfram, Rankenhohn, Florian, Waniek, Dr.-Ök. Roland W., Bosseler, Prof. Dr.-Ing. habil. Bert, Rometsch, Dr. rer.-oec. Lutz, Brüggemann, Dipl.-Ing. Thomas, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung (Mülheim an der Ruhr), Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft FiW an der RWTH Aachen, IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH Gelsenkirchen, (Hrsg.) 2019: Analyse zum Stand und zur Entwicklung der Wasserwirtschaft in NRW, online verfügbar unter: https://iww-online.de/download/wasserwirtschaftsstudie-nrw/?wpdmdl=14255&refresh=630621d7500291661346263&ind=1569418012727&filename=NRW-Wasserwirtschaftsstudie_final_Anpassung-zur-Veroeffentlichung.pdf, abgerufen am: 26.08.2022.

Jacob, Daniela, Bülow, Katharina, Kotova, Lola, Moseley, Christopher, Petersen, Juliana, Rechid, Diana, 2012: Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland: Ensemble-Simulationen für die Klimafolgenforschung, CSC Report No. 6, online verfügbar unter: https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc_report6.pdf, abgerufen am: 16.05.2022.

Jäkel, Dr. Kerstin, Theiß, Markus, Böttcher, Falk, Schmidt, Martin, 2018: Wasserentzug und Wassernutzungseffizienz landwirtschaftlicher Kulturen im Energiepflanzenanbau, 14. Leipziger Tag der Agrarmeteorologie am 10.01.2018 in Leipzig, online verfügbar unter: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/2018_Tag_der_Agrarmeteorologie.pdf, abgerufen am: 19.08.2022.

Kleber, Jürgen, 2014: Bewässerungssteuerung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), online verfügbar unter:

https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Artikel/Gartenbau/Bewaesserungssteuerung/Bewaesserungssteuerung.pdf, abgerufen am: 16.03.2022.

Knoblauch, Dr. Steffi, 2020: Lysimeter – Informationen zum Wasser- und Stoffhaushalt eines Bodens, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg.), Bonn, online verfügbar unter: https://www.bmel.de/DE/serviceseiten/impresum/impresum_node.html, abgerufen am: 29.03.2022.

Koch, Josef, 2021: Bayern fördert auch Sensoren für Bewässerung, Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, online verfügbar unter: <https://www.wochenblatt-dlv.de/feld-stall/betriebsfuehrung/bayern-foerdert-sensoren-fuer-bewaesserung-567195>, abgerufen am: 02.09.2022.

Kögler, F., Söffker, D., 2018: Steuerung des Pflanzenwachstums durch Bewässerung, in: Stützel, H., Fricke, A., Francke-Weltmann, L., Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. (Hrsg.), Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 30, ISSN 0934-5116, online verfügbar unter: https://www.gpw.uni-kiel.de/de/gpw-tagung/tagungsbaende/tagungsband_2018.pdf, abgerufen am: 27.06.2022.

Konrad, Markus, 2022: Aktuelles zur Bewässerung im Gartenbau, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) (Hrsg.), online verfügbar unter: <https://www.alf-au.bayern.de/gartenbau/erzeugung/225261/index.php>, abgerufen am: 22.04.2022.

Körner, Christian, 2014: Pflanzen im Lebensraum, in: Kadereit, Joachim W., Körner, Christian, Kost, Benedikt, Sonnwald, Uwe: Strasburger – Lehrbuch Der Pflanzenwissenschaften, 37. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-642-54435-4, online verfügbar unter: <https://link-1springer-1com-1kssnxcg200f4.han.ub.uni-kassel.de/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-61943-8.pdf>, 30.03.2022.

Kreienkamp, Frank, Früh, Barbara, Kotlarski, Sven, Linke, Carsten, Olefs, Marc, Schauer, Inke, Schinko, Thomas, Schwierz, Cornelia, Walter, Andreas, Zimmer, Matthias, 2022: Empfehlungen für die Charakterisierung ausgewählter Klimaszenarien, online verfügbar unter: <https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/pdf/szenariennamen.pdf?blob=publicationFile&v=1>, abgerufen am: 14.06.2022.

Kreins, Peter, Henseler, Martin, Anter, Jano, Herrmann, Frank, Wendland, Frank, 2015: Quantification of Climate Change Impact on Regional Agricultural Irrigation and Groundwater Demand, in: Water Resources Management. August, 2015, Vol. 29 Issue 10, p3585, 16 p. Thünen Institute of Rural Studies, Braunschweig; EDEHN - Equipe d'Economie Le Havre Normandie, Le Havre, France; Thünen Institute of Agricultural Technology, Braunschweig; Forschungszentrum Jülich, DOI 10.1007/s11269-015-1017-8, online verfügbar unter: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11269-015-1017-8.pdf>, abgerufen am: 20.04.2022

LANAT, Amt für Landwirtschaft und Natur Kanton Bern, Schweiz (Hrsg.), 2016: Merkblatt: Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen in Trockenperioden, online verfügbar unter: <https://www.bvd.be.ch/content/dam/bvd/dokumente/de/awa/wasser/wassernutzung/wasserelementnahmen-bei-trockenheit/trosec-merkblatt-landw-bewässerung-bei-trockenheit.pdf>, abgerufen am: 18.08.2022.

Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Centro di Sperimentazione Agraria e Forestale Laimburg (Hrsg.), 2013: Merkblätter zum Getreideanbau Projekt Regiokorn, online verfügbar unter: http://www.laimburg.it/download/Merkblaetter_Getreideanbau.pdf, abgerufen am: 07.06.2022.

Landesanstalt für Pflanzenbau BW (Hrsg.), 2002: Beregnung und Bewässerung landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung Nr. 24, Rheinstetten, online verfügbar unter: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiH8Mf0i9j5AhWinf0HHXcfCesQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fwaldshut.landwirtschaft-bw.de%2Fpb%2Fsite%2Fpbs-bw-new%2Fget%2Fdocuments%2FMLR.LEL%2FPB5Documents%2Fitz_ka%2FService%2FSchriftenreihen%2FMerkblatt%2520f%25C3%25BCr%2520die%2520Umweltgerechte%2520Landbewirtschaftung%2FMerkblatt-Bew%25C3%25A4sserung_DL%2FMerkblatt%252024%2520Beregnung%2520und%2520Bew%25C3%25A4sserung.pdf%3Fattachment%3Dtrue&usg=AOvVaw0AiRT8ZxTUa0qi2NXU4T5a, abgerufen am: 21.08.2022.

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg), 2022a: Handlungsfeld Landwirtschaft, online verfügbar unter: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klimaanpassung/dokumente/Landwirtschaft_UEberschrift.pdf, abgerufen am: 20.08.2022.

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg), 2022b: Fachinformationssystem Klimaschutz, Wasserwirtschaft, online verfügbar unter: <https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/klimaanpassung/dokumente/Wasser.pdf>, abgerufen am: 26.08.2022.

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg), 2021: Nordrhein-Westfalen, Daten und Fakten zum Klimawandel, Recklinghausen, online verfügbar unter: https://www.klimaatlas.nrw.de/Media/Default/Dokumente/09Factsheet_NRW_211210.pdf, abgerufen am: 17.05.2022.

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg), 2020a: Klimatische Wasserbilanz, online verfügbar unter <https://www.klimafolgenmonitoring.nrw.de/cs-umwelt/einleitung-umwelt/hf-wasserwirtschaft/u43-klimatische-wasserbilanz>, abgerufen am: 21.07.2022.

LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg), 2020b: Aktuelle Einordnung der Witterung in NRW , online verfügbar unter: <https://www.klimaatlas.nrw.de/witterungsverlauf>, abgerufen am: 11.07.2022.

LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), 2022: Bodentypen, Augsburg, online verfügbar unter: <https://www.lfu.bayern.de/boden/erdausstellung/bodentypen/index.htm>, abgerufen am: 05.06.2022.

Linke, Carsten, Zimmer, Matthias, LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, LfU, Landesamt für Umwelt, Brandenburg, SenStadtUm, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg, HLNUG, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, EMMV, Ministerium f. Energie, Infrastruktur, Landesentwicklung Mecklenburg-Vorpommern, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, LANUV, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein- Westfalen, LfU, Landesamt für Umwelt, Rheinland-Pfalz, RLPKK, Rheinland-Pfalz, Kompetenzzentrum für Klimawandelfolgen, MWAEV, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit, Energie und Verkehr Saarland, LFULG, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, LAU, Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, TLUG, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, UBA; KomPass, Umweltbundesamt, DWD, Deutscher Wetterdienst, GERICS, Climate Service Center Germany, CEC , Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (Hrg.) 2017: Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten, Essen, online verfügbar unter: <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/fachgesprach/Leitlinien-2017.pdf>, abgerufen am: 14.06.2022.

LÖBF, Landesanstalt für Ökologie, Boden- Ordnung und Forsten NRW (Hrsg.), 2005: Natürliche und landschaftsgeschichtliche Grundlagen, LÖBF-Mitteilungen 4, ISSN 0947-7578, online verfügbar unter: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/veroeffentlichungen/loebf/loebf_mitteilungen/2005/loebfmit_200504.pdf, abgerufen am: 01.06.2022.

Lüttger, Dr. Andrea, Dittmann, Bärbel, Sourell, Dr. Heinz, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (MLUV) (Hrsg.) 2005: Leitfaden zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen, Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz und Landwirtschaft, Potsdam, online verfügbar unter: https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/timport_derivate_00048648/2005_002.pdf, abgerufen am: 16.11.2022.

Meinardi, Dominic, Schröder, Johanna, Riedel, Angela, Röttcher, Prof. Dr.-Ing. Klaus, Kraft, Martin, Grochell, Dr. Jürgen, Dittert, Prof. Dr. Klaus, 2021: Sensorgestützte Beregnungssteuerung von Kartoffeln - Eine Entwicklung des Crop Water Stress Index für Nordostniedersachsen, Abschlussbericht, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, online verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn063811.pdf, abgerufen am: 04.05.2022.

Mejias, Patricia, Piraux, Michèle, 2017: AquaCrop, the crop water productivity model, FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.), online verfügbar unter: <https://www.fao.org/3/i7455e/i7455e.pdf>, abgerufen am: 23.06.2022.

Meßer, Dr. Johannes, Werner, Dr. Florian, Barein, Annika, Kons, Sandra, 2019: Maßnahmenkonzept für konkurrierende Grundwassernutzungen im Einzugsgebiet des Hammbachs in Dorsten, Abschlussbericht, Lippe Wassertechnik GmbH, Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW), Lippeverband (LV), Essen, online verfügbar unter: https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-34437_01-Hauptbericht.pdf, abgerufen am: 22.05.2022.

Michel, Rickmann, 2014: 2. Standörtliche und pflanzenökologische Grundlagen der Bewässerung, in: Sourell, Dr. Heinz, Michel, Rickmann (Hrsg.), Bewässerung in der Landwirtschaft, Themenbibliothek Pflanzenproduktion. Erling Verlag GmbH & Co, KG, Agrimedia. ISBN 978-3-86263-089-9 3-86263-089-7.

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), 2010: Natur im Wandel, Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen, steinrücke+ich gmbh, Köln, online verfügbar unter: https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/klima/broschuere_natur_im_wandel.pdf, abgerufen am: 30.08.2022.

Müller, Dr. Martin, 2011: Tropfbewässerung zu Speisekartoffeln, in: ALB Bayern e.V. (Hrsg.), Sächsisch-Thüringischer Bewässerungstag am 08.12.2011 in Groitzsch, online verfügbar unter: https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/2_Tropfbewaesserung.pdf, abgerufen am: 21.04.2022.

Paschold, Peter-Jürgen, Kleber, Jürgen, Mayer, Norbert, 2010: Geisenheimer Bewässerungssteuerung, Forschungsanstalt Geisenheim - Fachgebiet Gemüsebau, online verfügbar unter: http://p14832.typo3server.info/uploads/media/Geisenheimer_Steuerung.pdf, abgerufen am: 14.08.2022.

Paschold, Prof. Dr. Peter-Jürgen, 2010: Steuern und Regeln der Bewässerung, in: Sourell, Dr. Heinz, Paschold, Prof. Dr. Peter-Jürgen (Hrsg.): Bewässerung im Gartenbau, Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim). ISBN 978-3-8001-4774-8.

Paschold, Prof. Dr. Peter-Jürgen, 2004: Geisenheimer Bewässerungssteuerung auch Online, Hessisches Dienstleistungszentrum für Landwirtschaft, Gartenbau und Naturschutz (Hrsg.): Hessischer Berechnungstag 2004, Ressourcenschonender Bewässerungseinsatz in der Praxis, Fachinformationen - Pflanzenbau, Nr. 02 /2004. ISSN 1610-6873.

Patt, Heinz, Fitzthum, Ulrich, 2021: Landwirtschaftlicher Wasserbau, in: Patt, Heinz, Speerli, Jürg, Gonsowski, Peter: Wasserbau - Grundlagen, Gestaltung von Wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen, 8. Auflage, Springer-Verlag, Bonn, Einsiedeln. ISBN 978-3-658-30550-5, online verfügbar unter: <https://link-1springer-1com-1kssnxcpu0426.han.uni-kassel.de/content/pdf/10.1007/978-3-658-30551-2.pdf>, abgerufen: 11.04.2022.

Pertoll, G., 2008: Bodenfeuchtemessung - Grundlage für die Bewässerung im Weinbau, Obstbau Weinbau 45, online verfügbar unter: http://www.laimburg.it/de/projekte-publikationen/publikationen.asp?somepubl_action=300&somepubl_image_id=184041, abgerufen am: 31.03.2022.

Pfeifer, Susanne, Rechid, Diana, Bathiany, Sebastian, 2020: Klimaausblick Nordrhein-Westfalen Climate Service Center Germany (GERICS) (Hrsg.), online verfügbar unter: https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/projekte/klimasignalkarten/gerics_klimaausblick_nordrheinwestfalen_version1.2_deutsch.pdf, abgerufen am: 16.06.2022.

Pöhlitz, Dr. Julia, Wenzel, Jan Lukas, Piernicke, Thomas, 2022: Mit Digitalisierung Wasser sparen - Wie kann eine ressourcenschonende Beregnung gelingen? Bauernblatt Schleswig-Holstein, online verfügbar unter: <https://www.bauernblatt.com/mit-digitalisierung-wasser-sparen/>, abgerufen am: 04.05.2022.

Rasche, Monika, Grommelt, Hans-Joachim, 2022: Bewässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen, Standpunkt 14, BUND Arbeitskreis Wasser (Hrsg.), online verfügbar unter: <https://www.bund.net/service/publikationen/detail/publication/bewaesserung-landwirtschaftlicher-nutzflaechen/>, abgerufen am: 17.05.2022.

Riedel, Angela, 2017: Verbesserung der Nährstoffeffizienz durch Bewässerung, in: Schimmelpfennig, Dr. Sonja, Anter, Jano, Heidecke, Dr. Claudia, Lange, Stefan, Röttcher, Prof. Dr.-Ing. Klaus, Bittner, Dr. Florian (Hrsg.): Bewässerung in der Landwirtschaft - Tagungsband Zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderberg, Thünen Working Paper. Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Braunschweig, online verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059620.pdf, abgerufen am: 17.11.2022.

Rolfes, Lennart, Heidecke, Dr. Claudia, Kreins, Peter, 2019: Ermittlung des zukünftigen Wasserbedarfs in der Landwirtschaft am Beispiel Nordrhein-Westfalens, 6. Wiesbadener Grundwassertag am 04. September 2019, online verfügbar unter: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/wasser/Veranstaltungen/2019/6_Grundwassertag/Vortrag_2_Zukuenftiger_Wasserbedarf_in_der_Landwirtschaft_Rolfes.pdf, abgerufen am: 16.05.2022.

Rößler, U., Albrecht, M., 2002: Versuchsergebnisse zur ober- und unterirdischen Tropfbewässerung bei Feldgemüse: Vorträge der GKL-Jahrestagung 18. und 19. September 2001 in Karlsruhe, in: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.), KTBL Arbeitspapier 280, Kunststoffe für den Ressourcenschutz bei der Wassernutzung im Landbau, Darmstadt.

Roth, Prof. Dr. Dieter, Günther, Dr. Reinhard, Knoblauch, Dr. Steffi, Michel, Herbert, 2005: Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Heft 1/2005, Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen, Jena, online verfügbar unter: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/lysi0505.pdf>, abgerufen am: 18.05.2022.

Rupp, Dr. D., 2022: Bodenfeuchtemessung im Weinbau, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), online verfügbar unter: <https://lvwo.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Fachinformationen/Bodenfeuchtemessung+im+Weinbau?LISTPAGE=670162>, abgerufen am: 31.03.2022.

Scheele, Ulrich, Malz, Simone, 2011: Möglichkeiten zu Wassereinsparungen und Entwicklung von Konzepten und Instrumenten für ein nachhaltiges Wasser-Management, in: Lozán, José, Graßl, Hartmut, Hupfer, Peter, Menzel, Lucas, Schönwiese, Christian-D. (Hrsg.), WARNSIGNAL KLIMA: Genug Wasser Für Alle? 3. Auflage, online verfügbar unter: https://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/warnsignalklima/warnsignal_klima_kap4_4.3_scheele.pdf, abgerufen am: 01.09.2022.

Schliep, Rainer, Ackermann, Werner, Aljes, Vincent, Baierl, Cindy, Fuchs, Daniel, Kretzschmar, Sarah, Miller, Annika, Radtke, Laura, Rosenthal, Gert, Sudfeldt, Christoph, Trautmann, Sven, Walz, Ulrich, Braeckevelt, Elisa, Sukopp, Ulrich, Heiland, Stefan, 2021: Weiterentwicklung von Indikatoren zu Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt, Bundesamt für Naturschutz (BfN) (Hrsg.), Heft Nr. 576, <https://doi.org/10.19217/skr576>. ISBN 978-3-89624-337-9, online verfügbar unter: https://www.bfn.de/sites/default/files/2021-09/Skript_576.pdf, abgerufen am: 30.08.2022.

Schulz, Sönke, 2022: Teleskopgestänge: Fasterholt DL66 Pro: Mobiler Landregen, Profi - Magazin für professionelle Agrartechnik, online verfügbar unter: <https://www.profi.de/technisch/technik/teleskopgestange-fasterholt-dl66pro-mobiler-landregen-28843.html>, abgerufen am: 06.04.2022.

Sieker, Heiko, Steyer, Ruth, Büter, Björn, Leßmann, Dominika, von Tils, Robert, Becker, Carlo, Hübner, Sven, 2019: Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten 111/2019. ISSN 1862-4804, online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-09-16_texte_111-2019_verdunstungskuehlung.pdf, abgerufen am: 28.08.2022.

Smith, Martin, 1996: CROPWAT a computer program for irrigation planning and management / developed by Martin Smith, FAO irrigation and drainage paper 46, Rome. ISBN 92-5-103106-1.

Smith, M., Kivumbi, D., Heng, L.K., 2000: Use of the FAO CROPWAT Model in Deficit Irrigation Studies, in: Deficit Irrigation Practices, Water Reports 22. ISBN 92-5-104768-5, online verfügbar unter: <https://www.fao.org/3/Y3655E/y3655e05.htm#e>, abgerufen am: 23.06.2022.

Ressourcenschonende landwirtschaftliche Bewässerung

Sornay, Benjamin, 2022: Effiziente Bewässerung, Amt für Landwirtschaft Kanton Waadt, Interessensgruppe «Efficiency Irrigation Vaud» (Hrsg.), online verfügbar unter: https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewj354eOml_5AhXDNOwKHVtYDCoQFnoECACQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.blw.admin.ch%2Fdam%2Fblw%2Fde%2Fdokumente%2Finstrumente%2FRessourcen-%2520und%2520Gewaesserschutzprogramm%2FRessourcenprogramm%2FProjektuebersicht%2Firrigation_bewaesserung.pdf.download.pdf%2FRessourcenprojekte-11-Irrigation-VD.pdf&usg=AOvVaw3cn0LaqE_DPGW2mF67TJ08, abgerufen am: 23.07.2022.

Sourell, Dr. Heinz, 2014: 3. Technik - Planung und Anlage der Bewässerung, in: Michel, Rickmann, Sourell, Dr. Heinz (Hrsg.), Bewässerung in der Landwirtschaft, Themenbibliothek Pflanzenproduktion, Erling Verlag GmbH & Co, KG, Agrimedia. ISBN 978-3-86263-089-9 3-86263-089-7.

Sourell, Dr. Heinz, 2010: Bewässerungstechniken, in: Paschold, Prof. Dr. Peter-Jürgen (Hrsg.), Bewässerung im Gartenbau. Eugen Ulmer KG, Stuttgart (Hohenheim). ISBN 978-3-8001-4774-8.

Sourell, Dr. Heinz, 2009: Bewässerungstechnik: Wasserverteilung mit Blick in die Zukunft, Freilandberegnung, in: Wasser Im Gartenbau, Statusseminar am 9. und 10. Februar 2009 in Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut; Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei (vTI), online verfügbar unter: https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00049328, abgerufen am: 31.03.2022.

Sourell, Dr. H., 2006: Moderne Techniken der landwirtschaftlichen Bewässerung – wasser- und energiesparend, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Institut für Betriebstechnik und Bauforschung (FAL) (Hrsg.), online verfügbar unter: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn047251.pdf, abgerufen am: 21.04.2022.

Southern, Neil, 1997: Microirrigation systems, in: Farm Irrigation - Planning and Management. Reed International Books Australia. ISBN 0-7506-8937-4.

Sponagel, Herbert, Eckelmann, Wolf, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung: mit 103 Tabellen / Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 5., verb. und erw. Auflage. ed. Stuttgart. ISBN 3-510-95920-5.

SWR, Südwestrundfunk, Stuttgart (Hrsg.), 2022: Rasen wässern verboten: Im Hunsrück muss Trinkwasser gespart werden, online verfügbar unter: <https://www.swr.de/swraktuell/rheinland-pfalz/koblenz/vg-simmern-rheinboellen-wassersparen-100.html>, abgerufen am: 31.08.2022.

Tietz, Dipl.-Ing. agr. A., 2016. Ex-post-Bewertung, NRW-Programm Ländlicher Raum 2007 bis 2013, Befragung von Landwirten in ELER-geförderten Flurbereinigungsverfahren (ELER-Code 125-A).

Umweltbundesamt (Hrsg.), 2022a: Definition Sozialökologie, online verfügbar unter: <https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/00022831.html>, abgerufen am: 24.08.2022.

Umweltbundesamt (Hrsg.), 2022b: Regenwassernutzung: Tipps für nachhaltige Nutzung und Versickerung, online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/garten-freizeit/regenwassernutzung#unsere-tipps>, abgerufen am: 28.08.2022.

Umweltbundesamt (Hrsg.), 2022c: Wasserfußabdruck, online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserbewirtschaften/wasserfussabdruck#was-ist-der-wasserfussabdruck>, abgerufen am: 31.08.2022.

Umweltbundesamt (Hrsg.), 2016: DynAKlim – Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Nördliches Ruhrgebiet), online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projektatalog/dynaklim-dynamische-anpassung-regionaler-planungs>, abgerufen am: 17.05.2022.

van den Akker, Dr. Elisabeth, 2013: Themeninfo Wassersparende Bewässerung, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Abteilung Ländliche Entwicklung und Agrarwirtschaft (Hrsg.), online verfügbar unter: <https://www.deutsche-digitale-bibliothek.de/item/UQWUEU3TSYQ7RA3AHOW63FILVEFJHSE7>, abgerufen am: 30.10.2021.

van Eimern, Josef, Häckel, Hans, 1984: Wetter- und Klimakunde: ein Lehrbuch der Agrarmeteorologie, 4. Auflage. ed. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-4053-5.

Vorderbrügge, Dr. Thomas, Sauer, Dr. Stephan, 2016: Nutzbare Feldkapazität des Bodens, Klassifizierung, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz (Hrsg.), online verfügbar unter: https://www.lgb-rlp.de/fileadmin/service/lgb_downloads/boden/bfd5l_methodenbeschriebe/bfd5l_nutzbare_feldkapazitaet.pdf, abgerufen am: 09.06.2022.

Walkenhorst, Oliver, Stock, Manfred, 2009: Regionale Klimaszenarien für Deutschland - Eine Leseanleitung, E-Paper der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL). Verlag der ARL, Hannover. ISBN 978-3-88838-724-1, online verfügbar unter: https://shop.arl-net.de/media/direct/pdf/e-paper_der_arl_nr6.pdf, abgerufen am: 13.06.2022.

Wehse, Heiko, Chaix, Olivier, Gander, Yvonne, Birrer, Angela, Fritsch, Martin, Meylan, Benjamin, Zahner, Samuel, 2017: Erarbeitung von Maßnahmen zur langfristigen Sicherstellung der Wasserressourcen, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wasser, Bern (Hrsg.), online verfügbar unter: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/wasser/externe-studien-berichte/erarbeitung-von-massnahmen-zur-langfristigen-sicherstellung-der-wasserressourcen.pdf.download.pdf/Schlussbericht_de_Vorgehen_Sicherung_Wasserressourcen.pdf, abgerufen am: 19.08.2022.

Wilmer-Jahn, Melanie, Lammers, Marianne, Thurow, Steffen, Becker, Dr. Thorsten, 2021: Landwirtschaftlicher Fachbeitrag als Ergebnisbericht zum DBU-Projekt KlimaBeHageN (Dorsten), Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Coesfeld.

Wolff, Prof. Dr. P., 1981: Einführung in die Bewässerungstechnik: Begleittext zur Vorlesung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft am Fachbereich Internationale Agrarwirtschaft der GhK. Gesamthochschule Kassel, Fachbereich Internat. Agrarwirtschaft, Lehrgebiet Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Witzenhausen.

Ziegler, B., 2012: Bodenpflege im Weinbau: Ausgewählte Themen für die Praxis, Weinbau-Informationen, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum, Rheinland-Pfalz, Neustadt an der Weinstraße, online verfügbar unter: <https://www.edoweb-rlp.de/resource/edoweb%3A7009571>, abgerufen am: 03.05.2022.

Zinkernagel, Prof. Dr. Jana, Berthold, Dr. Georg, 2017: Klimawandelbedingte Änderungen des Wasserbedarfs und der Stickstoff-Düngung für den Gemüseanbau im Hessischen Ried, Abschlussbericht, Hochschule Geisenheim, online verfügbar unter: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/INKLIM_A/land-und-forstwirtschaft/gemuesebau.pdf, abgerufen am: 23.03.2022.

Fachbeitrag Hochschule Ruhr West

Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet NRW:
Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft,
Landschaft & Wasserversorgung (**KlimaBeHageN**)

Ein Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
(AZ 35728/01)

Projektlaufzeit: 01.06.2020 – 28.02.2023 (33 Monate)

Mülheim, im Januar 2023

Bearbeitender Projektpartner

Hochschule Ruhr West (HRW) Mülheim

FB Wirtschaft, Wasser- und

Energieökonomik

Prof. Dr. Mark Oelmann, Sven Hery

Duisburger Straße 100

45479 Mülheim an der Ruhr

Tel.: 0208 88254 358

E-Mail: mark.oelmann@hs-ruhrwest.de

sven.hery@hs-ruhrwest.de

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis	3
Glossar	4
Executive Summary	5
1 Einleitung	9
2 Methodik	11
2.1 Grundsätzliches Vorgehen	11
2.2 Verzahnung mit den Projektaktivitäten anderer Konsorten	12
2.3 Expertenworkshops im Projekt-Konsortium	13
3 Analyse der Wassernutzer	15
3.1 Bestandsaufnahme zur Situation um Wasserentnahmerechte	15
3.1.1 Grundlegende Betrachtung zur bundesweiten Situation	15
3.1.2 Ausgangslage in der Projektregion	18
3.2 Beschreibung der Wassernutzer und Akteure in der Region	22
3.2.1 Lippeverband (LV)	22
3.2.2 Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW)	22
3.2.3 Landwirtschaft und Landwirtschaftskammer	23
3.2.4 Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/ Wienbach	25
3.2.5 Untere Wasserbehörde	26
3.2.6 Untere Naturschutzbehörde	26
3.2.7 Bergbauabsenkung in Dorsten	27
3.2.8 Überblick über die Kompetenzen der Projektpartner	28
4 Organisation	29
4.1 Begriffsabgrenzung Organisation und Institution	29
4.2 Bewässerungs- und Beregnungsverbände in Deutschland	29
4.2.1 Allgemeine Zielsetzung und Idee von Bewässerungsverbänden	29
4.2.2 Vorgehensweisen von Beispiel-Bewässerungsverbänden	30
4.2.3 Übertragbare Erkenntnisse aus bestehenden Bewässerungsverbänden	35
4.3 Übertragung von Erkenntnissen auf die Modellregion	36
4.3.1 Verbandliche Organisation und potentielle Betreiber	36
4.3.2 Potentielle Gruppen von teilnehmenden Landwirten	40
4.3.3 Kerntätigkeiten des Verbands und optionale zusätzliche Dienstleistungen	42
4.3.4 Wasserzähler im Bewässerungsverband	43

5	Kosten	47
5.1	Einordnung der Kostenannahmen unter Berücksichtigung des volatilen Umfelds	47
5.2	Entwicklungskosten	48
5.3	Kapitalkosten	48
5.4	Betriebskosten	51
5.5	Verhältnis fixer und variabler Kosten	52
6	Finanzierung	53
6.1	Grundlagen zur Tarifikalkulation	53
6.1.1	Zielsetzung	53
6.1.2	Fixe- und variable Erlöse	54
6.1.3	Auswirkungen auf betriebliche Entscheidungen von Landwirten	55
6.2	Rolle der Förderung	57
6.3	Statische Entgeltmodellierung	60
6.3.1	Bemessungsgrundlagen	60
6.3.2	Entgeltmodellierung für landwirtschaftliche Lastenträger	61
6.3.3	Finanzielle Lastenteilung der Akteure in der Projektregion	65
6.4	Ansätze zur dynamischen Entgeltmodellierung	67
6.4.1	Ansätze aus dem internationalen Raum	67
6.4.2	Übersicht der internationalen Ansätze	71
6.4.3	Zielsetzung und Modellierung dynamischer Entgelte	73
7	Fazit	75
	Literatur	76

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Tätigkeitsfelder HRW in KlimaBeHageN in Clustern	12
Abb. 2:	Übersicht zu Schnitt- und Übergabestellen KlimaBeHageN	13
Abb. 3:	Workshop I zu Organisation und Finanzierung im Konsortium	14
Abb. 4:	Differenzierung von Wasserentnahmerechten	15
Abb. 5:	Wasserentnahmeentgelte und Regelungen zur Grundwasseranreicherung	17
Abb. 6:	Aufteilung der Wasserrechte nach Verwendungszweck im Modellgebiet	18
Abb. 7:	Wasserentnahmerechte nach Bereich.....	19
Abb. 8:	Ampelkarte für den mengenmäßigen Grundwasserzustand im Projektgebiet	20
Abb. 9:	Bewässerung in Abhängigkeit der Monate bzw. Tageszeit.....	25
Abb. 10:	Kompetenzen der Konsortialpartner	28
Abb. 11:	Relevante Elemente aus bestehenden Bewässerungsverbänden	35
Abb. 12:	Aufgabenteilung von Infiltrations- und Wasserverband.....	38
Abb. 13:	Landwirtschaftliche Teilnahmegruppen an Bewässerungsverband.....	40
Abb. 14:	Kern- und Nebentätigkeiten bei Projektumsetzung	42
Abb. 15:	Anforderungsprofil und technische Umsetzung Wasserzähler IOTAqua.....	44
Abb. 16:	Abschreibungshorizonte nach betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern	49
Abb. 17:	Gesamtkosten Bewässerungsverband nach Inbetriebnahme	52
Abb. 18:	Grundsätzliche Zielrichtungen bei der Tarifmodellierung	53
Abb. 19:	Fixe und variable Bestandteile von Tarifen	55
Abb. 20:	Schema zur Bestimmung der ökonomischen Berechnungswürdigkeit.....	56
Abb. 21:	Fördermöglichkeiten zum Thema Landwirtschaft und Bewässerung, Stand 06/2022 ...	59
Abb. 22:	Bewässerungsszenarien für Bemessungsgrundlagen	60
Abb. 23:	Statische Tarifmodellierung bei Kostenträgerschaft durch Landwirte	62
Abb. 24:	WER Landwirtschaft zur Bewässerung	63
Abb. 25:	Finanzielle Beteiligungsgrundlagen nach Sparte	66
Abb. 26:	Blockpreis-Mechanismus in Sydney	68
Abb. 27:	Progressive Wassertarife in Kapstadt (Stand 2018)	70
Abb. 28:	Überblick zu Lösungsansätzen aus dem internationalen Raum	72
Abb. 29:	Anreizziele und Grundsätze für dynamische Entgelte.....	73

Glossar

CAPEX	Capital Expenditures (Kapitalkosten)
DEVEX	Development Expenditures (Entwicklungskosten)
EK	Eigenkapital
FK	Fremdkapital
HRW	Hochschule Ruhr West
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LaWi	Landwirtschaft
LV	Lippeverband
LW	Lippe Wassertechnik
LWK	Landwirtschaftskammer
NRW	Nordrhein-Westfalen
OPEX	Operating Expenditures (Betriebskosten)
RWW	Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
UK	Universität Kassel
UNB	Untere Naturschutzbehörde
UWB	Untere Wasserbehörde
WBV	Wasser- und Bodenverband
WEE	Wasserentnahmeentgelt
WER	Wasserentnahmerechte
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WLV	Westfälisch-Lippischer Landwirtschaftsverband e. V. – Kreisverband Recklinghausen
WVG	Gesetz über Wasser- und Bodenverbände (Wasserverbandsgesetz)
WVU	Wasserversorgungsunternehmen

Executive Summary

Organisation

In einer Analyse zu den Akteuren in der Projektregion, zu deren bestehenden Rollen und Kompetenzen sowie deren Bedürfnissen und Wünschen in Bezug auf das Projektvorhaben von KlimaBeHageN zeigt sich, dass die vielseitigen notwendigen Fähigkeiten zur Bewältigung der geplanten Aufgaben bereits bei den verschiedenen Projektpartnern vorliegen. Kerntätigkeiten, wie etwa Planung und Bau sowie Betrieb und Instandhaltung von technischen Anlagen und Infiltrationsmanagement, können mit den bestehenden Kompetenzen durch den LV und die RWW erbracht werden. Ebenfalls von Beginn an zwingend notwendige Aufgaben, wie etwa eine Mitgliederverwaltung für Landwirte mit der entsprechenden Abrechnung auf Grundlage von Entnahmemengen, kann durch den bestehenden WBV Rhader Bach/Wienbach übernommen werden. Der WBV stellt eine der vielseitigen Organisationen der selbstverwalteten und ehren- wie hauptamtlich engagierten landwirtschaftlichen Akteure in der Region dar. Die benannten Organisationen eint ein gemeinsames berechtigtes Interesse an einer gesamtheitlichen Stärkung der Wasserbilanz des Grundwasserleiters, um Entnahmen für Privathaushalte, Wasserwirtschaft, Landwirtschaft und Industrie langfristig und nachhaltig vor dem Hintergrund von Klimawandelfolgen absichern zu können.

Eine erweiterte Betrachtung von großen Bewässerungsverbänden in Deutschland (Vorderpfalz, Hessisches Ried und Uelzen) lässt einen Rückschluss auf eine anzustrebende konkrete Organisationsform zu. Bei einer alleinigen Projektumsetzung durch landwirtschaftliche Akteure wären besonders die organisatorischen Modelle aus der Vorderpfalz oder Uelzen in Betracht zu ziehen. Die als Wasser- und Bodenverbände organisierten Bewässerungsverbände sind hier nach dem Prinzip der landwirtschaftlichen Selbstverwaltung aufgebaut und bilden die Bereitstellung von Bewässerungswasser hauptsächlich netzgebunden ab. Effizienzgründe in Bezug auf die fachliche Aufteilung verschiedener Kernaufgaben und das gemeinsame Interesse sowie der gemeinsame Nutzen aus der Stärkung der Grundwasserbilanz, lassen eine gemeinschaftliche verursachungsgerechte Lastenteilung zumindest in Betracht ziehen. Vor diesem Hintergrund kann insbesondere auf die langjährige Erfahrung zur Entwicklung des „Wasserverbands Hessisches Ried“ zurückgegriffen werden. Im Kern werden die Aufgaben Grundwasserbewirtschaftung und landwirtschaftliche Bewässerung seit 2014 von zwei verschiedenen Wasser- und Bodenverbänden verantwortet, die allerdings per Satzung, Pachtverträgen und über konkrete Aktivitäten eng miteinander verbunden sind. Gleichzeitig wird so eine genauere und verursachergerechte Zuordnung von Kosten möglich, die in der späteren Tarifikalkulation für Endnutzer notwendig und von Aufsichtsorganen gefordert ist. Damit empfiehlt sich bei einer Projektumsetzung der Aufbau einer neuen Organisation als Wasser- und Bodenverband nach WVG und damit als Körperschaft des öffentlichen Rechts, zuständig für die Grundwasserbewirtschaftung sowie Bau und Betrieb der

Infrastruktur und das entsprechende Rechnungswesen, und die Weiterentwicklung des WBV Rhader Bach/Wienbach hin zu einem Bewässerungsverband, der insb. die organisatorische Schnittstelle zu teilhabenden Landwirten ist. Die Trägerschaft des Vorhabens sollte in Abhängigkeit der bei einer Projektumsetzung tatsächlich forcierten Fördermöglichkeit bei einem der Verbände liegen.

Zusätzlich empfiehlt sich für den landwirtschaftlichen Bewässerungsverband der Aufbau eines erweiterten Dienstleistungsportfolios für Landwirte. Dieser sollte im engen Austausch mit den bereits bestehenden Angeboten der Landwirtschaftskammer erfolgen. Hervorzuheben sind an dieser Stelle die Empfehlungen der Universität Kassel bezüglich der Weiterentwicklung der gesamtheitlichen Beratungsleistung zu Bewässerung, Bodenbearbeitung, Kulturauswahl und Fördermöglichkeiten sowie der Bereitstellung von Bewässerungssoftware im Zusammenhang mit einem gemeinschaftlichen Sensornetz.

Eine besondere Herausforderung resultiert im Status Quo aus der fehlenden Erfassung von landwirtschaftlichen Grundwasserentnahmen aus eigenen Brunnen. Aktuell fehlen entweder die Wasserzähler oder deren Ablesung ist nicht ausreichend sichergestellt. Eine Einrichtung eines solchen Zählwesens würde sowohl zum Zwecke des Monitorings notwendig sein, als auch die Grundbedingung für eine verursachergerechte Bepreisung und Abrechnung sein. Gleichzeitig ergäben sich Entlastungen und Synergieeffekte insbesondere der unteren Wasserbehörde. Hinsichtlich des Zählerwesens ist relevante Expertise sowohl bei der RWW als auch bei anderen Bewässerungsverbänden vorhanden.

In der Essenz sollte sich das organisatorische Konstrukt möglichst zweier Wasser- und Bodenverbände mit einer klaren Teilung der identifizierten Kernaufgaben von Beginn an wie beschrieben aufstellen, während weitere Dienstleistungen und potentielle Nebentätigkeiten in einem kurz-, mittel- und langfristigen organischem Wachstum erfolgen können. Eine Aufnahme dieser weiteren Dienstleistungen darf gleichzeitig in keinem Fall als rein optional verstanden werden. Neben dem Kostenanreiz sollten zur Förderung wassereffizienter Nutzung auch digitale Lösungen zur nachhaltigeren Bewässerung Eingang in die landwirtschaftliche Bewässerungspraxis finden. Die weitere Ausarbeitung der verbandlichen Organisation sollte in jedem Fall durch juristische Beratung begleitet werden, um die Ausgestaltungen rechtssicher im Interesse der Beteiligten durchzuführen und den bestehenden WBV auf Grundlage der bestehenden Satzung weiterzuentwickeln.

Kosten und Finanzierung

Als Grundlage zur Modellierung eines statischen Finanzierungsmodells, wurden die anfallenden Kosten in drei Gruppen unterteilt: Entwicklungskosten, Investitions- und Kapitalkosten und Betriebskosten. Die Entwicklungs- und Investitionskosten wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie durch die LW kalkuliert. Die Kapital- und Betriebskosten wurden mit Konsortialpartnern und Experten aus verschiedenen Branchen aus Erfahrungs- und

Vergleichswerten ermittelt. Während die Kostenannahmen damit durch die verschiedenen Recherchen als belastbar anzunehmen sind, ist bspw. trotzdem das volatile Umfeld mit Blick etwa auf die Inflation zum Zeitpunkt von Vertragsschließungen in einer möglichen Umsetzungsphase, Herausforderungen in Lieferketten, Anpassungen von Zinssätzen u. ä. bei einer möglichen Projektrealisierung nach dem entsprechend aktuellen Stand zu bewerten.

Zur Finanzierung kommen grundsätzlich Projektfinanzierungen und/oder Kommunaldarlehen in Frage. Durch das, aus Großinvestoren-Sicht, relativ geringe Investitionsvolumen sowie den innovativen Charakter des Vorhabens und dem damit verbundenen Fehlen von ähnlichen Projekterfahrungen, die für private Geldgeber als Blaupause und Informationsquelle zur Risikoabwägung für den Kapitaleinsatz und die erwarteten Renditen genutzt werden können, gilt eine Projektfinanzierung als kaum umsetzbar. Insofern wäre grundsätzlich eine Finanzierung durch Kommunaldarlehen anzustreben, womit, bei einer Eigenkapitalquote von rd. 10 – 20 %, eine Fremdkapitalfinanzierung durch Banken tendenziell in Frage käme. Im Abgleich mit der Finanzierung von Anfangsinvestitionen anderer Bewässerungsverbände und potentieller öffentlicher Fördertöpfe der jüngeren Vergangenheit scheint eine staatliche Förderung des Projektvorhabens von größter Bedeutung. Der Anteil an einzubringendem Eigen- und Fremdkapital würde durch eine entsprechende Förderung zwar sinken. Im Sinne einer nachhaltigen Finanzierung sähen die Kalkulationen gleichwohl unverändert Abschreibungen in Höhe der Wiederbeschaffungswerte vor, um in der Zukunft auch für Ersatzinvestitionen gewappnet zu sein.

Die Kosten, die mit oder ohne eine Förderung des Vorhabens entstehen, sind so hoch, dass sie nicht alleine durch die aktuell bewässernden und auch nicht die perspektivisch bewässernden Landwirte zu tragen sein werden. Bei der Kostenaufteilung zwischen Grund- und Mengenpreis wurde u.a. der Kostendeckungsgrundsatz berücksichtigt, sodass die fixen und variablen Erlöse in einem Verhältnis von 70 % zu 30 % denen der Kostenstruktur entsprechen. Diese Deckungsgleichheit von Erlös- und Kostenfunktion ist deshalb so bedeutend, weil zwischen den Jahren die Wassernachfrage seitens der bewässernden Landwirte in Abhängigkeit der Witterungsverhältnisse variieren wird. Wären hier die Wasserpreise rein variabel ausgestaltet, würde der Wasserverband in einem „Nassjahr“ Mindererlöse, in einem „Trockenjahr“ Überschüsse erzielen.

Im Abgleich mit landwirtschaftlichen Referenzzahlen zu den Kosten einer Bereitstellung für Bewässerungswasser bleibt es gleichwohl dabei: Die potentiellen Kosten für die Inanspruchnahme von infiltriertem Grundwasser übersteigen für einen einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb selbst im günstigsten Szenario die branchenüblichen Referenzzahlen. Die im Fachbeitrag kalkulierten Zahlen beschreiben diese Kosten exklusive der auf dem Hof anfallenden Kosten für die Bewässerung. Dementsprechend ist es zu begrüßen, dass sich im Rahmen der Projektarbeit zeigte, dass die Projektpartner einer Umsetzung offen und konstruktiv gegenüberstehen. Das kann in Abhängigkeit des Partners eine technische, fachliche und/ oder finanzielle Lastenteilung bedeuten. Darüber hinaus ist eine Beteiligung noch nicht bewässernder Landwirte im Rahmen der Vorhalteleistung zu

diskutieren. Partizipieren die nutzenhabenden Sektoren von Beginn an der finanziellen Lastenteilung des Vorhabens, können sich auch die Beiträge von bewässernden Landwirten in leistbare Größenordnungen entwickeln. Einer Heranziehung von potentiellen Nutznießern durch positive externe Effekte sollte durch Dialog und Verhandlung erfolgen. Das Wasserrecht hält juristische Lösungsansätze bereit, wobei sich entsprechende Verfahren über lange Zeiträume erstrecken und weniger zielführend sein können.

Grundsätzlich führt eine statische Bepreisung von der Bereitstellung von Wasser für die Bewässerung zu Effizienzbestrebungen bei bewässernden Landwirten, da das Wasser, neben den schon bestehenden Energie-, Geräte- und Arbeitskosten, zunehmend zu einem ökonomischen Faktor in der Produktionsplanung von Landwirten wird. Gleichzeitig scheint diese Veränderung noch nicht dem Ausmaß an Veränderungsdruck durch Klimawandelfolgen gerecht zu werden. Es ist zu erwarten, dass in wirklichen Trockenjahren zwingend auf effizientest mögliche Wassernutzung zu achten ist, um die knappe Ressource Wasser möglichst vielen Landwirten zugänglich machen zu können. Insofern ist zwingend auch eine dynamische Tarifmodellierung anzudenken, die sich im ersten Schritt auf den Zeitpunkt der Wassergabe sowie der verwendeten Technik fokussiert. Verdunstungsverluste könnten so etwa verringert werden. Für die Bepreisung meldeten die Landwirte in Workshops zurück, dass positive Preissignale für effizientes Verhalten, also etwa Boni, negativen Signalen für ineffizientes Verhalten, also etwa steigenden Mengenpreisen, vorziehen würden. Während klassische Wasserzähler für statische Tarife eine ausreichende Grundvoraussetzung darstellen, müssten für innovative dynamische Tarifmodelle intelligente Wasserzähler mit einem erhöhten Funktionsumfang (also etwa zusätzlicher Sende-, bestmöglich einer Empfangsfunktion) verbaut werden. Die Umsetzung hin zu diesen Effizienzanreizen über Preismodelle sowie der erhöhten Transparenz von Grundwasserentnahmen, würden dem Projekt den tatsächlichen Leuchtturmcharakter verleihen, denn: Die Bewässerungsnotwendigkeit wird bei begrenzterem Rohwasservorkommen nicht nur im Hammbachgebiet zunehmen. In vielen Regionen in Deutschland wird sich zukünftig die Frage der Wasserallokation unter Nutzungskonkurrenz stellen. Eine Förderung wassereffizienten Verhaltens ganz wesentlich über dynamische Preise ist hier unverzichtbar.

1 Einleitung

Folgen des Klimawandels fordern ein Umdenken im Umgang mit der Ressource Wasser. Während Deutschland nach wie vor ein wasserreiches Land ist, führen Hitze- und Trockenperioden zu Veränderungen in der Nutzung von Wasser in allen Sektoren. Zu beobachten sind bspw. extreme Spitzenlasten in der Entnahme durch Privathaushalte, industrielle Herausforderungen beim Gütertransport und in der Kühlwasserversorgung sowie eine zunehmende Notwendigkeit von Bewässerung in der Landwirtschaft zur Pflanzenproduktion. Damit einhergehende Veränderungen in den mehrjährigen bilanziellen Wasserhaushalten in Grund- und Oberflächengewässern führen zu einem Bedarf neuer Überlegungen und kooperativer Ansätze in der Bewirtschaftung des Wasserdargebots sowie einem veränderten Entnahmemanagement.

In der Projektregion im Hammbachgebiet bestehen diese Herausforderungen insb. im Rahmen der gemeinsamen Bewirtschaftung des Grundwasserkörpers. Das Projekt und die Region zeichnen sich besonders durch ihre Akteure aus: Es besteht ein hochgradiges Interesse, sich den bereits anbahnenden und in Zukunft zunehmenden Herausforderungen der Klimawandelfolgen gemeinsam zu stellen. In Vorgängerprojekten wurde bereits die Ausgangslage bzgl. des Grundwasserleiters analysiert und mögliche Lösungsansätze sowie deren Auswirkungen diskutiert. Resultierend aus diesen Auswertungen suchen die Akteure der Region im Rahmen von KlimaBeHageN einen gemeinsamen Lösungsansatz im Rahmen einer komplexen technischen Infrastruktur, um ein langfristiges nachhaltiges Grundwassermanagement zu ermöglichen.

Die Hochschule Ruhr West (HRW) beheimatet in den Instituten Wirtschaftswissenschaft und Bauingenieurwesen den gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Wasserökonomik und Wasserwirtschaft“. Auf der Grundlage der Vorarbeiten der Landwirtschaftskammer (LWK), der Lippe Wassertechnik (LW) und der Universität Kassel (UK) sowie der Arbeit mit weiteren Akteuren, erarbeitet die HRW Vorschläge, um zu einer organisatorischen Ausgestaltung der geplanten Maßnahmen zur Stützung des Grundwasserhaushalts sowie Ansätzen zur finanziellen Lastenteilung zu kommen.

Forschungsfragen

- Wie kann eine Organisation zur Bewältigung der Aufgabe der Bewirtschaftung des Grundwasserhaushalts aufgestellt werden?
- Welche Fähigkeiten und welches Knowhow liegen in der Region bereits vor? Wie könnten sich bestehende Akteure und Wassernutzer in der technischen Lastenteilung einbringen?
- Wie sind die entstehenden Gesamtkosten strukturiert? Von welchen Gesamtkosten ist auszugehen?
- Wie kann die Finanzierung ausgestaltet werden? Wie können Akteure und bestehende Wassernutzer sich einbringen?

- Wie kann eine statische Entgeltmodellierung aussehen? Bestehen Möglichkeiten zu einer dynamischen Entgeltmodellierung? Welche Anreize wären zu setzen? Gibt es nutzbare Flexibilitätspotentiale im Dargebot und Nachfrage?
- Wie ist der Status Quo im Zählwesen der landwirtschaftlichen Wasserentnahme und welche Relevanz haben Wasserzähler bei einer Projektumsetzung?

2 Methodik

2.1 Grundsätzliches Vorgehen

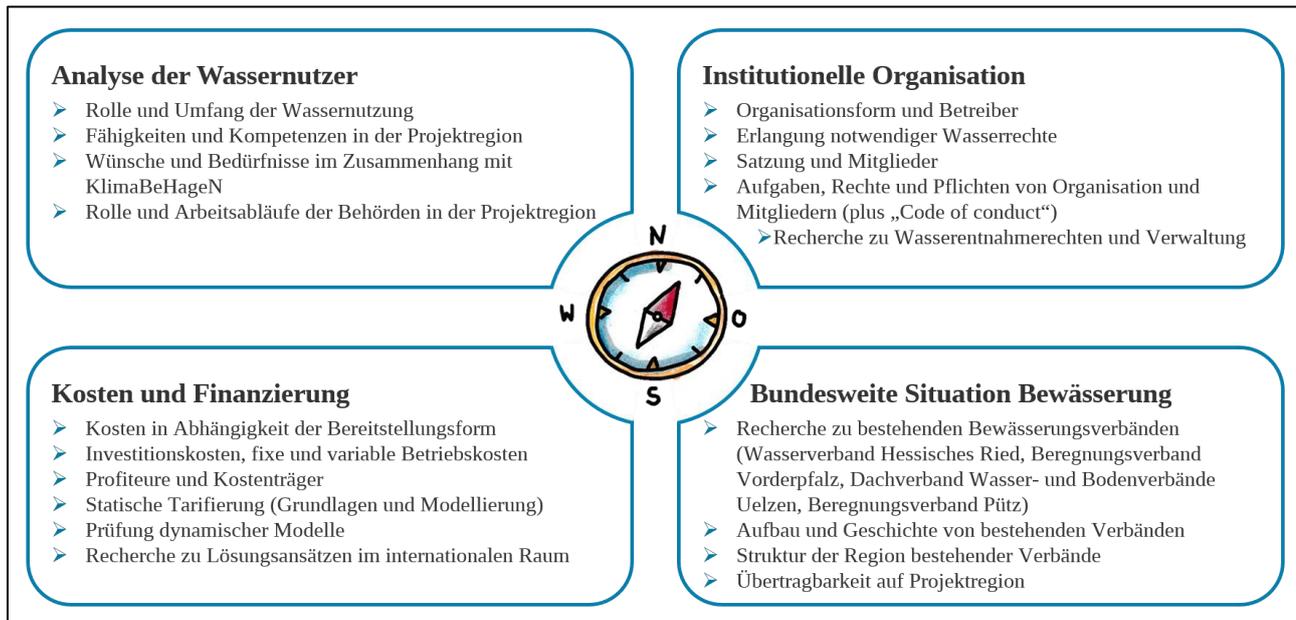
Zur grundlegenden Annäherung an die Fragestellung wurde mit Literaturrecherche gearbeitet. Dabei erfolgte ein Rückgriff auf fachspezifische Primärliteratur, Sammelbände und Zusammenfassungen von Fachtagungen sowie einschlägige Fachzeitschriften und Internetrecherche. Im Projektverlauf wurde der Austausch in verschiedenen Formaten mit zahlreichen Experten inner- und außerhalb der Projektregion genutzt. Pandemiebedingt fanden viele Gespräche online in Videokonferenzen statt. Die Expertengespräche in kleinen Runden wurden durch Protokolle aufgearbeitet, die die von den Experten ex post auf Richtigkeit überprüft wurden. Vereinzelt werden Organisationen nicht mit Klarnamen benannt, um vereinbarte Vertraulichkeit zu wahren. Gespräche wurden ein- oder mehrmalig mit folgenden Akteuren geführt. Die Benennung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge.

- Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater PartGmbH
- BEULCO GmbH & Co. KG bzw. iQ Water Solutions
- Bezirksregierung Münster
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen
- Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen – IOTAqua
- Landwirtschaftskammer NRW – Kreisstelle Coesfeld/ Recklinghausen
- Lippeverband
- Lippe Wassertechnik GmbH
- Mülheimer wasserwirtschaftliche Tagung (Vernetzung mit Experten)
- Modelllandwirte aus der Projektregion (fünf Betriebe)
- Planungs- und Umweltausschuss der Stadt Dorsten
- R +V Allgemeine Versicherung AG für die Strukturierung von Großprojekten u.a. im Bereich von Infrastrukturinvestments
- RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
- Universität Kassel Fachgebiet Agrartechnik des Fachbereichs Ökologische Agrarwissenschaften
- Untere Naturschutzbehörde – Kreis Recklinghausen
- Untere Wasserbehörde – Kreis Recklinghausen

- Wasser- und Bodenverband Rhader Bach / Wienbach
- Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der Vorderpfalz
- Wasserverband Hessisches Ried
- WLW - Westfälisch-Lippischer Landwirtschaftsverband e. V. – Kreisverband Recklinghausen

Die in der Einleitung eingeführten Forschungsfragen wurden entsprechend Abb. 1 in verschiedene Tätigkeitsfelder strukturiert. Die Strukturierung der Fragestellung in verschiedene Cluster stellte insb. ein gleiches Verständnis der Vorgehensweise der HRW durch Transparenz innerhalb des Projektkonsortiums sicher und ermöglichte eine effektive Gesprächsvorbereitung für den Austausch mit verschiedenen Experten. Außerdem wurde auf dieser Grundlage die Verzahnung mit den Arbeitspaketen anderer Projektpartner geplant.

Abb. 1: Tätigkeitsfelder HRW in KlimaBeHageN in Clustern



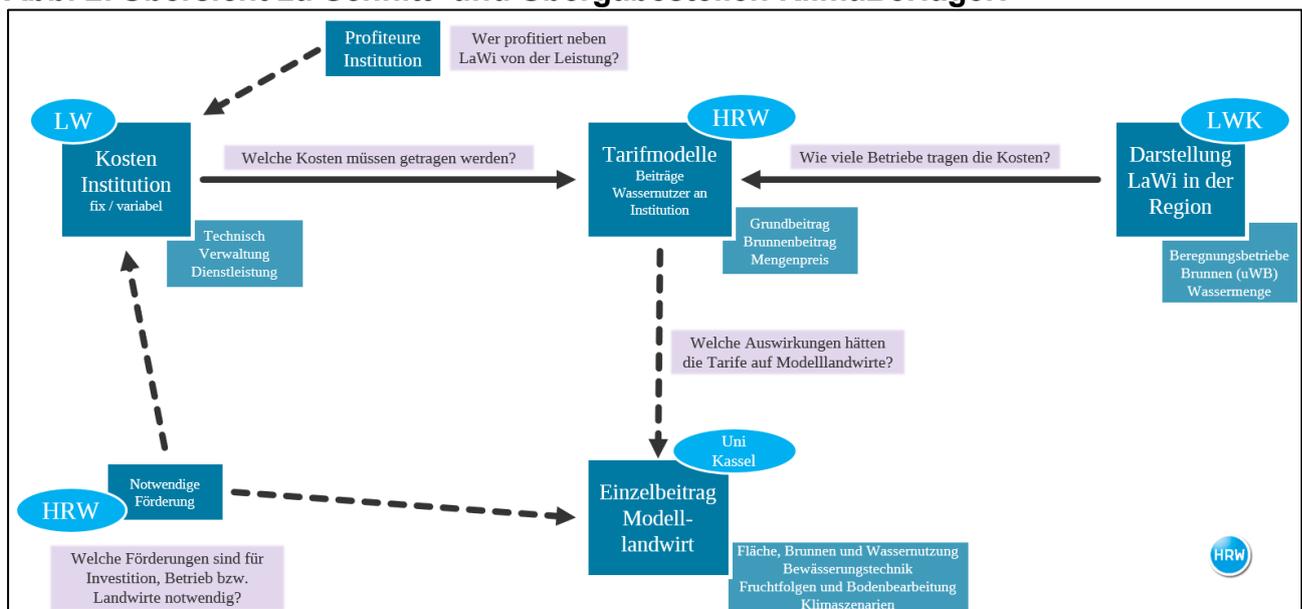
Quelle: Eigene Darstellung.

2.2 Verzahnung mit den Projektaktivitäten anderer Konsorten

Von besonderer Bedeutung war die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern im Rahmen des Projektkonsortiums. Um relevante Schnittstellen sowie thematische Überschneidungen frühzeitig abzustecken, wurden direkt zu Projektbeginn entsprechende Sondierungsgespräche mit einzelnen Partnern geführt, die zu dem in Abb. 2 dargestellten Entwurf zu Schnitt- und Übergabestellen im Projekt KlimaBeHageN führten. Dementsprechend folgte auf eine Abstimmung zu Projektbeginn folgendes Vorgehen im Bereich der finanziellen Fragestellungen: Die LW erarbeitet im Rahmen der Machbarkeitsstudie die Investitionskosten und unterstützt gemeinsam mit RWW, LV und externen Gesprächspartnern bei der näheren Definition und Abschätzung zu den Betriebskosten. Gemeinsam mit dem LV werden zusätzlich potentielle Fördermittel identifiziert. Resultierend aus dem Fachbeitrag der LWK und im fachlichen Austausch mit allen landwirtschaftlichen Vertretern werden

gleichzeitig Bewässerungsszenarien ermittelt, die einen Rückschluss auf eine Beteiligung an einem potentiellen Bewässerungsverband und entsprechende Bemessungsgrundlagen für die Finanzierung durch Entgeltmodelle zulassen. Bemessungsgrundlagen und relevante Anreize für dynamische Entgeltmodelle werden sowohl mit landwirtschaftlichen Vertretern aus der Region sowie der UK erarbeitet. Die UK erarbeitet darüber hinaus Betriebszahlen von möglichst fünf Modelllandwirten aus der Region, identifiziert durch die LWK, auf deren Grundlage überprüft und modelliert wird, welche finanzielle Belastung die Teilnahme an einem Bewässerungsverband in Abhängigkeit der gewählten Entgeltmodellierung bedeuten würde. Darüber hinaus wurden bei diesem Vorgehen auch organisatorische Fragestellungen erörtert, wobei hierzu keine gesonderte Übersicht erstellt wurde, sondern insb. das Workshop-Format im Konsortium und die begleitenden Expertengespräche genutzt wurde.

Abb. 2: Übersicht zu Schnitt- und Übergabestellen KlimaBeHagen



Quelle: Eigene Darstellung.

2.3 Expertenworkshops im Projekt-Konsortium

Im Sommer und im Spätjahr 2022 wurden durch die HRW zwei halbtägige Workshops in Präsenz organisiert, durchgeführt und ausgewertet. Die thematischen Schwerpunkte wurden zuvor mit den Projektpartnern definiert und die Ergebnisse nach einer ersten Aufbereitung nochmal diskutiert, sodass darauf aufgebaut werden konnte. Bei beiden Workshops nahmen Vertretende aller Konsortialpartner teil. Im ersten Workshop lag der Fokus auf der Erarbeitung und Diskussion von Kern- und Nebentätigkeiten, den bestehenden Aufgaben der Projektpartner im Projektgebiet und dem Status Quo der Ausarbeitung zur Organisationsstruktur. Daneben wurde ein erster Einblick in die Ausarbeitung zu Kosten und Finanzierung gegeben und eine erste Einordnung der resultierenden Belastung von Landwirten gegeben. Im zweiten Workshop wurde der Fokus auf Fragen der Finanzierung durch Landwirte, Förderung und andere Projektpartner in der Region verlagert. Zudem wurde der Raum genutzt, um eine tatsächliche Lastenteilung im Bereich der

Aufgaben bei einer potentiellen Projektumsetzung zu skizzieren und darüber hinaus eine gemeinsame Exkursion zum Wasserverband Hessisches Ried aus fachlicher Perspektive vorzubereiten.

Abb. 3: Workshop I zu Organisation und Finanzierung im Konsortium



Quelle: Sven Hery (2022).

3 Analyse der Wassernutzer

3.1 Bestandsaufnahme zur Situation um Wasserentnahmerechte

3.1.1 Grundlegende Betrachtung zur bundesweiten Situation

Die Entnahme von Grundwasser zur Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen unterliegt den §§ 8ff Wasserhaushaltsgesetz (WHG). Es bedarf sog. Wasserentnahmerechte (WER), wobei zwischen Erlaubnis und Bewilligung zur Wassernutzung unterschieden wird (s. Abb. 4). Bei der Erlaubnis wird die Befugnis und bei einer Bewilligung das Recht zu einer zweckgebundenen Gewässernutzung erteilt. Ein Recht kann von der zuständigen Behörde nur in sehr wenigen bestimmten Fällen entschädigungslos widerrufen werden, während eine Befugnis diesbezüglich einen deutlich geringeren Schutz gewährt.¹ Darüber hinaus regelt § 15 WHG die sog. gehobene Erlaubnis, die einen gesonderten Schutz vor zivilrechtlichen Abwehransprüchen bietet, sofern ein öffentliches oder ein berechtigtes Interesse des Gewässerbenutzers besteht. WER werden Antragsstellern, auch aus der LaWi, stets bezogen auf eine Entnahmestelle (bspw. Brunnen) erteilt und vernachlässigen dabei u.U. Wechselwirkungen zw. mehreren Entnahmen in einem Einzugsgebiet (bspw. Grundwasserleiter o. Flussabschnitt).²

Abb. 4: Differenzierung von Wasserentnahmerechten

Gestattungsarten	Erlaubnis	Gehobene Erlaubnis	Bewilligung
Rechtsgrundlage	§ 8 WHG	§ 15 WHG	§ 8, 14 WHG
Gemeinsame Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Gewässer nach § 2 WHG • Benutzung nach § 9 WHG • Keine schädlichen Gewässerveränderungen • Erfüllung sonstiger Anforderungen nach öffentlich-rechtlichen Vorschriften 		
	Bes. Voraussetzungen		
Rechtsfolgen	Bewirtschaftungsermessen (§ 12 Abs. 2 WHG) – kein Anspruch auf Erteilung		
Rechtswirkung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewährt die Befugnis, ein Gewässer zu einem bestimmten Zweck in einer nach Art und Maß bestimmten Weise zu benutzen ▪ Befristung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Führt zum Ausschluss privatrechtlicher Ansprüche, die auf Einstellung der Benutzung gerichtet sind, § 16 Abs. 1 Satz 1 WHG ▪ Befristung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recht zur Benutzung ▪ Widerruf ggf. nur gegen Entschädigung ▪ Befristung zwingend

Quelle: Becker Büttner Held (2022).

¹ Vgl. WEKA Fachverlag für Verwaltung und Industrie (2016).

² Vgl. Lux (2005), S. 7.

WER können teilweise bis zu 100 Jahre alt, unbefristet erteilt worden und bis heute nicht offiziell gemeldet sein.³ Insgesamt ist festzustellen, dass Verfahren zur Erteilung neuer WER u.a. wegen eines Anstiegs strenger gesetzlicher Regelungen sowie zunehmendem Bedarf an Zugang zu Wasser komplexer werden. Dadurch wird der Aufwand deutlich höher und die Konkurrenz zwischen Antragstellern aber auch bestehenden Nutzern, bspw. Druck durch Unterlassungsansprüche, temporäre Nutzungsbeschränkungen, steigt.⁴

Die Höhe der Wasserentnahmeentgelte (WEE) für die Entnahme von Grundwasser zur Trinkwasserversorgung variiert je nach Bundesland von 1,5 bis 31 Cent/m³. In Hessen, Thüringen und Bayern gibt es für keinen Sektor ein WEE, in Bremen sind entsprechende Regelungen aktuell aufgehoben (s. Abb. 5). Es variiert nicht nur die Höhe der WEE, sondern auch der Geltungsbereich für Grund- oder Oberflächenwasser sowie die Mittelverwendung der entstehenden Einnahmen.⁵ Vor allem gibt es in den Bundesländern unterschiedliche Regelungen zu Branchen, die von WEE befreit sind. Darunter können je nach Bundesland Industrie, Bergbau und Wasserkraft fallen. Außerdem gibt es in fünf Bundesländern Befreiungen für die LaWi, u.a. in Brandenburg und Nordrhein-Westfalen. In Schleswig-Holstein gibt es für die LaWi ein vermindertes WEE von 0,7 Cent/m³ während WVU 9 Cent/m³ zahlen müssen.⁶ Zusätzlich gibt es länderspezifische Regelungen zur Wasserentnahme zum Zwecke der Grundwasseranreicherung. Während in Niedersachsen und Rheinland-Pfalz an dieser Stelle, meist im Zusammenhang mit dem mengenmäßigen Schutz der Grundwasserressource explizite Befreiungen ausgesprochen sind, gilt dies bspw. für NRW nicht, sodass hier WEE von Behördenseite gefordert werden könnten (s. Abb. 5).

³ Vgl. Becker Büttner Held (2020).

⁴ Vgl. Becker Büttner Held (2022).

⁵ Vgl. Verband kommunaler Unternehmen (2020).

⁶ Vgl. Römer (2019), S. 7ff.

Abb. 5: Wasserentnahmeentgelte und Regelungen zur Grundwasseranreicherung

Land	Wasserentnahmeentgelt für Grundwasser [ct/m ³]				Bzgl. Grund - und Oberflächenwasser		
	öffentl. Wasserversorgung	Bewässerung nach		generelle Befreiung bis [m ³ /a]	nach	Befreiung für Grundwasseranreicherung	Zweckbindung nach
BW	10,0	befreit	§ 103 Nr. 7 WG	nein		nein	nein § 104 Abs. 4 WG
BY							
BE	31,0	31,0	§ 13a Abs. 2 BWG	6.000	§ 13a Abs. 2 BWG	nein	ja § 13a Abs. 1 BWG
BB	10,0	befreit	§ 40 Abs. 1 BbgWG	nein		nein	ja § 40 Abs. 5 BbgWG
HB	5,0	0,5	§ 2 Abs. 1 BremWEGG	4.000	§ 1 Abs. 2 Nr.1 BremWEGG	nein	ja § 9 Abs. 1 BremWEGG
HH	17,47 / 18,81	17,47 / 18,81	§ 1 Abs. 3 Nr.1,2 GruwaG	10.000	§ 1 Abs. 2 Nr 2 GruwaG	nein	nein
HE							
MV	10,0	befreit	§ 16 Abs. 2 Nr. 5 LWaG	nein		nein	ja § 18 Abs. 4 LWaG
NI	15,0	1,4	§ 22 Abs. 1 NWG	bis 260 €	§ 21 Abs. 5 NWG	§ 21 Abs. 2 Nr. 1 NWG	ja § 28 Abs. 3 NWG
NW	5,0	befreit	§ 1 Abs. 2 Nr. 10 WasEG NRW	3.000	§ 1 Abs. 2 Nr. 3 WasEG NRW	nein	Teilweise § 9 WasEG NRW
RP	6,0	befreit	§ 1 Abs. 2 Nr. 9 LWEntG	nein		§ 1 Abs. 2 Nr. 3 LWEntG RP	ja § 9 Abs. 1 ff. LWEntG
SL	9,0	0,7	§ 2 Abs. 2 GrdWasEntgG SL	nein		nein	ja § 8 GrdWasEntgG SL
SN	1,5	2,5	§ 91 Abs. 5 SächsWG	2.000	§ 91 Abs. 2 Nr. 7 SächsWG	nein	ja § 91 Abs. 2 SächsWG
ST	5,0	0,5	§ 3 Abs. 2 WasEE-VO LSA	bei erheblichen Mengen	§ 105 Abs. 1 WG LSA	§ 1 Abs. 3 Nr. 5 WasEE-VO LSA	nein
SH	12,0	3,0	§ 2 Abs. 2 LWAG	nein		nein	ja § 6 Abs. 1 ff. LWAG
TH							

Quelle: Entsprechend Gesetzgebung der Bundesländer (s. Tabelle), Stand: Januar 2022.

3.1.2 Ausgangslage in der Projektregion

Verteilung einzelner WER nach Nutzung

Im Rahmen der Untersuchungen des Vorläuferprojekts in der Projektregion wurde eine Übersicht der bestehenden WER erarbeitet, in der die Verteilung der WER nach Verwendungszweck aufgeschlüsselt wurde (s. Abb 6). Diese Darstellung gibt allerdings keinen Aufschluss über die Anzahl der Einzelentnahmerechte. Beschäftigt man sich bspw. mit der Landwirtschaft als Adressatenkreis für Effizienzmaßnahmen bei der Beregnung, ist es für die Ausgestaltung von Finanzierungsinstrumenten sowie Organisationsformen relevant zu wissen, wie viele Akteure mit welchen Einzelrechten adressiert werden müssen.

Abb. 6: Aufteilung der Wasserrechte nach Verwendungszweck im Modellgebiet

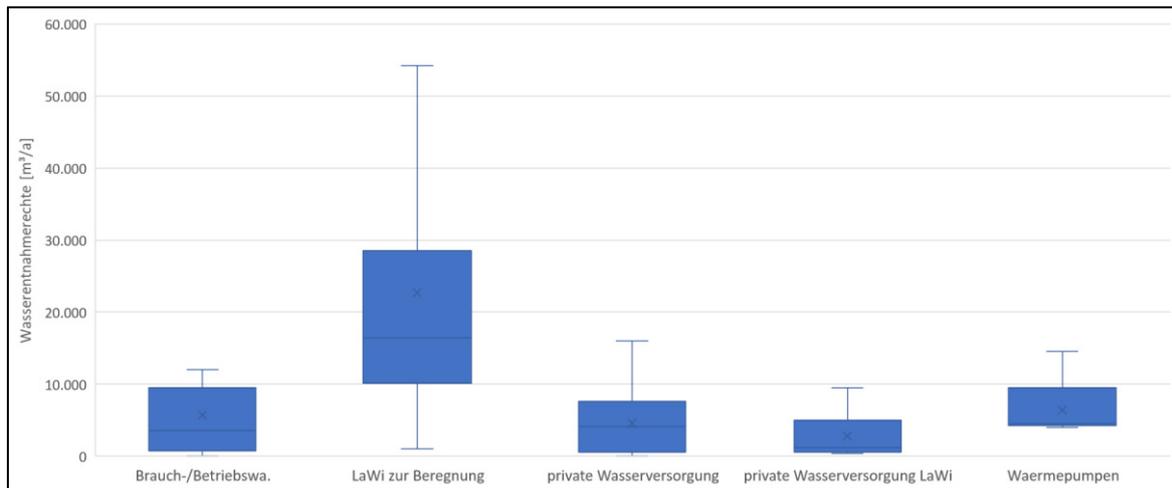
Gesamtsumme Wasserrechte	28.983.328 m³/a
Öffentliche Wasserversorgung	
- RWW	25.000.000 m³/a
- 2 weitere Rechte	9.800 m³/a
Grundwasserregulierung im Marienviertel	1.150.000 m³/a
Landwirtschaft	
- Beregnung	1.278.201 m³/a
- Betriebswasser	155.018 m³/a
Private Wasserversorgung	366.719 m³/a
Betriebliches Brauchwasser	246.550 m³/a
Speisung in Teiche	730.240 m³/a
Wärmepumpen	32.000 m³/a

Quelle: Meßer et al. (2019), S. 30.

Aus den im Konsortium zu Grunde liegenden Rohdaten konnte eine vertiefende Darstellung erarbeitet werden, die einen Rückschluss auf die Größenverteilung der einzelnen Rechte zulässt (s. Abb. 7). Diese Darstellung hilft bei der Wahl der entsprechenden (ökonomischen) Instrumente, da Transparenz über den Adressatenkreis geschaffen wird.

Die Trinkwassernutzung ist bspw. mit einem einzelnen Entnahmerecht über rd. 25. Mio. m³ jährlich⁷ beschrieben. Von Seite der Verwaltung ist hier eine bilaterale Ansprache sinnvoll. In Abgrenzung dazu bestehen rd. 250 weitere Einzelentnahmerechte, die unmittelbar von der unteren Wasserbehörde verantwortet werden und sich in ihrer Mengenmäßigkeit, wie in Abb. 7 zu sehen, unterscheiden. Bilaterale Lösungen zwischen der unteren Wasserbehörde zum mengenmäßigen Umgang mit der Grundwasserressource mit der Vielzahl der relativ kleinen WER-Inhaber scheinen nicht effizient zu sein.

⁷ Vgl. Meßer et al. (2019), S. 30.

Abb. 7: Wasserentnahmerechte nach Bereich

Quelle: Rohdaten aus Vorläuferprojekt (2019).⁸

Aktuelle Herausforderungen bei Vergabe und Verwaltung von WER

Für die Entnahme von Grundwasser in der Projektregion muss, entsprechend der in Kapitel 3.1.1 genannten Rahmenbedingungen, grundsätzlich ein WER (Erlaubnis, gehobene Erlaubnis oder Bewilligung) bei der unteren Wasserbehörde (UWB) Recklinghausen beantragt werden⁹. Das Antragsverfahren verläuft nach Aussage der UWB in mehreren Stufen. Diese beinhalten u.a. die Ermittlung und Darlegung des beantragten Wasserbedarfs sowie des nachhaltig vorhandenen Dargebots. Dabei wird insbesondere die Lage des geplanten Brunnens und die geplante Entnahmemenge mit der jährlichen Grundwasserneubildungsrate sowie angrenzenden Brunnen im Einzugsgebiet und dem ökologischen Wasserbedarf verschnitten. Diese Darlegung muss offiziell durch ein hydrogeologisches Gutachten gestützt werden, das Antragsteller in der Regel nicht selbst anfertigen können. Daher werden schon zu Beginn oder spätestens nach angelaufenem Prozess entsprechende Büros zur Anfertigung beauftragt. Daraufhin erfolgt die Einbindung der unteren Naturschutzbehörde (UNB) sowie dem geologischen Dienst. Im Falle der Antragstellung durch Landwirte wird die LWK zur Prüfung der Bedarfsermittlung herangezogen. In jüngerer Vergangenheit entsteht zunehmend Frustration bei antragstellenden Landwirten, da der aufwendige Genehmigungsprozess in den meisten Teilen der Region zumeist mit Ablehnung endet, während seit 2019 gleichzeitig ein zunehmendes Interesse von Landwirten an neuen WER festzustellen ist. Bei der Entscheidung kann und darf die Auswahl der zu bewässernden Kultur nach heutigem Stand kein Kriterium sein. So muss nach ökologischen und hydrogeologischen Grundsätzen entschieden werden. Ein kritisch zu bewertender Effekt ist die Vergabe nach dem sog. Windhundprinzip: Bereits

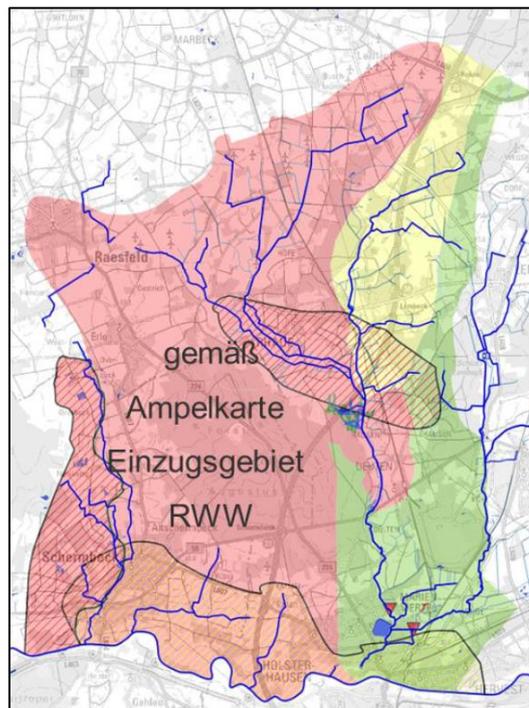
⁸ Datenaustausch im Projektkonsortium. Ausreißer sind einkalkuliert aber ausgeblendet, um Anonymität der Rechteinhaber zu wahren. Ebenso wird keine genaue Auswertung der Anzahl von Entnahmerechten dargestellt, um Vertraulichkeit zu wahren.

⁹ Größere Mengen sind bei der Bezirksregierung Münster zu beantragen.

erteilte WER können nicht auf Effizienz hin überprüft und umverteilt werden. Dadurch können neue Anträge zu potentiell effizienterer Bewässerung nicht kritisch im Verhältnis zu bestehenden WER abgewogen und evtl. genehmigt werden. Der Einstieg in eine notwendiger werdende Bewässerung ist somit kaum noch möglich, während bestehende WER nicht hinterfragt werden können.

Im Bereich des Genehmigungsprozesses sieht die UWB insbesondere bei der Betrachtung des Grundwasserkörpers Potential zur Weiterentwicklung: Während im Hammbachgebiet in der gängigen Praxis lediglich angrenzende bereits genehmigte Entnahmestellen berücksichtigt werden, gibt es bspw. in Niedersachsen die Systematik des sog. Mengenerlasses. Hier wird bei der Genehmigungsentscheidung zusätzlich der gesamte Grundwasserkörper betrachtet, sodass, unter Berücksichtigung der Erneuerungsraten, eine Aussage über den Einfluss weiterer Entnahmen auf den mengenmäßigen Gesamtzustand des Grundwasserkörpers möglich wird. Es handelt sich hier ausdrücklich um den Wunsch zu einer Ergänzung der bisherigen Praxis und nicht um eine Substitution der Betrachtung zwischen einzelnen Entnahmestellen. Ein erstes hilfreiches Instrument ist die durch das Vorgängerprojekt entstandene Ampelkarte über den Grundwasserkörper des Hammbach-Einzugsgebiets, die bereits bei der UWB Anwendung findet (s. Abb. 8). So sind neue Entnahmen westlich des Hammbachs im roten Gebiet kaum noch genehmigungsfähig.

Abb. 8: Ampelkarte für den mengenmäßigen Grundwasserzustand im Projektgebiet



Quelle: Meßer et al. (2019), S. 101.

Das Monitoring bestehender WER geht aktuell mit zusätzlichen Herausforderungen einher. Grundsätzlich ist die UWB nicht für die Erhebung von WEE zuständig, sondern das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Da landwirtschaftliche Wasserentnahmen in NRW von WEE befreit sind, besteht keine unmittelbare Notwendigkeit zur

jährlichen Erfassung und Meldung durch die UWB. Gleichzeitig wird die jährliche Mengenerfassung von der UWB als sehr wichtig verstanden, um die Umweltverträglichkeit sowie die Einhaltung der genehmigten Entnahmen zu beobachten. Die Erfassung der Entnahmen erfolgt bei den Landwirten in der Region in der Regel nicht über Wasserzähler, sondern wird durch Betriebsstundenzähler und entsprechende Leistungskurven der eingesetzten Pumpen ermittelt. Teilweise werden die Betriebsstunden aber auch händisch nachgehalten. In neueren Wasserrechtsbescheiden wird mittlerweile explizit die Messung durch einen Wasserzähler gefordert. Jährliche Kontrollen der Wasserentnahmen werden tatsächlich durch die UWB nur sporadisch durchgeführt. Im Normalfall ist der Grund für eine Kontrolle das Auslaufen des genehmigten WER und die entsprechende Prüfung einer Verlängerung, während selbst diese Kontrollen teilweise nur mit zeitlichem Verzug durchgeführt werden können. Weiterhin werden Kontrollen insb. bei großen WER oder bei Beschwerden durchgeführt. Ein Grund für Beschwerden aus der Bevölkerung gegenüber der UWB stellt üblicherweise eine Trommelbewässerung in der Mittagshitze dar. Es bleibt an dieser Stelle festzuhalten, dass Entnahmen aufgrund des Erhebungsaufwandes nicht ansatzweise jährlich an allen Entnahmestellen nachgehalten werden und selbst bei einer Kontrolle die Qualität der gemeldeten Daten aufgrund konkreter Wasserzähler fragwürdig ist. Dieser Bericht deckt sich mit den Erfahrungen der Universität Kassel in der Zusammenarbeit mit Modelllandwirten im Rahmen des Projekts KlimaBeHageN und wurden durch die LWK als übertragbar auf weitere Betriebe in der Projektregion eingestuft.¹⁰

Herausforderungen bestehen mit Blick auf Fragestellungen zu den Themen Organisation und Finanzierung zusammengefasst also insb. in den Bereichen:

- Genehmigungsfähigkeit neuer Entnahmerechte bei vorherrschendem Windhundprinzip und keiner Berücksichtigung der Bewässerungseffizienz im Vergabeprozess
- Mangelhaftes Zählwesen an Wasserentnahmestellen und entsprechende Intransparenz über tatsächliche Entnahmen (nicht ausreichende Datenqualität)
- Aktuell durch die UWB nicht abbildbares jährliches Monitoring aller Wasserentnahmen durch Landwirte in der Projektregion (kein umsetzbarer Weg der zentralen Datenerfassung)

¹⁰ Vgl. Vorwald (2022), S. 80f.

3.2 Beschreibung der Wassernutzer und Akteure in der Region

3.2.1 Lippeverband (LV)

Der Lippeverband (LV) nimmt als sondergesetzlicher Wasserwirtschaftsverband die ihm übertragenen staatlichen Aufgaben zur Bewirtschaftung der Lippe wahr. Zu diesen Aufgaben gehören u.a. die grundlegende Gewässerunterhaltung, Abwasseraufbereitung und Hochwasserschutz. In der Projektregion wird durch den LV darüber hinaus auch das Pumpwerk im Marienviertel zur Vermeidung von Vernässungsschäden durch Bergbauabsenkungsgebiete betrieben. Kommunen entlang der Lippe sind zur Inanspruchnahme dieser Dienstleistungen Kunden des LV, so zum Beispiel auch die Kommunen aus der Projektregion.¹¹

Zur Unterstützung bei technischen und hydrologischen Fragestellungen, ist die Lippe Wassertechnik (LW) als Tochtergesellschaft des LV in Form einer GmbH organisiert. Neben Knowhow zur Abwasseraufbereitung bestehen bei der LW umfangreiche Kompetenzen zu hydrogeologischen Fragestellungen und der Grundwassermodellierung. Entsprechend dieses Tätigkeitsprofils haben LV und LW Kompetenzen im Bereich der Planung, des Baus und des Betriebs wasserwirtschaftlicher Anlagen und gleichzeitig auch im Bereich des Grundwasser-Monitorings.

3.2.2 Rheinisch Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (RWW)

RWW ist eine GmbH mit Sitz in Mülheim an der Ruhr, die wassertechnische- und wirtschaftliche Aufgaben erfüllt.¹² Der Mehrheitsgesellschafter ist die Westenergie AG als Tochtergesellschaft der E.ON SE.¹³ Das Versorgungsgebiet der RWW umfasst im westlichen Ruhrgebiet u.a. die Städte Oberhausen und Mülheim, die Stadt Dorsten sowie im ländlichen Raum des Münsterlands u.a. die Gemeinden Reken und Schermbeck. Darüber hinaus werden im Bergischen Land Stadtwerke von RWW in der Funktion als Vorlieferant mit Wasser beliefert. Die Wasserbereitstellung umfasst sowohl Trinkwasser für Haushaltskunden wie auch Brauchwasser für Industriekunden. So wurde bisher das Wasser aus den Brunnengalerien zur Trinkwasserversorgung im und außerhalb des Hammacheinzugsgebiets und das Wasser aus dem Blauen See zur Versorgung von Industriekunden genutzt. Die besondere Stärke der RWW liegt in der Stärkung der Resilienz der Wasserversorgung durch ein flächendeckendes Wassernetz im gesamten Versorgungsgebiet, sodass bei lokalen Herausforderungen und Ausfällen auf Leistungen aus anderen Netzbereichen zurückgegriffen werden kann.¹⁴ Die RWW ist durch Konzessionsverträge, bspw. mit der Stadt Dorsten¹⁵ und der Gemeinde Reken¹⁶, im Projektgebiet zuständig für die Versorgung mit Wasser zum menschlichen Gebrauch i. S. d. Trinkwasserverordnung wie auch der Löschwasservorhaltung.

¹¹ Vgl. LV (o.J.).

¹² Vgl. RWW (2021).

¹³ Vgl. E.ON SE (2022).

¹⁴ Vgl. Stadt Dorsten (2018), S. 11ff.

¹⁵ Vgl. Stadt Dorsten (2018), S. 16.

¹⁶ Vgl. Gemeinde Reken (2018), S. 21.

Das Wasserentnahmerecht, das die RWW aktuell im Projektgebiet in Form einer Bewilligung hält, umfasst, nach einer Kürzung in der jüngeren Vergangenheit, an allen Entnahmestellen zusammen ca. 25. Mio. m³/a.¹⁷ Die Kosten der Trinkwasserversorgung rechnet RWW mit seinen Trinkwasserkunden mit einem sehr fortschrittlichen privatwirtschaftlichen Preismodell ab, das hohen Wert auf eine verursachergerechte und kostendeckende Erlösstruktur legt und gleichzeitig einen Ansatz bietet, die Vorhalteleistung angemessen zu bepreisen. Kern ist die Aufteilung in einen fixen und variablen Preisbestandteil. Der fixe Preis („Systempreis“) bemisst sich für Privathaushalte an der Gebäudegröße (bemessen an der Anzahl angeschlossener Wohneinheiten) und für Nicht-Haushaltskunden nach spezifischen Verbrauchsklassen. Der variable Preisbestandteil wird je abgenommener Wassermenge abgerechnet.¹⁸

Im Rahmen der Aufgaben der RWW liegen im Projektgebiet besondere Stärken und Kompetenzen vor: Es besteht umfangreiches technisches Knowhow in den Bereichen Wassergewinnung und Aufbereitung sowie der entsprechenden netzgebundenen Verteilung. Insbesondere in der Instandhaltung der Anlagen und dem langfristigen Substanzerhalt liegt hier jahrzehntelange Erfahrung vor. Gleichzeitig besteht ein eigenes Messnetz zum Monitoring von Grundwasserständen und der Qualitätsbestimmung bei Grundwasserentnahmen. Neben der Qualitätssicherung im Bereich der Wasserversorgung ist der Betrieb von Wasserzählern zur Erfassung von Entnahmemengen zur Jahresabrechnung und das damit einhergehende Zählermanagement von Relevanz. Darüber hinaus bestehen bei RWW erste vermarktungsfähige Lösungen für intelligente Wasserzähler mit dem sog. Wasserhelden.

Von maßgeblicher Bedeutung für das Projekt ist das von RWW betriebene Betriebswasserwerk am Blauen See, das dazu dienen kann, das zur Infiltration benötigte Wasser anzuheben und durch eine zu bauende Leitung zur Infiltrationsstelle zu befördern.¹⁹ In der Projektarbeit wurden zu diesem Thema Gespräche zu ökonomischen Fragestellungen rund um das Betriebswasserwerk zwischen HRW und RWW geführt, deren relevante Ergebnisse in den Kapiteln zu Kosten und Finanzierung diskutiert werden.

3.2.3 Landwirtschaft und Landwirtschaftskammer

Die Landwirtschaftskammer NRW (LWK) ist als Körperschaft des öffentlichen Rechts organisiert und hat die Aufgabe inne, die Interessen der Landwirte in Nordrhein-Westfalen zu vertreten und sie in ihrer beruflichen Tätigkeit zu unterstützen. In der Projektregion ist die Kreisstelle Coesfeld/Recklinghausen der zuständige Ansprechpartner. Zu den Unterstützungsangeboten der LWK gehören zahlreiche verschiedene Beratungsschwerpunkte zu Themen wie Pflanzenbau, Betriebs- und Bewässerungstechnik, betriebswirtschaftliche und förderrechtliche Fragestellungen u.v.m. Viele

¹⁷ Vgl. Meißer et al. (2023), S. 78.

¹⁸ Vgl. RWW (o.J.).

¹⁹ Vgl. Meißer et al. (2023), S. 28f.

der Beratungsangebote sind für Landwirte kostenpflichtig. Zusätzlich nimmt die LWK eine Kommunikationsfunktion der Landwirtschaft nach außen hin wahr und bietet eine besonders gut vernetzte Schnittstelle zu Einzellandwirten. In diesem Zusammenhang wurde im Rahmen des Projekts KlimaBeHageN eine Strukturhebung mit dem Fokus auf die Fragestellung der Bewässerung im Pflanzenbau durchgeführt. In diesem Rahmen stand uns die LWK insb. als Austauschpartner zur Definition von kulturabhängigen Bewässerungsszenarien zur Ermittlung von Bemessungsgrundlagen zur Tarifmodellierung zu Verfügung (vgl. Kapitel 6.3.1).

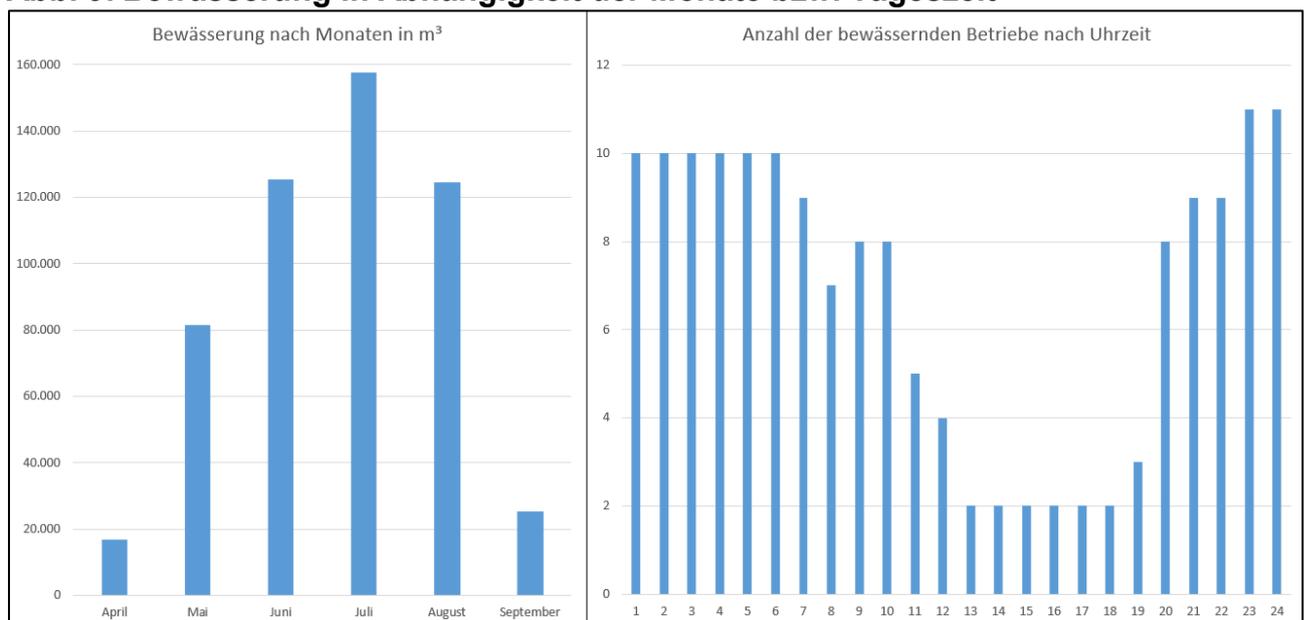
Im Rahmen der Befragung, bei der 165 Betriebe teilnahmen, ergab sich, dass knapp 50 % der bewässernden Betriebe ihre WER nach Möglichkeit erhöhen würden. Dabei werden die bestehenden WER von den Betrieben in Trockenjahren i. d. R. komplett genutzt. Darüber hinaus würden 20 Betriebe von den 165 Betrieben, die den Fragebogen zurückgeschickt haben, gerne neu in die Bewässerung einsteigen, sodass sich die Zahl der entnehmenden Landwirte von 29 auf 49 erhöhen würde und in Summe ein deutlich höherer Wasserbedarf entstehen würde. Viele der befragten Betriebe nutzen allerdings ein übliche und tendenziell mengenmäßig ineffiziente Bewässerungstechnik. Einerseits ist diese arbeits- und kostenintensiv, andererseits befindet sich die bestehende Technik noch in der Abschreibung. Für die Entnahmen von Grund- und Oberflächenwasser zum Zweck der Bewässerung entstehen den Landwirten keine Kosten gegenüber dem Land im Rahmen von WEE (vgl. Kapitel 3.1.1). Gleichwohl hat der Landwirt trotzdem variable Kosten durch die Bewässerung, bspw. durch Energie- und Arbeitszeitkosten. Diese variablen Kosten betragen bei mengenineffizienter Technik wie der Trommelberegnung allerdings nur rund 25 % der Kosten von effizienter Tropfbewässerung.²⁰ Mengenvariable Kosten für den Zugriff auf die Wasserressource könnten hier zu einem Angleich der variablen Bewässerungskosten führen. Im Austausch mit landwirtschaftlichen Projektpartnern wird allerdings deutlich: Nicht jede Bewässerungsart ist für jede Kultur geeignet. Insofern müssen Bewässerungstechnik, Kulturfolgen und Bodenbearbeitung ganzheitlich und unter Berücksichtigung von Rahmenbedingungen wie z.B. langfristig bestehenden Lieferverträgen mit Abnehmern gedacht werden. Somit wird deutlich, dass die betriebsspezifische Beratung bei Veränderungsprozessen hin zu wassereffizienterem Verhalten von Bedeutung sein wird. Nichtsdestotrotz wird durch die Dienstleistung der Infiltration durch einen Bewässerungsverband ein kostendeckendes Entgelt für die Entnahme von Wasser eingeführt werden müssen und damit wird auch ein Preissignal erfolgen.

Zur späteren Untersuchung dynamischer Entgelte ist auch die Abfrage von zeitlichem Bewässerungsverhalten und entsprechenden Flexibilitätspotentialen von Interesse gewesen. Die Rückmeldungen konnten aufgrund der ungleichmäßig nachgehaltenen Entnahmeerfassung (vgl. Kapitel 3.1.2) nicht unmittelbar verwertet werden, wiesen allerdings Tendenzen auf (vgl. Abb. 9). In der monatlichen Betrachtung nimmt die Bewässerungsmenge in der Region in Richtung Sommer

²⁰ Vgl. LWK (2021), S. 42.

deutlich zu und erreicht im Juli eine Spitze. In der stündlichen Betrachtung ist zu beobachten, dass wenige Betriebe tagsüber bewässern und es kann dazu nicht festgestellt werden, ob es sich bspw. um Tropfbewässerung im Folientunnel oder Trommelbewässerung auf dem Feld handelt. Die Tendenzen in Abb. 9 erwecken den Eindruck, als würden Landwirte ihre Bewässerungsanlagen zumeist abends in Betrieb nehmen und erst morgens wieder außer Betrieb nehmen. Da die Entnahme von Bewässerungswasser auch bei Aktivität eines Bewässerungsverbandes weiterhin durch eigene Entnahmestellen durchgeführt werden und nicht mit einem Leitungsnetz abgebildet werden soll, spielt die Gleichzeitigkeit der Entnahmen an dieser Stelle keine übergeordnete Rolle. Es kann bspw. nicht zu Druckproblemen im Netz und einem damit einhergehenden Ausfall von Bewässerungstechnik kommen.

Abb. 9: Bewässerung in Abhängigkeit der Monate bzw. Tageszeit



Quelle: Eigene Darstellung nach Rohdaten Fachbeitrag LWK NRW (2021).

3.2.4 Wasser- und Bodenverband Rhader Bach/ Wienbach

Der Wasser- und Bodenverband (WBV) Rhader Bach/ Wienbach ist ein WBV nach dem Gesetz über Wasser- und Bodenverbände (Wasserverbandsgesetz) (WVG) und somit durch eine Satzung konstituiert. Seine Kernaufgabe ist die Unterhaltung der Gewässer im Projektgebiet nördlich der Lippe, die Förderung der Zusammenarbeit zw. Landwirtschaft und anderen wasserwirtschaftlichen Akteuren sowie das Management von Anlagen zur Be- und Entwässerung von Grundstücken. Zu den Aufgaben gehört gem. Satzung aktuell nicht die nach §2 Nr. 8 und 11 WVG mögliche Bewirtschaftung des Grundwassers bzw. die Beschaffung und Bereitstellung von Wasser. Zur Erfüllung seiner Aufgaben arbeitet der WBV Rhader Bach/Wienbach u.a. eng mit dem Westfälisch-Lippischen Landwirtschaftsverband e. V. – Kreisverband Recklinghausen (WLV) zusammen. Mitglieder im Verband sind grundsätzlich Flächeneigner im Verbandsgebiet, die satzungsgemäß nach Erschwerern, Gewässeranliegern und Kommunen aufgeteilt und in einer Mitgliederliste

festgehalten sind. Die Verbandsarbeit wird satzungsgemäß von einer ehrenamtlichen Gremienstruktur organisiert, begleitet und beaufsichtigt. Dazu finden entsprechende Sitzungen aber auch Gewässerbegehungen statt. In den Gremien wie auch dem Vorstand sind insb. Landwirte engagiert. Zur hauptamtlichen Bewältigung der Aufgaben beschäftigt der WBV Rhader Bach/ Wienbach eine hauptamtliche Geschäftsführerin. Die Finanzierung erfolgt durch Verbandsbeiträge die satzungsgemäß in Abhängigkeit der Gruppenzugehörigkeit eines Mitglieds unterschiedlich bemessen werden.²¹ Zusätzlich können gem. §28 Nr.3 WVG auch Nutznießer von Verbandsleistungen zu Beiträgen herangezogen werden: „Wer, ohne Verbandsmitglied zu sein, als Eigentümer eines Grundstücks oder einer Anlage, als Inhaber von Bergwerkseigentum oder als Unterhaltungspflichtiger von Gewässern von dem Unternehmen des Verbands einen Vorteil hat (Nutznießer), kann mit Zustimmung der Aufsichtsbehörde wie ein Mitglied zu Geldbeiträgen herangezogen werden. Der Nutznießer ist vorher anzuhören.“ Dieses Heranziehen zu Beiträgen geht allerdings zumeist mit mehrjährigen juristischen Auseinandersetzungen einher, sodass eine gütliche Lösung in Kooperation mit den betroffenen Akteuren anzustreben ist.²² Der WBV Rhader Bach/ Wienbach zeichnet sich in der Projektregion einzigartig dadurch aus, dass er viele Kerntätigkeiten eines Bewässerungsverbandes in seiner Satzung trägt bzw. durch die Regelungen des §2 WVG entsprechend in seine Satzung aufnehmen kann. Gleichzeitig besteht sowohl durch Satzung als auch gelebte Zusammenarbeit eine starke Nähe zu betroffenen Landwirten, die bereits bewässern oder die Option, in die Bewässerung einzusteigen, in Betracht ziehen würden. Darüber hinaus bestehen bereits kooperative Ansätze mit weiteren Akteuren in der Region. So gehört bspw. auch die Abstimmung mit Behörden bei Arbeitsprozessen schon heute in das Tätigkeitsportfolio.

3.2.5 Untere Wasserbehörde

Die UWB Recklinghausen ist unter anderem für Antragsverfahren von WER in der Projektregion und die Überwachung der Entnahmen gem. der WER zuständig. Die Beschreibung der Aufgaben und Herausforderungen der UWB befinden sich mit den relevanten Schwerpunkten im Kapitel 3.1.2 unter der Zwischenüberschrift „Aktuelle Herausforderungen bei Vergabe und Verwaltung von WER“.

3.2.6 Untere Naturschutzbehörde

Zu den Aufgaben der UNB Kreis Recklinghausen gehört es, den Naturschutz im Projektgebiet zu koordinieren und umzusetzen. Das beinhaltet die Überwachung des Schutzes von gefährdeten Arten und Biotopen, die Durchführung von Schutzmaßnahmen, die Beratung von Landwirten und anderen Grundeigentümern sowie die Durchführung von Kontrollen und Strafverfolgung im Falle von Verstößen gegen Naturschutzgesetze. Dabei wird eng mit anderen Behörden und Organisationen, wie der UWB, zusammengearbeitet. Die Eindrücke der UNB spielen insofern spätestens bei der Planung einer konkreten Projektumsetzung eine besondere Rolle. Gerade aus Sicht der

²¹ Vgl. WBV Rhader Bach/ Wienbach (2019), S. 3 ff.

²² Vgl. Brandt/ Pencereci/ Rapsch (2020), S. 104f.

Landschaftsplanung wird bei Themen wie Trassenbau, Durchquerung von Schutzgebieten und Ausgleichsleistung für Trassen und Infiltrationsstandorte eine enge Einbindung nötig. Der ökologische Nutzen des Projekts wäre den durch das Projekt entstehenden ökologischen Herausforderungen gegenüberzustellen und gemeinschaftlich abzuwägen. Sollte es zu einer aktiven Grundwasserbewirtschaftung kommen, wäre die UNB bei der Aufstellung der Rahmenbedingungen in einem Grundwasserbewirtschaftungsplan einzubinden.

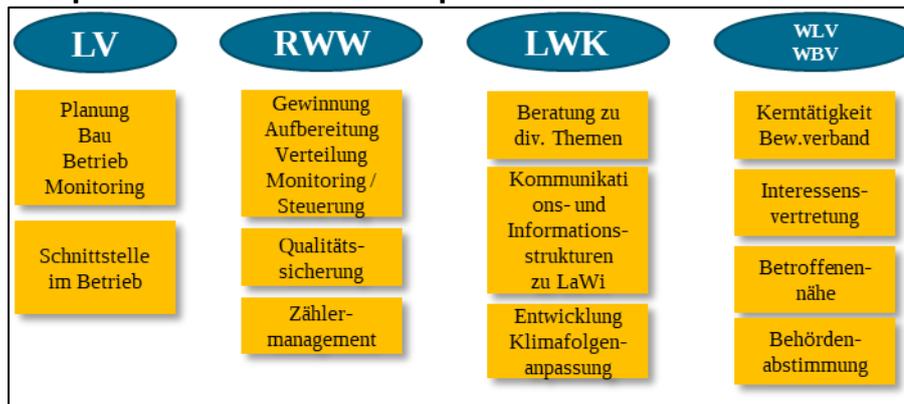
3.2.7 Bergbauabsenkung in Dorsten

In Dorsten kam es durch Einwirkungen des Bergbaus zu Geländeabsenkungen, die eine Vergrößerung der Flurabstände erzeugen und Regulierung notwendig machen. Dazu werden insb. die Pumpwerke Hammbach und Marienviertel durch den LV betrieben. Inwieweit es zu Verringerungen der notwendigen Pumpleistungen durch zukünftige Maßnahmen und entsprechenden Kosteneinsparungen kommt, kann zum jetzigen Stand aus hydrologischer Sicht noch nicht beziffert werden. Entsprechende positive Kosteneffekte könnten ggfls. als Beiträge in den Bewässerungsverband eingebracht werden. Die Effekte sind allerdings während der Projektlaufzeit von KlimaBeHageN nicht sicher nachzuweisen und die Kostenersparnis ist nicht kalkulierbar. Damit finden diese Annahmen keinen Eingang in die folgenden Kalkulationen. Bei einer Projektumsetzung sollte gleichwohl frühzeitig ein kooperativer Ansatz angestrebt werden, um eine Heranziehung von Nutznießern gem. WVG mit den unsicheren langjährigen juristischen Folgen zu umgehen (vgl. Kap. 3.2.4).

3.2.8 Überblick über die Kompetenzen der Projektpartner

Zusammengefasst lässt sich der Eindruck gewinnen (vgl. Abb. 10), dass die Projektpartner bereits umfassende Fähigkeiten und Knowhow haben, die in Summe bei der Errichtung und Umsetzung eines Bewässerungsverbandes relevant sind. Im folgenden Kapitel 4 wird, nach einer Betrachtung von anderen in Deutschland tätigen Bewässerungsverbänden, eine Organisationskizze für den Aufbau in der Projektregion unter Berücksichtigung der bestehenden Akteure vor Ort entworfen.

Abb. 10: Kompetenzen der Konsortialpartner



Quelle: Eigene Darstellung.

4 Organisation

4.1 Begriffsabgrenzung Organisation und Institution

Die Begriffe Organisation und Institution werden im Rahmen der sog. neuen Institutionenökonomik durch Definition differenziert und können nicht synonym verwendet werden. Daher erfolgt zu Beginn dieses Kapitels eine Abgrenzung. Eine Institution ist eine geregelte Kooperation zwischen Menschen, die „vereinbart“ wurde, um Handlungen, Routinen und Interaktionen zu habitualisieren. Dies hat den Grund, dass dadurch weniger Aufwand für diese Aktionen betrieben werden muss und nicht ständig neu definiert wird, wie das vom Menschen erwartete Verhalten in einer bestimmten Situation ist. Eine Institution zeichnet sich besonders dadurch aus, dass die Kooperation sich natürlich aus Geschichte und Tradition entwickelt hat. Somit sind darunter sowohl formelle als auch informelle Regel- und Vertragsgefüge zu verstehen, die sich wiederum auch in Organisationen wiederfinden. Eine Organisation ist zwar auch eine geregelte Kooperation zwischen Menschen, aber entsteht aus einem bestimmten Zweck und entwickelt sich i.d.R. nicht natürlich, sondern wird eher konstruiert. Anders als eine Institution entwickelt sich eine Organisation aus rationalem Denken, also sachlicher Planung und Gliederung, um bestimmte Zwecke und Ziele zu verfolgen. Insofern lassen sich unter einer Organisation Unternehmungen auch in Form von Körperschaften verstehen und dementsprechend ist im Folgenden von der Erörterung einer möglichen Form der Organisation und nicht einer Institution zu sprechen.²³

4.2 Bewässerungs- und Beregnungsverbände in Deutschland

4.2.1 Allgemeine Zielsetzung und Idee von Bewässerungsverbänden

Die gemeinsame Durchführung von Maßnahmen in einer spezifischen Organisation, um Bewässerung für die Landwirtschaft zu ermöglichen, ist kein neues Anliegen in Deutschland. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden in Deutschland für die Landwirtschaft in Folge von Trockenjahren zunehmend Bewässerungsverbände gegründet. Die zentrale Idee hinter diesen Zusammenschlüssen ist die effiziente und sichere Verteilung der knappen Wasserressource an Landwirte in der Region der jeweiligen Bewässerungsverbände, um die Beregnung von Nutzpflanzen allgemein zugänglich zu gewährleisten.²⁴ Bewässerungsverbände organisieren sich in verschiedenen Rechtsformen, Strukturen und Größen und verfolgen verschiedene Tätigkeiten und Zielsetzungen. Neu allerdings ist der Druck hin zu Anpassungen als Antwort auf Klimawandelfolgen, sodass vielerorts ein Neuaufbau solcher Bewässerungsverbände diskutiert wird. Um bei diesen Anstrengungen nicht jede Frage von Neuem beantworten zu müssen, werden bestehende Bewässerungsverbände strukturiert durch Literaturrecherche und Expertengespräche untersucht.

²³ Vgl. Erlei / Leschke / Sauerland (2016), S.20ff.

²⁴ Vgl. Wasser-, Boden- und Landschaftspflegeverband Hessen (2015).

Einige Bewässerungsverbände verwalten hauptsächlich die Wasserrechte für Landwirte in der Region und sorgen so für eine bürokratische Entlastung bei den ortsansässigen Behörden, die andernfalls eine signifikant größere Anzahl an Einzelwasserrechten zu bearbeiten hätten. Andere Bewässerungsverbände organisieren zusätzlich Bau und Unterhaltung der im Verbandsgebiet verteilten Brunnen bis hin zur Verteilung über ein eigenes Rohrnetz.²⁵

4.2.2 Vorgehensweisen von Beispiel-Bewässerungsverbänden

Im Folgenden werden fünf bestehende Bewässerungsverbände in Deutschland nach verschiedenen Merkmalen ausgewählt und bezüglich verschiedener Charakteristika beschrieben. So können im Abgleich der Modellregion mit Strukturmerkmalen der Beispielregionen als bewährt erwiesene Vorgehensweisen abgeleitet und übernommen werden. Die beschriebenen Charakteristika wurden wie folgt gewählt: Der Verlauf der **Gründung** des Verbandes soll Ableitungen dazu ermöglichen, inwiefern Verwaltung und Infrastruktur historisch gewachsen oder erst kürzlich gegründet wurden. Um die Erfahrungen aus den Beispielregionen mit der Modellregion wie auch anderen Regionen Deutschlands vergleichen zu können, werden die **Struktur und die Besonderheiten** der jeweiligen Region genauer beschrieben. Im Bereich **Organisation und Verwaltung** werden die rechtliche Organisationsform sowie die interne Verteilung bzw. Verwaltung von Aufgaben näher beschrieben. Gerade das Gefüge der Aufgabenteilung zw. den verschiedenen regionalen Stakeholdern soll hier aufgezeigt werden. Die **technische Organisation** beschäftigt sich mit der Herkunft der Ressource Wasser, sowie der Anschaffung und dem Betrieb der notwendigen technischen Infrastrukturen. Hier wird unter anderem die Aufgabenteilung im technischen Bereich näher betrachtet wie auch Besonderheiten wie z.B. der Umgang mit Trinkwasserschutzgebieten. Zuletzt stellt sich die Frage nach der **Finanzierung** der Verbände zur Deckung der entstehenden Kosten und die Verteilungsmechanismen auf die einzelnen Stakeholder. Zusätzlich wird hier hinterfragt, ob es gezielte **ökonomische Anreize** zum effizienten Umgang mit der knappen Wasserressource gibt.

Entsprechend dieser Charakteristika wurden folgende Bewässerungsverbände näher beschrieben:

- Der seit 1979 gewachsene **Beregnungswasserverband Hessisches Ried** (WHR-Beregnung), der seinen Mitgliedern Beregnungswasser in leitungsgebundener Form sowie durch Grundwasserentnahme zur Verfügung stellt. Das Wasser wird aus dem Rhein entnommen und aufbereitet, um dann direkt geliefert oder in den Grundwasserleiter infiltriert zu werden.²⁶
- Der **Beregnungsverband Vorderpfalz** ist ebenfalls über mehrere Jahrzehnte gewachsen. Er wurde im Jahr 1965 gegründet und stellt Beregnungswasser aus einem Altrheinarm per Leitungsnetz mit zwischengeschalteten Speichern zur Verfügung. Schon im Gründungsjahr

²⁵ Vgl. Wasser-, Boden- und Landschaftspflegeverband Hessen (2015)

²⁶ Vgl. Wasserverband Hessisches Ried (2019), S. 10ff.

wurde für den Verband das Prinzip der bäuerlichen Selbstverwaltung beschlossen, welches bis zum heutigen Tag Bestand hat.²⁷

- Der **Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen** erfüllt die Aufgaben für 65 Einzelmitgliedsverbände.²⁸ Darunter befinden sich 45 landwirtschaftliche Beregnungsverbände. Zur Bewässerung wird nicht nur Grundwasser, sondern auch Kanalwasser aus dem Elbe-Seitenkanal verwendet.²⁹

Der **Beregnungsverband Pütz** (Region Bedburg, NRW) unterscheidet sich dahingehend von den anderen gewählten Beispiel-Beregnungsverbänden, dass er sich noch in der Entstehungsphase befindet. Im Jahr 2020 wurde der Verband als Reaktion auf die durch den Klimawandel verursachte Dürre gegründet. Die Organisation umfasst heutzutage 16 Mitglieder, die eine Bohrung von sechs Grundwasserbrunnen anstreben, um Wasser zur landwirtschaftlichen Beregnung entnehmen und nutzen zu können.³⁰ Während er aufgrund seiner Neugründung und der dadurch relativ gesehenen dürftigen Datengrundlage nicht weiter durch Literaturrecherche beschrieben wird, liegen allerdings Kenntnisse zur Förderung des Vorhabens durch das Land NRW mit öffentlichen Mitteln vor: Ein Leitungsnetz mit 20 km Länge und sechs Tiefbrunnen werden bei einem Gesamtinvestitionsvolumen von 8 Mio. € mit 5,6 Mio. € gefördert. Die zu bewässernde Fläche beträgt 2.500 ha und die Bewässerungsmenge wird auf 1,5 Mio. m³ Zusatzwasser jährlich geschätzt.³¹

²⁷ Vgl. Beregnungsverband Vorderpfalz (o.J. a).

²⁸ Vgl. Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (2018), S. 1.

²⁹ Vgl. Kreisverband der Wasser und Bodenverbände Uelzen (o.J.).

³⁰ Vgl. Kerpener Umland-Spiegel (2021).

³¹ Vgl. Land NRW (2021).

Beregnungswasserverband Hessisches Ried (WHR-Beregnung)³²	Beregnungswasserverband Hessisches Ried 
Bewässerte Fläche: 5.400 ha Bewässerungsmenge: 5,8 Mio. m ³ /a (in 2020) (leitungsgeliefert) Vorstandsvorsitzender: Hr. Fischer (Landwirt)	Gründung 1979 Wasserverband Hessisches Ried mit Brauchwassernetz. 2015 Gründung des WHR-Beregnung.
Organisation und Verwaltung Der WHR-Beregnung ist ein WBV und Mitglied im Wasserverband Hessisches Ried (WHR). Andere Mitglieder sind anliegende Kommunen sowie die Trinkwasserversorger Hessenwasser und ein Wasserbeschaffungsverband. Der WHR selbst ist Mitglied im WHR-Beregnung. Angelehnt an § 4 WVG können insb. Grundstückseigentümer oder -pächter zum Zweck der Bewässerung auf Antrag Mitglied werden. Die Struktur wird in einer Satzung beschrieben und die Aufgaben werden von der Versammlung und dem Vorstand verwaltet. Die WER liegen größtenteils beim WHR-Beregnung, nicht bei den Landwirten selbst.	Struktur und Besonderheiten der Region Das hessische Ried wird durch den Rhein, den Main und den Odenwald begrenzt. Sehr großer Porengrundwasserleiter, überwiegend aus Sand und Kiesen bestehend. Trinkwasser wird in die Metropolregionen Rhein-Main und Rhein-Neckar geliefert. Grundwasserstand im Ried soll zum Schutz vor Vernässung nicht zu hoch steigen, gleichzeitig darf der Flurabstand zum Schutz von Wäldern nicht zu groß sein. Intensive Landwirtschaft durch großflächige Entwässerung seit 1929 durch sog. „Generalkulturplan“ gewährleistet. Insb. Anbau von anspruchsvollen Sonderkulturen und Gemüse.
Technische Organisation Die zur Bewässerung benötigten Wassermengen werden durch den WHR-Beregnung vom WHR beschafft und an die Mitglieder geliefert. Der WHR bewirtschaftet den Grundwasserleiter mit einer Infiltration von aufwendig aufbereitetem Wasser aus dem Rhein in Trinkwasserschutzgebieten. Das Brauchwasser wird von der Aufbereitungsanlage am Rhein über 30 km zu vier Infiltrationsanlagen gepumpt. Der Bereich des angestrebten Grundwasserstands mit Min- und Max-Pegel wird im Grundwasserbewirtschaftungsplan Hessisches Ried definiert und das Monitoring findet an rund 850 Grundwassermessstellen statt. Die Messungen finden monatlich statt. Ein Teil des Wassers wird von den Landwirten durch Brunnen aus dem Grundwasser entnommen, während es von der Rheinwasser-Aufbereitungsanlage hauptsächlich eine leitungsgelieferte Direktlieferung über ein Netz von 290 km Länge gibt. Die Entnahme findet mit Standrohren statt.	
Finanzierung und ökonomische Anreize Der WHR-Beregnung hat Tiefbrunnen und Beregnungsnetz vom WHR gepachtet. Zur Deckung fixer Kosten, die durch handelsrechtliche Abschreibungen und Zinsen auf Rohrnetz, Druckerhöhungsanlagen und Tiefbrunnen entstehen, wird ein Grundbeitrag je Standrohr von den Mitgliedern erhoben. Je Standrohr fällt zusätzlich ein Beitrag für Anschaffung und Betriebskosten des Standrohrs an. Der im Zeitverlauf nicht veränderliche variable Preisbestandteil je m ³ Wasser berechnet sich aus den Restkosten des Verbandes, also nach Gesamtkosten abzüglich Grundbeitrag, Standrohrgebühr und Einnahmen von Nutznießern von Nebengeschäften. Die abgenommenen Wassermengen werden jährlich durch den Wasserzähler am jeweiligen Standrohr erfasst. Die Investitionskosten für die Infrastruktur wurden über die Jahrzehnte hinweg von den verschiedenen Stakeholdern sowie durch verschiedene Förderungen bspw. von Bund und Land getragen.	

³² Vgl. Manger (2018), WHR (2019), WHR-Beregnung (2020), Zinkernagel et al. (2017).



Wasser- und Bodenverband zur Beregnung der Vorderpfalz³³

Bewässerte Fläche: 13.500 ha, geplant sind bis zu 22.000 ha
 Bewässerungsmenge: bis zu 16,8 Mio. m³/a
 Vorstandsvorsteher: Hr. Renner (Landwirt)

Gründung

1962 Generalplan für die Beregnung der Nördlichen Vorderpfalz
 1965 Gründung und 1970 Baubeginn

Organisation und Verwaltung

Der Beregnungsverband Vorderpfalz ist ein WBV. Zu Gründungszeit wurde bereits beschlossen, dass der Verband nach dem Prinzip einer „bäuerlichen Selbstverwaltung“ organisiert werden soll. Entsprechend wird der Verband nach einer Satzung mit entsprechenden Gremien durch lokale Akteure aus der Landwirtschaft geführt. Neben bewässernden Landwirten sind die vier kommunalen Gebietskörperschaften in der Region gemäß Satzung Mitglied im Verband. Mitgliedschaft kann für vorteilhabende Flächeneigentümer im Verbandsgebiet herbeigeführt werden.

Struktur und Besonderheiten der Region

Die Vorderpfalz ist ein Teil der oberrheinischen Tiefebene und befindet sich zwischen dem Pfälzer Wald und dem Rhein. In der Vorderpfalz wird intensiv Gemüse- und Obstbau betrieben. Durch ein sehr mediterranes Klima kann vier Wochen früher und auch länger geerntet werden als in anderen Regionen Deutschlands. Durch eine Erzeugergemeinschaft werden 90 % des Gemüses der Region quasi direkt vertrieben, wobei Logistik und Vertrieb effizienter gestaltet werden können. Die Landwirtschaft findet überwiegend auf Sand- und Kiesböden statt. Die Weinbaugebiete der Vorderpfalz befinden sich überwiegend außerhalb des Einzugsgebiets des Beregnungsverbandes.

Technische Organisation

Die Entnahme des Wassers erfolgt südlich in einem Altrheinarm. Das Wasser wird leitungsgebunden über ein weitreichendes Bewässerungsnetz, bestehend aus Leitungen und Druckerhöhungsanlagen, verteilt. Druckverlust im Netz kann durch einen Notfallplan vermieden werden, in dem festgelegt wird, in welchem Gebiet zu welcher Zeit bewässert werden darf (relevant in Hitzeperiode oder bei Frostschutzberegnung).

Der Anschluss erfolgt über verliehene Standrohre. Eine Lokalisierung der Standrohre sowie die Erfassung von Entnahmen und Zentralisierung der Entnahmemengen erfolgt durch sondergefertigte smarte Standrohre der Fa. Beulco.

Finanzierung und ökonomische Anreize

Gerade zu Beginn wurden knapp 90 % der Investitionen von EU und dem Land Rheinland-Pfalz finanziert. Die darüber hinaus anfallenden Investitionskosten wurden, bemessen an der Fläche, von den Grundstückseigentümern getragen. Die übrigen Kosten werden teils aus einem Grundbeitrag und teils bemessen an der jährlichen Wasserabgabe von den Mitgliedern getragen. Nicht mit eingerechnet sind die Zählerkosten. Die vier kommunalen Gebietskörperschaften leisten jährlich einen fixen Beitrag, der für den Substanzerhalt zweckgebunden ist. Beiträge können sowohl Geld als auch Grundflächen- oder Sachbeiträge sein.

³³ Vgl. Beregnungsverband Vorderpfalz (o.J. b), Pfalzmarkt (2021), Renner (2017), Rheinpfalz (2018).



Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen

Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen³⁴

Bewässerte Fläche: 35.000 ha
 Bewässerungsmenge: bis zu 20 Mio. m³/a
 im langjährigen Mittel
 Verbandsvorsteher: Hr. Schierwater (Landwirt)

Gründung

1958 Arbeitsgemeinschaft der WBV
 1965 Kreisverband der WBV

Organisation und Verwaltung

Der Kreisverband ist als WBV organisiert und beheimatet ca. 65 eigenständige WBV, davon 45 Beregnungsverbände. Als zentraler Dachverband hat der WBV ca. 31 – 42 Mitarbeitende (Verwaltung, Finanzen, Ingenieurwesen, Betrieb)(Variierende MA sind insb. dem techn. Betriebshof zuzuordnen). Die Verbandsversammlung umfasst entsprechend der vielen Einzelverbände und zusätzlich der Mitgliedskommunen mehr als 80 Personen. Der WBV erfüllt für seine Mitglieder Aufgaben im Bereich Gewässerunterhaltung und Beregnung, inkl. Maschinenbeschaffung sowie zentrale Kassenführung und Verwaltung.

Struktur und Besonderheiten der Region

Die Region um Uelzen in Niedersachsen ist von sandigem Boden geprägt, der selten Lehmenteile beinhaltet. Hier ist die nutzbare Feldkapazität und damit die Wasserhaltefähigkeit sehr gering. Sehr selten tritt Sandlöss mit einer höheren nutzbaren Feldkapazität auf. In der Vegetationszeit fällt in der Regel deutlich zu wenig Niederschlag. Die Region ist entsprechend eine der intensivsten Beregnungsgebiete in Deutschland.

Technische Organisation

Der Verband unterhält ca. 2.000 km Leitung zur Bewässerung und 120 Brunnen und Entnahmebauwerke. Dazu kommen Entnahmen aus dem Elbe-Seitenkanal für ca. 9.000 ha. Die Wasserversorgung erfolgt überwiegend leitungsgebunden. Es wird in Einzelregner- und Anlagenverbände innerhalb der versch. Mitglieder unterschieden. In Einzelregnerverbänden sind Mitglieder selbst Eigentümer von Anlagen und selbst für die Instandhaltung zuständig, Wasserrechte befinden sich beim Verband, werden aber auf Einzelmitglieder zugeordnet. Anlagenverbände sind Eigentümer der Bewässerungsanlagen, übernehmen entsprechende Aufgaben und nehmen dafür Beiträge ein. Außerdem liegen WER beim Verband und werden gemeinschaftlich genutzt und koordiniert. Projekt AQUaRO: Teilaufgabe landwirtschaftlicher Flächen zur Errichtung großer überirdischer eingedeichter Wasserspeicher, Beispielspeicher Borg. Projektspeicher und zwei weitere in der Region fassen in Summe 1.460.000 m³ Wasser zum Zweck der Bewässerung.

Finanzierung und ökonomische Anreize

Entstehung und anfängliche Entwicklung wurden maßgeblich vom Landkreis Uelzen gefördert. Beiträge sind im Kreisverband ausschließlich Geldleistungen. Grundlegend gibt es einen Grundbeitrag je ha. Lohn-, Maschinen- und Materialkosten sowie Ingenieursdienstleistungen werden unmittelbar verursachergerecht abgerechnet. Anlagenverbände erheben üblicherweise einen Grundbeitrag je ha und einen mengenbezogenen variablen Beitrag wie folgt:

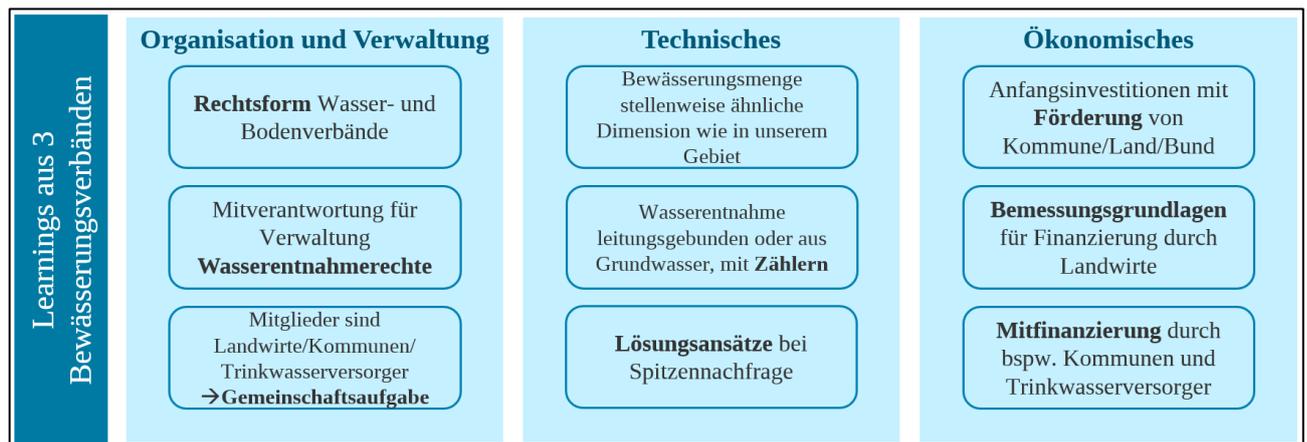
Kosten Anlagenverband				
Kostenart (Haushaltsstelle)	Minimal	Mittelwert	Maximal	
Grundkosten / Flächenbeitrag	2 €/ha	10 €/ha	50 €/ha	Netto
Betriebskosten / "Wassergeld"	11 ct/m ³	15 ct/m ³	20 ct/m ³	Netto

³⁴ Vgl. Ostermann (2022), LWK Niedersachsen (2022).

4.2.3 Übertragbare Erkenntnisse aus bestehenden Bewässerungsverbänden

Die wichtigsten Erkenntnisse zur Übertragung auf die Skizze der verbandlichen Organisation der Infiltration und der Bewässerung sind in Abb. 11 zusammengefasst. Sie sind in die Bereiche Organisation und Verwaltung, Technisches und Ökonomisches unterteilt. Eine grundlegende Erkenntnis ist, dass es bereits Bewässerungsverbände gibt, die in einem ähnlichen oder größeren Umfang agieren, als es in der Projektregion angedacht ist. Gleichzeitig vereint diese Verbände gleichartig, dass sie aus einer sehr langen Historie gewachsen sind, während das Projekt in der Modellregion in der jüngeren Vergangenheit in dieser Größenordnung und dem aktuellen Spannungsfeld von Klimawandelfolgen mit keinem aktuellen Vorhaben vergleichbar scheint.

Abb. 11: Relevante Elemente aus bestehenden Bewässerungsverbänden



Quelle: Eigene Darstellung.

Hervorzuheben ist, dass alle Bewässerungsverbände als WBV nach dem WVG organisiert sind, da durch die vorgesehenen satzungsgemäßen Aufgabenfelder, die Mitgliederstruktur und die Partizipationsmöglichkeiten sowie das Potential zur Heranziehung von Nutznießern viele wichtige Grundlagen für die Erledigung der Aufgabe der Grundwasserbewirtschaftung sowie der Vernetzung zum Thema der Bewässerung und der Landwirtschaft gegeben sind. Zudem wurden alle Verbände in ihrer Gründungsphase gleichartig mit einem großen politischen Willen vorangetrieben und finanziell unterstützt. Spannend sind zudem Ansätze aus der Vorderpfalz und dem hessischen Ried zum Einsatz smarter Wasserzähler sowie die zentrale Verwaltung von WER und die mehrjährige Bilanzierung im Kreisverband Uelzen. Die Angaben aus Uelzen geben zudem einen Einblick in die Größenordnung der netto ausgewiesenen fixen und variablen Mitgliedsbeiträge für die Teilnahme an der Bewässerung in den verschiedenen Mitgliedsbewässerungsverbänden des Kreisverbands. Zudem sind die jüngsten Entwicklungen im hessischen Ried sehr spannend, wo sich der ursprüngliche Wasserverband in einen Infiltrations- und einen Bewässerungsverband aufgeteilt hat. Die Infiltration bleibt so weiterhin eine Gemeinschaftsaufgabe, während die Organisation klarer zwischen Wasserentnahmen durch die Landwirtschaft und der generellen Infiltrationsleistung zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in der Region unterscheidet. So wird eine

Quersubventionieren der Landwirtschaft durch Trinkwasserentgelte vermieden und die Bücher werden trennscharf geführt, sodass Trinkwasserversorger bei entsprechenden Kontrollen die Einhaltung von Grundsätzen des öffentlichen Finanzgebarens nachweisen können und die Entgelte somit nicht aus diesem Grund angefochten werden können (vgl. Kapitel 6.1.1).

4.3 Übertragung von Erkenntnissen auf die Modellregion

4.3.1 Verbandliche Organisation und potentielle Betreiber

Im Rahmen der Workshops zu Organisation und Finanzierung wurde versucht, in zwei Schritten mit den Projektpartnern, die auch Akteure in der Region sind, einen Konsens zur sinnhaften Herangehensweise zu entwickeln. Ein Teilziel des ersten Workshops war es, den Projektpartnern Einblick in die Verschiedenartigkeit und Gemeinsamkeiten bestehender Bewässerungsverbände zu geben und diese mit dem Status Quo des WBV Rhader Bach/ Wienbach abzugleichen. Gleichzeitig wurde mit den Projektpartnern erarbeitet, welche Aufgaben und Funktionen sie bereits in der Projektregion erfüllen und welche Kompetenzen sie entsprechend besitzen. Unmittelbar im Projektkonsortium mitwirkende Mitarbeiter sind nicht zwangsläufig Geschäftsführer mit abschließender Entscheidungskompetenz. Insofern war es wichtig, den Projektpartnern Zeit zu geben die Zwischenstände aus dem ersten Workshop in ihren Organisationen zu diskutieren und die strategische Ausrichtung auf dieser Grundlage weiter zu entwickeln. Im zweiten Workshop wurden zum Thema Organisation weniger neue Erkenntnisse von Seite der HRW präsentiert, sondern vielmehr der Gesprächsraum aufgespannt, um über die aktuellen Positionen der Einzelorganisationen zu sprechen. In diesem Zusammenhang wurden von Vertretern des LV und RWW Signale zu einer denkbaren fachlichen, organisatorischen und finanziellen³⁵ Beteiligung an dem Vorhaben geäußert. Aufgrund dieser Signale sind aktuell zwei grundlegende Konstellationen denkbar. Die Ausrichtung an einer konkreten Variante wäre bei einer Projektumsetzung auch aus verbands- und steuerrechtlicher Sicht zu bewerten und sollte von entsprechenden Fachjuristen bzw. -abteilungen begleitet werden. Generell scheinen beide Varianten als mögliche Umsetzungspfade und müssen bei einer Projektumsetzung in Abhängigkeit der Interessenslagen und Partizipationsabsichten entschieden werden.

Variante A: Weiterentwicklung des WBV Rhader Bach/ Wienbach zum Infiltrations- und Bewässerungsverband

Die aktuelle Struktur des WBV Rhader Bach/ Wienbach wurde in Kapitel 3.2.4 beschrieben: Aktuell ist er als „klassischer“ WBV zur Gewässerunterhaltung in der Verbandsregion aufgestellt und hat satzungsgemäß entsprechende Mitgliederstrukturen und Beitragspflichten, wie sie vom WVG vorgesehen sind. Mit Blick auf die Option zur Weiterentwicklung eines Bewässerungsverbands

³⁵ Insb. im Sinne der Schaffung günstigerer Kreditbedingungen bei Fremdkapitalaufnahme.

wurden bereits Erweiterungen der satzungsgemäßen Aufgaben des Verbands vorgenommen, wobei entscheidende Aufgabenbeschreibungen zur Infiltration bzw. Grundwasserbewirtschaftung noch zu ergänzen wären. Eine weitere große Stärke besteht in der engen Vernetzung und Zusammenarbeit mit Landwirten, sowohl im Ehrenamt als auch durch Mitgliedschaft, sowie anderen landwirtschaftlichen Organisationen wie dem WLV und der LWK und deren Beratungsleistungen. Darüber hinaus bestehen auch Verbindungen zu RWW im Rahmen von kooperativen wasserwirtschaftlichen Ansätzen (aktuell zumeist bzgl. der Wasserqualität) wie auch dem LV. Im WBV Rhader Bach/ Wienbach liegt gleichzeitig allerdings kein Expertenwissen zu Planung, Bau und Betrieb wasserwirtschaftlicher Infrastrukturen wie Pumpwerken, Transportleitungen und Infiltrationsbauwerken vor. Insofern wäre eine enge Einbindung von LV und RWW zu begrüßen. Während die konkrete Ausgestaltung der Kooperation Verhandlungsgegenstand bei einer tatsächlichen Projektumsetzung wäre, lassen sich schon heute Möglichkeiten aus der Organisation anderer Bewässerungsverbände ableiten. Würde die aktive Grundwasserbewirtschaftung von den Akteuren in Ansätzen als Gemeinschaftsaufgabe betrachtet werden, wäre eine satzungsgemäße Einbindung von LV und RWW in den WBV Rhader Bach/ Wienbach durch Mitgliedschaft und/ oder Beiratstätigkeit o.ä. anzudenken. Ein Beispiel für die Ausgestaltung der Satzung in diese Richtung findet sich im Beregnungsverband Vorderpfalz. In diesem Rahmen könnten technische Dienstleistungen in Planung, Bau und Betrieb erbracht werden und auf das Grundwassermessnetz und das Wissen der LW zu hydrogeologischen Zusammenhängen für die Grundwasserbewirtschaftung zurückgegriffen werden. Eine ökonomische Partizipation durch Geld-, Dienstleistungs- oder Sachbeiträge wäre hier möglich, stünde aber nicht im Vordergrund. Träger des Vorhabens wäre in jedem Fall der WBV Rhader Bach/ Wienbach.

Würde das Projekt im Kern als Anliegen der Landwirtschaft verstanden werden, könnte theoretisch auch auf verbandliche Einbindung verzichtet werden: Der WBV Rhader Bach/ Wienbach würde zum Bewässerungsverband entwickelt, während jegliches nicht vorliegende technische Wissen und Leistungen sowie die Dienstleistung des Pumpwerks über privatwirtschaftliche Verträge eingekauft werden müsste. Angesichts der Größe und Komplexität der Aufgabe sowie der Zukunftsrelevanz für die gemeinsame Wasserressource in der Projektregion, scheint dieser Ansatz allerdings zu kurz gedacht, sodass mindestens eine Einbindung in den WBV Rhader Bach/ Wienbach forciert werden sollte.

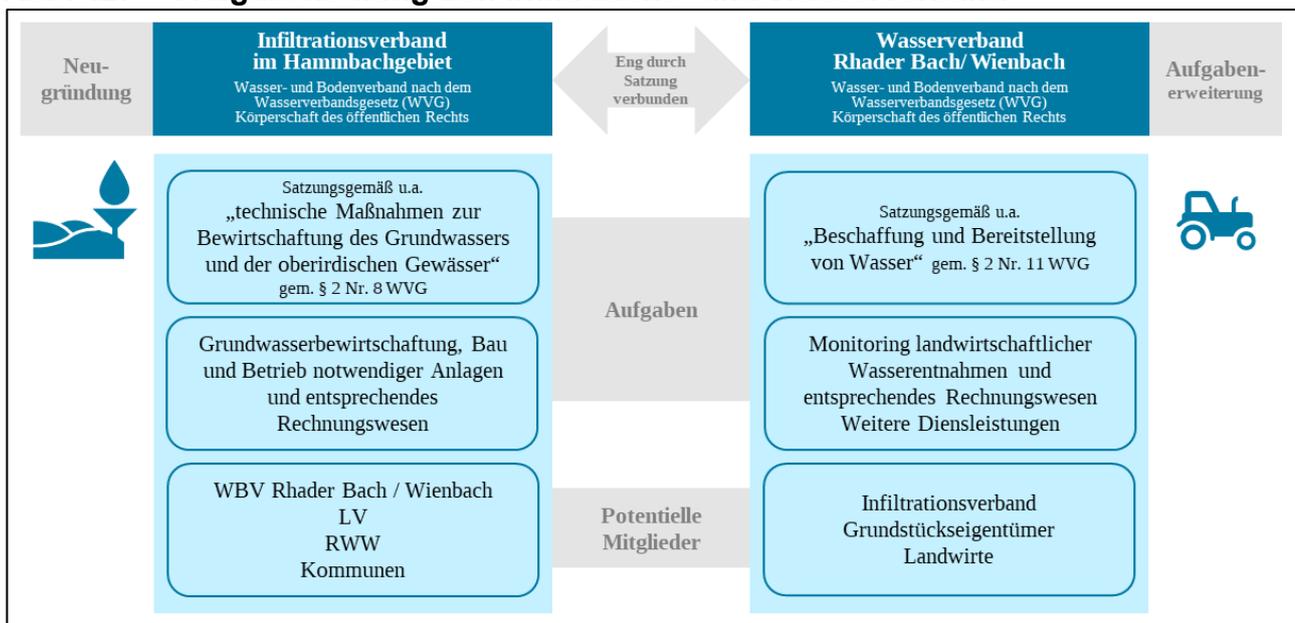
Variante B: Abbildung der Gemeinschaftsaufgabe der Grundwasserbewirtschaftung in einem neuen Dachverband bei gleichzeitiger Weiterentwicklung und Einbindung des WBV Rhader Bach/ Wienbach

Mit Blick auf Größe und Komplexität sowie den bisherigen Multi-Stakeholder-Prozess, scheint das Andenken einer Zwei-Verbände-Lösung in Anlehnung an das Organisationsmodell im hessischen

Ried angemessen. Während der Bewässerungsverband im hessischen Ried im 20. Jahrhundert vordergründig zur landwirtschaftlichen Bewässerung und Infiltration konzipiert wurde, veränderte sich das Portfolio und die organisatorische Struktur bis heute aus diversen Gründen maßgeblich. Heute besteht ein entsprechender Dachverband als WBV zum Zwecke der aktiven Grundwasserbewirtschaftung, an dem verschiedene Akteursgruppen aus der Region auf Augenhöhe beteiligt sind. Zur Abwicklung der Wasserbeschaffung vom Dachverband, der leitungsgebundenen Verteilung zu Bewässerungszwecken und der Verwaltungsabwicklung zu einzelnen bewässernden Landwirten und dem Angebot weiterer landwirtschaftlich relevanter Dienstleistungen, besteht, neben dem WHR-Infiltration, der WHR-Beregnung ebenfalls als WBV (vgl. Kapitel 4.2.2 und 4.2.3).

Die Umsetzung einer derartigen Lösung könnte wie in Abb. 12 skizziert aussehen. Zur Bewältigung der Aufgabe des aktiven Grundwassermanagements im Sinn aller relevanten Akteursgruppen in der Region, würde ein neuer WBV nach WVG als Körperschaft des öffentlichen Rechts gegründet (bspw. „Infiltrationsverband im Hambachgebiet“). Dieser Verband würde als Kernaufgabe nach §2 Nr.8 WVG technische Maßnahmen zur Bewirtschaftung des Grundwassers durchführen. Potentielle Mitglieder wären in diesem Fall der LV, die RWW, der WBV Rhader Bach/ Wienbach und die Kommunen im Verbandsgebiet.

Abb. 12: Aufgabenteilung von Infiltrations- und Wasserverband



Quelle: Eigene Darstellung.

Der LV hat schon heute die gesetzliche Aufgabe zur Regulierung des Grundwasserstands inne, ursprünglich zur Absenkung des Grundwasserspiegels bspw. in Bergbauabsenkungsgebieten, wäre die Erweiterung dieser Aufgabe hin zur Anhebung des Grundwasserspiegels denkbar. Mit der LW könnte sich der LV auch weiterhin aktiv in der Projektplanung und Umsetzung einbringen. Zudem bestehen beim LV bereits Erfahrungen zur Heranziehung von Nutznießern zu Beiträgen für die

Verbandsleistung. Die RWW, mit der Funktion als Konzessionsträger für die leitungsgebundene Trinkwasserversorgung, sieht sich ebenfalls in der Verantwortung, wenn es um das Verlegen anderer großer Wassertransportleitungen in der Projektregion geht. Zudem wäre die RWW ohnehin als Betreiber des Betriebswasserwerks für den Wassertransport eng eingebunden. Der LV und die RWW stehen aus verschiedenen Gründen (bestehendes Aufgabenportfolio sowie Vorhalteleistung für eigene Bedarfe im Bereich der Wasserversorgung) einer Projektumsetzung offen und konstruktiv gegenüber. Das betrifft technische, fachliche und/ oder finanzielle Beteiligung in unterschiedlicher Form (Sach- und Dienstleistungen, Geldleistungen und Unterstützung bei Fremdkapitalaufnahmen). Beide Akteure verbinden darüber hinaus bestehende eigene Grundwassermessnetze, die zum Zweck der aktiven Grundwasserbewirtschaftung eingebunden wären. Zudem würde der Infiltrationsverband im Hammbachgebiet die Verantwortung für ein umfangreiches Rechnungswesen zur Abwicklung der Verbandstätigkeiten tragen. Sollte die Trinkwasserversorgung in der Projektregion sowie in angrenzenden Ballungsräumen perspektivisch einen Nutzen aus der Infiltrationsleistung haben und entsprechend unmittelbare Geldleistungen zu Verbandstätigkeiten aus privatwirtschaftlichen Wasserpreisen von Trinkwasserkunden einbringen, würde eine klare Trennung der Rechnungslegung und der Nutzungskontingente einzelner Akteursgruppen mit einer deutlichen Separierung der Mittelverwendung einhergehen. Damit wäre eine bessere Grundlage geschaffen, um gegenüber behördlichen Preisüberprüfungen überzeugend aussagefähig zu sein. Gleichwohl wäre die grundsätzliche Möglichkeit der Umlage entsprechender Aufwendungen auf die Preise von Endkunden juristisch zu prüfen und kann von der HRW nicht bewertet werden.

Der WBV Rhader Bach/ Wienbach würde in dieser Variante die Verwaltungsschnittstelle zu den einzelnen entnehmenden Landwirten darstellen. Seine Aufgabe würde gem. §2 Nr.11 WVG um die Beschaffung von Wasser zum Zwecke der Bewässerung erweitert, da die Infiltrationstätigkeit zu einer Stärkung der Wasserbilanz und damit unmittelbar zur Genehmigungsfähigkeit neuer Wasserrechte führen würde. Gleichzeitig müsste sich mit dem Monitoring der Entnahmen einzelner Landwirte durch Wasserzähler befasst werden, um die Beiträge, die gegenüber dem Infiltrationsverband entstehen, verursachergerecht und möglichst auch unter Berücksichtigung der Vorhalteleistung auf einzelne Betriebe umlegen zu können. Inwieweit in der Projektregion Betriebe tätig sind, die ausschließlich Pächter und damit keine unmittelbaren Mitglieder sind, müsste in Abhängigkeit einer genauen Projektumsetzung aufgearbeitet werden. Das entsprechende Rechnungswesen zur Umlage der Beiträge würde in diesem Fall beim WBV Rhader Bach/ Wienbach liegen. Die wichtige, enge Kooperation mit LWK und WLW würde Bestand behalten.

Die genaue Beteiligung von Kommunen würde insb. vom politischen Willen und den entsprechenden Spielräumen im kommunalen Haushalt abhängen. Die Einbindung von UWB und UNB wird aus mehreren Perspektiven in beiden möglichen Verbänden als relevant erachtet: Die UWB muss mindestens im Rahmen der aktiven Grundwasserbewirtschaftung eingebunden sein, nicht zuletzt auch, um die Genehmigungsfähigkeit neuer WER anzuerkennen. Gleichzeitig würde die UWB stark

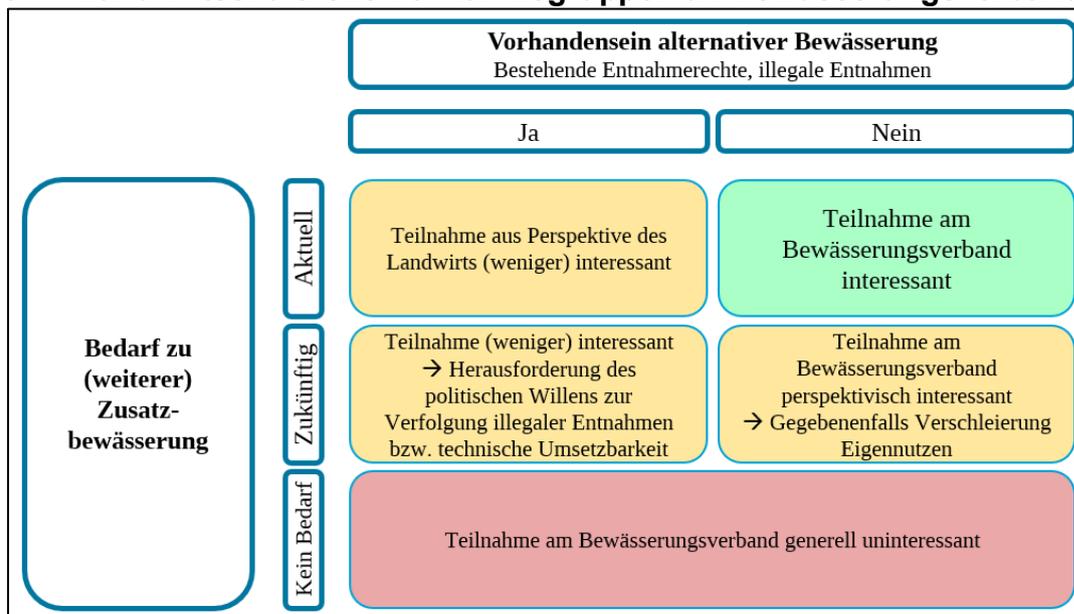
von einer genaueren Erfassung der Entnahmen im WBV Rhader Bach/ Wienbach und einer damit einhergehenden Steigerung der Transparenz profitieren. Möglichst überwiegende positive Umwelteffekte sollten von der UNB anerkannt werden und ein weiteres Argument zur Partizipation am Verband mit öffentlichen Geldern durch kommunale Mitgliedschaft und/ oder staatliche Förderung darstellen. Gleichzeitig sollte über negative Effekte offen diskutiert und über Ausgleichsmaßnahmen und Handlungsoptionen debattiert werden.

Bei welchem Verband die Trägerschaft des Gesamtvorhabens endgültig liegen würde, könnte in Abhängigkeit der zum Zeitpunkt der Projektumsetzung möglichen Fördertöpfe und Konditionen aber auch der bestehenden Aufgaben und Konzessionen von Akteuren entschieden werden. Tendenziell käme eher der Infiltrationsverband im Hammbachgebiet in Frage, da er aus allen relevanten Akteursgruppen in Form aktiver Mitgliedschaft besteht, und so der Charakter der Grundwasserbewirtschaftung als Gemeinschaftsaufgabe unterstrichen würde.

4.3.2 Potentielle Gruppen von teilnehmenden Landwirten

Der Ausgangspunkt der Bewässerung in der Projektregion ist vielfältig. Wie in Kapitel 3.2.3 beschrieben, gibt es Landwirte, die bereits bewässern und vielleicht ihre WER vergrößern möchten, sowie Landwirte, die gerne neu in die Bewässerung einsteigen würden. In Abb. 13 werden die verschiedenen Interessensgruppen in Abhängigkeit des grundsätzlichen Bedarfs an Bewässerung sowie dem Vorhandensein alternativer Möglichkeiten, wie der beschränkten Nutzung mit bestehenden WER, aufgeteilt.

Abb. 13: Landwirtschaftliche Teilnahmegruppen an Bewässerungsverband³⁶



Quelle: Eigene Darstellung.

³⁶ Illegale Entnahmen wurden im Projektkonsortium tiefgehend diskutiert. Die Meinung herrschte vor, dass illegale Entnahmen über die Zeit signifikant gesunken sind, hier oder da in Folge eines nicht ausgereiften Entnahmemonitorings aber weiterhin mindestens möglich sind.

Während sich die spätere Frage der genauen Beteiligung an den Kosten durch statische Entgeltmodelle in Kapitel 6 methodisch über Bewässerungsszenarien nähert, soll an dieser Stelle das aktuelle Spannungsfeld aufgezeigt werden. Auf dieser Grundlage kann eine adressatengerechte Ansprache von potentiellen Teilnehmern am Bewässerungsverband abgeleitet und reflektiert werden.

Die sich am wahrscheinlichsten beteiligende Gruppe (grün) besteht aus Landwirten, die keine alternativen Bewässerungsmöglichkeiten haben und gleichzeitig den Bedarf sehen, in die Bewässerung einzusteigen. Für sie sind aktuell keine WER genehmigungsfähig und somit fallen Optionen der Betriebsführung unter Einbindung einer Bewässerung auf legalem Weg nicht in Betracht.³⁷ Diese Gruppe kann entsprechend der betrieblichen Situation in Verbindung mit den Kosten für die Teilnahme am Bewässerungsverband eigene ökonomische Einschätzungen treffen und würde zusätzlich Zugang zu Beratungsangeboten bekommen.

In den orangenen Gruppen werden gezielte Argumente relevanter. Argumentationsketten können hier insbesondere mit Bezug auf die Vorhalteleistung und damit die Schaffung einer „Versicherung“ für zukünftige, herausforderndere Zeiten entwickelt werden. Wer aktuell keinen Bedarf für Bewässerung sieht, könnte später aufgrund von Klimawandelfolgen oder Marktgeschehen trotzdem auf Bewässerung angewiesen sein. Allein für diese Vorhalteleistung wäre ein verminderter Flächenbeitrag angebracht. Würde dazu der Zugang zu verschiedenen Beratungsformaten kostenfrei möglich werden, wäre ein unmittelbarer Vorteil für die aktive Mitgliedschaft gegeben und es gäbe eventuell den Erkenntnisgewinn, dass der Einstieg in die Bewässerung doch eine relevante Option sein kann. Bisher bewässernde Landwirte könnten hinterfragen, weshalb sie für bestehende WER plötzlich zusätzlich Beiträge entrichten müssen. Allein die Tatsache, dass der Zustand für sie zuvor günstiger war, führt nicht zu einem Anspruch, langfristig bessergestellt als andere Landwirte oder allgemein Entnehmende zu sein. Einerseits könnte sich über eine gütliche Übergangsregelung geeinigt werden, während das Argument der Teilnahme an einer Solidargemeinschaft, an der nicht nur Landwirte, sondern auch andere Akteure wie der LV oder die RWW beteiligt sind, überwiegen sollte.

Gleichzeitig mag es Landwirte geben, die der roten Gruppe zuzuordnen wären. Solche, die weder aktuell als auch in Zukunft einen Bedarf sehen, werden auch nicht bereit sein, für eine Vorhalteleistung schon jetzt zu bezahlen. Es wird nicht immer leicht sein herauszufinden, weswegen auch langfristig kein Bedarf gesehen wird. Unter der Annahme, dass alternative Entnahmemöglichkeiten durch ein besseres Monitoring entfallen, wäre der einzige Ansatzpunkt, dass ein Landwirt bei fehlender Bewässerung, auf zukünftige Bewirtschaftung seiner Felder verzichten würde. Sollte es sich hier um einen Pächter handeln, würde der Eigentümer an einen

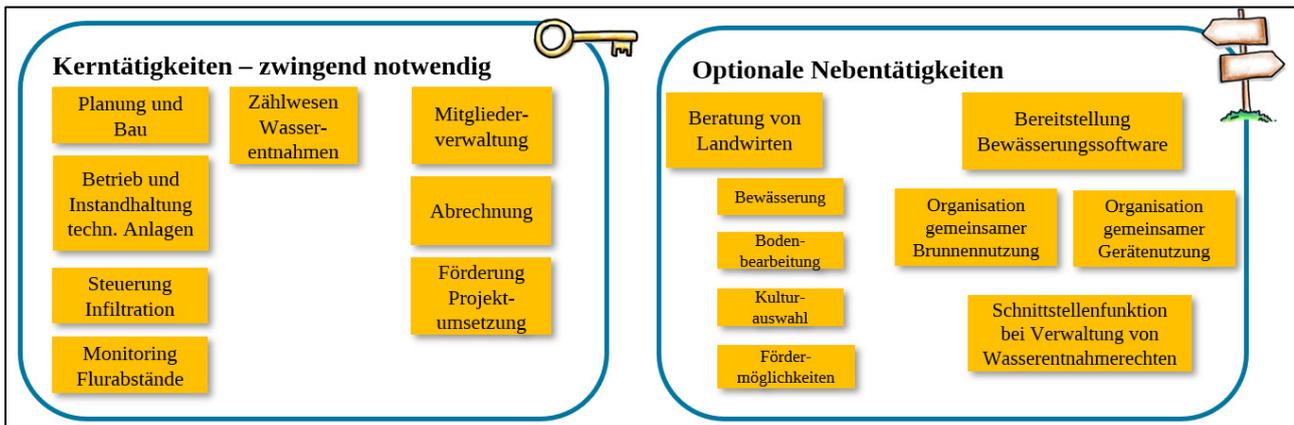
³⁷ Illegale Entnahmen wurden im Projektkonsortium tiefgehend diskutiert. Die Meinung herrschte vor, dass illegale Entnahmen über die Zeit signifikant gesunken sind, hier oder da in Folge eines nicht ausgereiften Entnahmemonitorings aber weiterhin mindestens möglich sind.

neuen Pächter verpachten. Für einen Eigentümer wäre es auf den ersten Blick irrational, auf die Option einer Bewässerung zu verzichten, würde doch der Wert seines Landes massiv sinken. Eindeutig „rot kategorisierte“ Landwirte sollten daher eigentlich eher selten sein.

4.3.3 Kerntätigkeiten des Verbands und optionale zusätzliche Dienstleistungen

Während der Projektlaufzeit wurden von der LW zwei Varianten zur technischen Vorgehensweise ausgearbeitet: Eine leitungsgebundene unmittelbare Wasserverteilung zu landwirtschaftlichen Betrieben (Direkte Verwendung) und die Infiltration von Wasser zur Stärkung der Wasserbilanz, wodurch neue WER durch die UWB wieder genehmigungsfähig werden (Bilanzansatz). Aus Gründen der technischen Umsetzbarkeit (bspw. Thema Spitzenlasten) sowie entstehenden Kosten und nötigen Umwelteingriffen, wurde der Bilanzansatz in den Vordergrund gerückt.³⁸ Das bedeutet aus technischer Perspektive, dass die zu betreibende Anlage grundsätzlich aus den Elementen Entnahme, Transport und Infiltration besteht. In den Workshops wurde mit den Projektpartnern diskutiert, inwieweit bestimmte Tätigkeitsfelder für einen Bewässerungsverband von Beginn an notwendige Kernaufgaben sind oder optional zu verfolgende in das Portfolio aufzunehmende Nebentätigkeiten darstellen. Die in Abb. 14 dargestellten Tätigkeiten entstammen den bestehenden Potentialen der Akteure sowie den Erfahrungen aus anderen Bewässerungsverbänden.

Abb. 14: Kern- und Nebentätigkeiten bei Projektumsetzung



Quelle: Eigene Darstellung.

Insbesondere das Portfolio an Beratungsleistungen durch LWK, WBV und WLV sollte bei der Projektumsetzung weiterentwickelt werden. Eine drängende Fragestellung wäre bspw., inwieweit, durch Verträge mit pauschalen Zahlungen zw. den Organisationen, Beratungsangebote für Landwirte, die Mitglied im Verband sind und sich entsprechend finanziell an der Wasserbereitstellung beteiligen, kostenfrei gestaltet werden können. Zudem dürfte das Interesse an Bewässerungssoftware sowie regional wetterabhängigen zentralen Prognosen steigen und die Installation eines eigenen Sensornetzes könnte relevant werden. Im Rahmen der Bewässerungsberatung wäre zu überlegen, inwieweit ein Maschinenpark bzw. Test- oder

³⁸ Vgl. Meßer et al. (2023), S. 22ff.

Vorführsysteme unterstützen könnten, um ein Umdenken bei Landwirten anzuregen. Eine Klärung dazu, inwieweit eine Schnittstellenfunktion zw. WBV Rhaderbach/ Wienbach und UWB zur Erfassung der Wasserentnahmen sowie der Verwaltung von WER möglich und gewünscht ist, muss bei einer potentiellen Projektumsetzung stattfinden. Bei definierten Rahmenbedingungen und einer vertrauensvollen Zusammenarbeit dürfte es in jedem Fall zu Synergie- und Effizienzeffekten kommen.

Neben den aus Technik- und Verwaltungssicht notwendigen Kerntätigkeiten, ist die Erarbeitung und Einführung eines Zählwesens für landwirtschaftliche Wasserentnahmen unmittelbar mitzudenken (vgl. Kapitel 3.1.2). Daher wurden schon während der Projektlaufzeit von KlimaBeHageN von Seiten der HRW mit potentiellen Anbietern sowie Forschungsprojekten Gespräche zum Erfahrungsaustausch geführt.

4.3.4 Wasserzähler im Bewässerungsverband

Die künftige Verwendung von Wasserzählern an Entnahmestellen ist von Bedeutung zur Umsetzung von Finanzierungsmodellen und dem Monitoring von Entnahmen. Der WHR (Hessisches Ried) arbeitet im Rahmen des Forschungsprojekts IOTAqua an einer smarten Zählerlösung, um insbesondere Druckprobleme im Netz in den Griff zu bekommen. Der Beregnungsverband Vorderpfalz arbeitet mit der Fa. Beulco an einer Lösung, um smarte Standrohre lokalisieren und die Entnahmen mit diesen Standrohren erfassen zu können. Sowohl mit Vertretern von IOTAqua als auch der Fa. Beulco wurden Gespräche zu deren Herausforderungen und Lösungsansätzen geführt.

Das Anforderungsprofil variiert je nach Organisation der Wasserentnahmen. Während das Thema des Drucks bei dem forcierten Bilanzansatz weniger relevant ist, sind insbesondere Themen der Erfassung von Entnahmen (auch an geteilten Entnahmestellen), die zentrale automatische Datensammlung wie auch Wartungskosten und Batterielaufzeiten wichtige Fragestellungen (vgl. Abb. 15). Die Fa. Beulco traut sich, insb. resultierend aus der Projekterfahrung in der Vorderpfalz, den Bau und das Angebot einer maßgeschneiderten Lösung für die Fragestellungen in der Projektregion zu. Die technischen Anforderungen würden an manchen Stellen anders gelöst als im Forschungsprojekt IOTAqua, doch das generelle Anforderungsprofil scheint abbildbar. Durch ein entsprechendes Portal würden auch die Landwirte selbst digitalen Einblick in die Erfassung ihrer Entnahmen bekommen und könnten die Arbeit mit geteilten Brunnen koordinieren. Darüber hinaus könnten Korrelationen zwischen Wetterbedingungen, Erträgen und dem Bewässerungsverhalten hergestellt werden, was zum heutigen Zeitpunkt aufgrund mangelhafter Datenlage lt. Aussage der Universität Kassel noch nicht möglich war. Ein relevanter Treiber für den Preis einer Zählerlösung wären die Größe der konkret benötigten Zähler (Durchflussmenge) sowie die Stückzahl. Deutlich teurer wäre es, wenn viele verschieden dimensionierte Zähler benötigt würden.

Abb. 15: Anforderungsprofil und technische Umsetzung Wasserzähler IOTAqua

Ziel	Notwendige Funktion	Technischer Ansatz	Anforderung KlimaBeHageN
Optimale und genaue Bewässerung nach Menge	Regelmäßige Erfassung genauer Durchflussmengen	Ultraschall-Wasserzähler mit Speicher für Metadaten	X insb. Information über Nutzer bei geteilten Brunnen
Minimaler Erhebungsaufwand bei möglichst permanenter Datenverfügbarkeit	Datensichere Fernauslesung der Messwerte	LoRa-GPS-Funk Modul	X
Genaue Abrechnung	Datenübermittlung an Bewässerungsverband mit Zeitstempel	Distributed Ledger Technologie (IOTA)	X
Niedrige Wartungskosten	Lange bzw. Stichproben-Eichhorizonte und energiearme Technik	Ultraschall-Wasserzähler mit LoRa-GPS-Funk Modul	X
Ökonomische Anreize durch automatisierte statische oder dynamische Bepreisung	Automatische preisabhängige Steuerung durch Programmierung	Steuerventil und entsprechende Software	Mittelfristig wichtig, Empfang von Daten aber derzeit energieintensiv

Quelle: Eigene Darstellung nach: Scheyer (2022).

Die Anforderungen an smarte Wasserzähler gegenüber konventionellen Wasserzählern bestehen besonders darin, dass die Daten der smarten Wasserzähler dauerhaft extern über ein Netzwerk ausgelesen werden können und diese neben den üblichen Verbrauchsdaten auch andere Metadaten wie Temperatur und Durchflussmengen zu bestimmten Zeiten liefern können. Außerdem können smarte Wasserzähler in Netzwerke und dem „Internet of Things“ („IoT“) vernetzt werden und somit eine einfache Auslesung und Steuerung über Apps oder ähnliches ermöglichen.

Ultraschallwasserzähler basieren auf der Ultraschall-Durchfluss-Technologie. Diese besteht aus mehreren am Rohr schräg gegenüberliegenden in und gegen Strömungsrichtung angebrachten Ultraschallsensoren. Diese Sender schicken in gleichmäßigen Zeitintervallen Ultraschallsignale gegenseitig hin- und wieder zurück. Wenn kein Durchfluss im Rohr ist, benötigt das Signal in und gegen Strömungsrichtung die gleiche Zeit. Bei einem Durchfluss hingegen verringert sich die Zeit in Strömungsrichtung und verlängert sich gegen Strömungsrichtung. Da diese Zeitveränderung proportional zur Durchflussmenge ist, lässt sich hierdurch die Durchflussmenge dauerhaft und genau erfassen.

Der Unterschied zu konventionellen Wasserzählern besteht besonders in der Genauigkeit, der Wartung und dem Druckverlust. Beispielhafte Modelle von Ultraschallwasserzähler sind mit einem Startdurchfluss von 2 l/h³⁹ wesentlich genauer als konventionelle Wasserzähler mit einem Startdurchfluss von 60 l/h⁴⁰. Außerdem müssten die Ultraschallwasserzähler aufgrund der Batterielebenszeit in der Theorie nur etwa alle 15 Jahren gewartet werden, während konventionelle Wasserzähler durch die mechanischen Teile des Flügelrads laut Mess- und Eichverordnung alle 5 bis 6 Jahre ausgetauscht werden müssen. Die Mess- und Eichverordnung macht aber bisher keinen

³⁹ Vgl. Kamstrup (2022).

⁴⁰ Brunata (2016).

Unterschied zwischen mechanischen und Ultraschallwasserzählern. Der DVGW fordert derzeit eine kurzfristige Verlängerung auf 10 Jahre⁴¹ und das Hamburg-Institut eine Verlängerung der Eichfrist auf 15 Jahre für Ultraschallwasserzähler.⁴² Einige Stadt- und Wasserwerke hingegen werben schon mit einer Wartungsfrist von 15 Jahren.⁴³ Da bei Ultraschallwasserzählern keine Rohrverengung entsteht, kommt es zu keinem Druckverlust, wie bei mechanischen Wasserzählern.⁴⁴

Weitere Funktionen der Ultraschallwasserzähler sind, dass diese durch die genaue Erfassung der Durchflussmengen und aufgrund von anderen Meta-Daten gewisse Umstände wie Lecks erkennen und melden können.⁴⁵ Außerdem bieten moderne Geräte einen internen Speicher der Daten für einen längeren Zeitraum speichern kann und die Möglichkeit, die Daten sowohl optisch als auch dauerhaft über Funk durch zum Beispiel LoRa-WAN für „drive-by“ oder externe Auslesungen übertragen zu können.⁴⁶

LoRa-WAN gehört neben SigFox und NB-IoT zu den führenden LPWAN (Low Power Wide Area Network) Technologien. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass Daten über weite Strecken mit niedriger Datenrate übertragen werden. Diese niedrige Datenrate ist für Wasserzähler jedoch vollkommen ausreichend und kann selbst aus Gebäuden und Kellern übertragen werden.⁴⁷ Das LoRa-WAN Ökosystem besteht aus vielen kleinen Sensoren bzw. Endgeräten, wie an Wasserzählern, und wenigen mit dem Internet verbundenen Gateways, die die Daten der Sensoren empfangen und einen zentralen Server einspeisen und weiterleiten. Diese Daten können dann von den befugten Personen ausgelesen und verarbeitet werden. Ein weiteres Merkmal des LoRa-WAN sind bidirektionale Endgeräte. Endgeräte können also nicht nur Daten versenden, sondern auch Daten über das Netzwerk empfangen.⁴⁸ Diese Technik ist dann die Basis, um Impulse der Steuerung an Endgeräten zu induzieren. Das Ventil zum Bewässern würde beispielhaft dann geöffnet, wenn der Zähler den Impuls „Preis sinkt auf x“ erhalten würde. Einzig problematisch ist aktuell, dass die Empfangsfunktion mehr Energie – und damit einen häufigeren Batteriewechsel – erfordern würde.

LoRa-WAN bietet von Haus aus keine sichere End-to-End Verschlüsselung an. Es muss also eine Verschlüsselungstechnik entwickelt oder benutzt werden, die den Sicherheitsstandards entspricht. Eine Lösung hierfür hat die GELSENWASSER AG in Zusammenarbeit mit der PHYSEC GmbH in „TLS over LoRaWAN“ entwickelt, die den Richtlinien des Bundesamts für Sicherheit und Informationstechnik zu „Kryptografischen Vorgaben für die Infrastruktur von intelligenten Messsystemen“ entspricht.⁴⁹

⁴¹ Wien (2018).

⁴² Maaß/Zedelius/Uhlmann (2017).

⁴³ Gemeinde Werk Niestal (o.J.).

⁴⁴ Brunata (2016).

⁴⁵ Bauer (2019).

⁴⁶ Kamstrup (2022).

⁴⁷ Zenger, Stefanski (2019)

⁴⁸ Dultz (o.J.).

⁴⁹ Zenger/ Stefanski (2019).

Zur sicheren Datenübermittlung wird die Distributed Ledger Technologie IOTA genutzt, die im Grunde genommen ein Blockchain-System ist. Dieses unterscheidet sich aber von traditionellen Blockchains, dass anstatt Transaktionen nur nach und nach in einem Paket oder „Block“ die Transaktionen parallel zwischen den einzelnen Individuen der Blockchain abgewickelt werden können. Dies beschleunigt die Transaktionsgeschwindigkeit stark und verringert die Kosten für einzelne Transaktionen auf gegen Null. Durch die geringen Transaktionskosten und -geschwindigkeiten eignet sich die Technologie besonders für viele und niedrigwertige Transaktionen wie dem Austausch vieler kleiner Datensätze von Wasserzählern. Des Weiteren kann IOTA sowohl über einen öffentlichen als auch über einen privaten zentralen „Tangle“ betrieben werden. Besonders der private Weg eignet sich für Wasserzähler, da hier ein Zugriff von außen ausgeschlossen werden kann und nur Individuen, die über den „Schlüssel“ für die Transaktionen verfügen, auf den verschlüsselten Inhalt zugreifen können.⁵⁰

Bei einer möglichen Umsetzung des Projekts in der Modellregion sollte unmittelbar mit der Arbeit an einem Zählwesen in Modellbetrieben begonnen werden, um schnell erste Erfahrungen zu sammeln. So wäre man bei einem Start eines Bewässerungsverbandes möglichst direkt arbeitsfähig und hätte Transparenz über die zu erwartenden Kosten.

⁵⁰ IOTA Foundation (2022).

5 Kosten

5.1 Einordnung der Kostenannahmen unter Berücksichtigung des volatilen Umfelds

Die Situation auf den Finanzmärkten ist aktuell insbesondere durch den Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine, die damit einhergehende Energiekrise sowie durch die Corona-Krise sehr volatil. Steigende Produktionskosten und weitere Effekte lassen einen starken Anstieg der Inflation beobachten, während die Leitzinsen als Reaktion angehoben werden und die Verzinsung von Finanzprodukten entsprechend kurzfristig mit Anstiegen reagiert.⁵¹ Genauso sind entsprechende Steigerungen von Materialbeschaffungs- und Baukosten zu beobachten. Gleichwohl ist zu erwarten, dass entsprechende Effekte sich bis zu einer Projektumsetzung wieder beruhigen und normalisieren werden. So sind schon heute deutlich verringerte Energiepreise im Großhandel zu beobachten. Durch die Zeitverzögerung, die Energiepreisvariationen auf sonstige Marktentwicklungen haben, könnten sich beruhigende Effekte im Jahr 2024 bemerkbar machen.⁵² Insofern sind die zu Grunde gelegten Kostenannahmen bei einer Projektumsetzung sicherlich erneut zu überprüfen. Allerdings bleibt die Aussagekraft über die grundsätzliche Höhe der Kosten sowie der Belastungen von Landwirten in der Region in Abhängigkeit der finanziellen Beteiligung weiterer Akteure erhalten. Mehrjährige Inflations- und Zinsentwicklungen werden im Rahmen der Kalkulationen mit einem sich als eher normal zu bezeichnenden weniger volatilen Umfeld angenommen. Die Größen zu EK- und FK-Finanzierung und den entsprechenden Zinssätzen wurden darüber hinaus mit Finanzexperten aus dem Bereich von Infrastrukturinvestments diskutiert.

Die Kosten sind im Folgenden grundsätzlich als Netto-Beträge angegeben. Für die Umsatzsteuer sind im Normalfall 19 % hinzuzurechnen. Im Kapitel 6 zur Finanzierung werden auf Basis der Netto-Kostenannahmen Umlagemodelle auf Endnutzer entwickelt. In diesem Fall sind das überwiegend landwirtschaftliche Betriebe, deren steuerliche Situation und die Vorsteuerabzugsberechtigung unterschiedlich aufgestellt sein könnte, sodass diese tiefergehende steuerliche Bewertung in diesen Kalkulationen nicht berücksichtigt wird. Zudem kann die steuerliche Situation auch in Abhängigkeit der Gesellschaftsform, der letztlichen Projektträgerschaft und der Erhebung von Preisen oder Gebühren variieren und wäre bei einer Projektumsetzung durch (steuer-)rechtliche Beratung zu klären. Das folgende Vorgehen umschreibt also eine Erfassung von Entwicklungs-, Betriebs- und Kapitalkosten sowie deren jährliche Belastung für einen potentiellen Bewässerungsverband, um auf diese Weise die Kostenlast für Landwirte bei einer alleinigen Trägerschaft zu prüfen.

⁵¹ Vgl. Berlemann/ Eurich/ Haustein (2022), S. 1f.

⁵² Vgl. Boysen-Hogrefe (2022), S. 3ff.

5.2 Entwicklungskosten

Entwicklungskosten werden auch als DEVEX (Development Expenditures) bezeichnet. Sie beziehen sich üblicherweise auf die Kosten, die ein Unternehmen für die Forschung und Entwicklung neuer Produkte, Prozesse oder Technologien aufwendet. Dazu gehören:

- **Forschung und Experimente:** Die Kosten für die Durchführung von Forschungen und das Testen neuer Ideen oder Konzepte zur Bestimmung ihrer Machbarkeit.
- **Design und Engineering:** Die Kosten für die Gestaltung und Entwicklung neuer Produkte, Prozesse oder Technologien, einschließlich der Kosten für Prototypen oder Pilotprojekte.
- **Regulatorische Compliance:** Die Kosten für die Erlangung von Genehmigungen und die Einhaltung von Vorschriften im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Produkte, Prozesse oder Technologien.

Im Rahmen von KlimaBeHageN wurde durch die LW eine Machbarkeitsstudie zum Projektvorhaben erstellt. Die entsprechenden Kosten sind bereits finanziert und finden keine weitere Berücksichtigung in den DEVEX. Gleichzeitig wurden in der Machbarkeitsstudie für die Ingenieur- und Landschaftsplanungen, Baugrunderkundungen und Kampfmittelüberprüfungen vor einem Baubeginn Kosten i.H.v. 3,8 Mio. € im Falle einer Infiltration durch Schluckbrunnen und 4,3 Mio. € im Falle einer Infiltration durch eine Rigole angesetzt. Diese Kosten werden in der Annahme zeitlich vor dem Baubeginn angesetzt und müssen gemeinsam mit den Bau- und Investitionskosten bei den CAPEX in einer Mischung aus Eigenkapital (EK) und Fremdkapital (FK) finanziert werden.

5.3 Kapitalkosten

Kapitalkosten werden auch als CAPEX (Capital Expenditures) bezeichnet. Sie beziehen sich auf die Kosten, die ein Unternehmen für den Erwerb oder die Erneuerung von Anlagevermögen aufwendet. Anlagevermögen bezieht sich auf langfristige Vermögenswerte, die dazu verwendet werden, die Geschäftsaktivitäten des Unternehmens zu unterstützen und zu erweitern.

Die Investitionskosten teilen sich in drei verschiedene Infrastrukturen auf: Betriebswasserwerk, Transportleitung und Infiltrationsbauwerke. Für das Betriebswasserwerk sind aktuell lediglich 85.000 € für Anschlussarbeiten angesetzt. Tatsächlich gibt es am Betriebswasserwerk Ertüchtigungsbedarf und die Instandhaltungsstrategien dürften sich bei einem fortschreitenden Betrieb über mehrere Jahrzehnte ändern und zu weiteren Kosten führen. Diese Kosten sind zum jetzigen Stand allerdings nicht in den Investitionen abgebildet, da RWW das Assetmanagement für das Betriebswasserwerk nach der vorliegenden Annahme selbst weiterführen würde und die Kosten damit im Bereitstellungspreis abgebildet wären, die in den OPEX wiedergegeben werden. Diese Konstellation kann sich im Rahmen der verbandlichen Ausgestaltung und der tatsächlichen Lastenteilung bei Projektumsetzung maßgeblich ändern. Die Kosten für die Transportleitung wurden entsprechend der Annahmen der Machbarkeitsstudie i.H.v. 16. Mio. € übernommen.

Die CAPEX für die potentiellen Infiltrationsbauwerke variieren in Abhängigkeit der gewählten Methode. Bei einer Rigole wären 2,3 Mio. € anzusetzen und bei Brunnen 2,0 Mio. €. Die Baustelleneinrichtungskosten werden mit 5 % der anderen CAPEX angenommen und führen so zu einer Summe der CAPEX von insgesamt 19,0 Mio. €. Die Summe von CAPEX und DEVEX wird dazu um 5 % für Unvorhergesehenes aufgestockt, sodass am Ende Netto 23,9 Mio. € (Brunnen) bzw. 24,7 Mio. € (Rigole) eingerechnet werden.

Abschreibungen

In der Wasserwirtschaft haben Abschreibungen eine besondere Bedeutung, da sie die Kosten der Wasserversorgung und Abwasserbehandlung reflektieren. Diese Kosten sind in der Regel sehr hoch, da es sich um komplexe und kapitalintensive Anlagen handelt. Abschreibungen sind wichtig, um die tatsächlichen Kosten einer Anlage oder eines Assets über die Nutzungsdauer zu verteilen. Dies ermöglicht es den Wasserversorgungsunternehmen, die Kosten für die Wartung und Instandhaltung der Anlagen sowie für die Finanzierung neuer Investitionen zu planen. Um der Besonderheit von langlebigen Anlagegütern wie Pumpwerken, Wasserleitungen und Infiltrationsanlagen im Rahmen des Substanzerhalts Rechenschaft zu tragen, werden diese nicht nur mit den üblichen bilanziellen Abschreibungshorizonten von bis zu 20 Jahren angesetzt, sondern je nach Anlagenklasse mit Abschreiben von 20 – 80 Jahren kalkulatorisch abgeschrieben (vgl. Abb.16).

Abb. 16: Abschreibungshorizonte nach betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern

Untere und obere betriebsgewöhnliche Nutzungsdauern je Anlagengruppe in der Wasserwirtschaft [Jahre]		
Anlagengruppe	Untere Nutzungsdauer	Obere Nutzungsdauer
Grundstücksanlagen	20	35
Betriebsgebäude	50	75
Verwaltungsgebäude	50	75
Geschäftsausstattung (ohne Hardware und Software, Werkzeuge / Geräte)	3	15
Werkzeuge / Geräte	5	20
Lagereinrichtung	10	25
Hardware	3	8
Software	3	5
Leichtfahrzeuge	5	10
Schwerfahrzeuge	5	12
Rohrleitungen (diverse Materialien)	40	80
Armaturen im Netz	30	80
Kundenwasserzähler	6	9
Druckerhöhungsanlage bzw. Druckminderungsanlage im Netz	10	40
elektrische Anlagen und Fernwirkanlagen	10	35
Aufbereitungsanlagen	10	35
Wassergewinnungsanlagen / Brunnen	15	50
Speicheranlagen / Hochbehälter	25	50
Pumpwerke	15	40

Quelle: Eigene Darstellung nach: BDEW/ VKU (2012), S. 49.

Kalkulatorische Abschreibungen für den Substanzerhalt werden dazu verwendet, die Kosten der Instandhaltung und des Substanzerhalts über die tatsächliche Nutzungsdauer der Anlage oder des Assets zu verteilen. Diese Kosten können sich auf die Reparatur, den Austausch von Teilen, die Wartung und die Modernisierung beziehen, um die Leistungsfähigkeit und die Sicherheit der Anlage zu erhalten.⁵³ Die kalkulatorischen Abschreibungen werden über alle Anlagenklassen vereinfacht auf einen Abschreibungshorizont von 40 Jahren nach Anschaffungs- und Herstellungskosten gebildet und berücksichtigen sowohl die CAPEX als auch die DEVEX. So kommt es ab dem potentiellen Inbetriebnahmejahr zu jährlichen kalkulatorischen Abschreibungen i.H.v. ca. 600.000 €, um bei einer entsprechenden Instandhaltungsstrategie den Substanzerhalt der langlebigen Anlagegüter abzusichern.

Eigenkapital- und Fremdkapitalzinsen

Der zweite große Kostenträger im Bereich der CAPEX wird durch die Tilgung von FK und entsprechende Zinsen auf FK und eingesetztes EK gebildet. Die genauen Zinskonditionen sind bei einer Projektumsetzung von vielen variablen und zum Stand der Ausarbeitung schwierig vorher zu sagenden Faktoren abhängig: EK-FK-Quote, Marktumfeld, organisatorische Struktur des Verbandes, Beteiligung von großen Partnern wie LV oder Kommunen oder Land zur Absicherung, Robustheit der jährlichen Cashflows (bspw. Beitragszahlungen), öffentliche Förderung usw.

Nach Diskussionen mit Finanzexperten aus dem Bereich von Infrastrukturinvestments von Großprojekten wurden entsprechende Annahmen getroffen: Eine EK-Quote von 20 % der Investitionssumme ist erstrebenswert. Eine angemessene EK-Verzinsung würde aktuell in der ungefähren Höhe von ca. 9 % liegen und eine FK-Verzinsung wäre bei rund 4 % erzielbar. Gerade die Verzinsungssätze können bei einer Projektumsetzung in mehreren Jahren abweichen. Bei einer Einbindung entsprechender zuverlässiger Partner könnte eine Laufzeit für ein FK-Darlehen von 40 Jahren zu erreichen sein (Details zur Finanzierungsstruktur erfolgen in Kapitel 6 Finanzierung). Aufgrund dieser Rahmenbedingungen wurde zur Vereinfachung eine Annuität von rund 1,1 Mio. € errechnet, die sich aus einer jährlichen Zahlung von FK-Tilgung, FK-Zins und EK-Zins auseinandersetzt.

Zusätzlich ist eine Anschubförderung durch öffentliche Mittel i.H.v. 5,6 Mio. € miteinkalkuliert (s. Kapitel 6.2). Die Förderung senkt zwar die Investitionskosten zu Beginn ab, wirkt sich aber nicht in vollem Umfang auf die Teilkosten aus. Die kalkulatorischen Abschreibungen zum langjährigen Substanzerhalt beziehen sich nach wie vor auf den vollen Umfang der Investitionskosten und bleiben durch Förderung zu Beginn des Vorhabens UNBerührt.

Damit ergeben sich jährlich umgelegte fixe CAPEX im Inbetriebnahmejahr von rund 1,7 Mio. €.

⁵³ Vgl. BDEW / VKU (2012), S. 47ff.

5.4 Betriebskosten

Betriebskosten werden auch als OPEX (Operating Expenditures) bezeichnet. OPEX beziehen sich auf die laufenden Kosten, die ein Unternehmen für seine täglichen Geschäftsaktivitäten aufwendet. Diese Kosten sind im Gegensatz zu den Kapitalkosten nicht darauf ausgerichtet, Anlagevermögen zu erwerben oder zu erneuern. Dabei umfassen OPEX eine Vielzahl von Kostenarten, wie z.B. Personalkosten (Löhne und Gehälter, Sozialversicherungsbeiträge und Schulungen), Verwaltungskosten (Büromiete, Versicherungen und Informationstechnik), Betriebskosten (Strom, Wasser und Gas, Wartungskosten Reparaturen und Inspektionen) sowie Marketing- und Vertriebskosten und Verwaltungskosten.

Annahmen zu den Betriebskosten wurden durch Expertengespräche mit Akteuren innerhalb sowie außerhalb der Region getroffen. Die Betriebskosten des Betriebswasserwerks werden aktuell durch einen Bereitstellungspreis von RWW abgebildet. Zum Zwecke der Infiltration ist durch die Wasserentnahme kein WEE zu entrichten.⁵⁴ Damit entfallen von einem gemittelten Bereitstellungspreis von 24 ct/m³ das WEE für Brauchwasser von 3,5 ct/m³ und es verbleiben 20,05 ct/m³. Es wurde die Annahme getroffen, dass RWW eine Erlösstruktur von 50 % fixen zu 50 % variablen Kosten erwirtschaftet. Bei einer angenommenen gemittelten jährlichen Pumpleistung von bspw. 8 Mio. m³ Jahr, wären damit 820.000 € als fixe Kosten zu zahlen und ein variabler Preis von 12,615 ct/m³. Auf Grundlage dieser Annahme wurden alle weiteren Kalkulationen durchgeführt. Für die Transportleitung wurde, aus Erfahrungswerten aus der Instandhaltung eines gemischten Verteil- und Transportnetzes, rund 1.500 € je km Leitung an jährlichen Instandhaltungskosten angenommen. Das führt bei 2 Leitungen mit einer Länge von je 7,1 km zu jährlich fixen Kosten von 21.300 €. Gerade in den ersten Jahren des Betriebs könnten diese Kosten deutlich geringer ausfallen. Genaue Kosten zu Wartungs- und Instandhaltungskosten vergleichbarer Versickerungsbauwerke konnten nicht in Erfahrung gebracht werden, sodass diese Annahmen bei einer Projektumsetzung noch zu kalkulieren wären, sehr wahrscheinlich aber in nur in geringem Umfang anfallen würden.

Zu den Betriebskosten kommen zusätzlich die Kostenannahmen des WBV Rhader Bach/ Wienbach bei einer Weiterentwicklung zu einem Bewässerungsverband hinzu. In einem ersten Entwicklungsschritt ist hier eine Personalaufstockung zur Unterstützung der Geschäftsführerin mit den entsprechenden Lohn-, Arbeitsplatz- und Verwaltungskosten sowie weiteren Sitzungsgeldern geplant. Die Kostenannahmen belaufen sich an dieser Stelle auf ca. 41.000 € jährlich fixer Kosten.

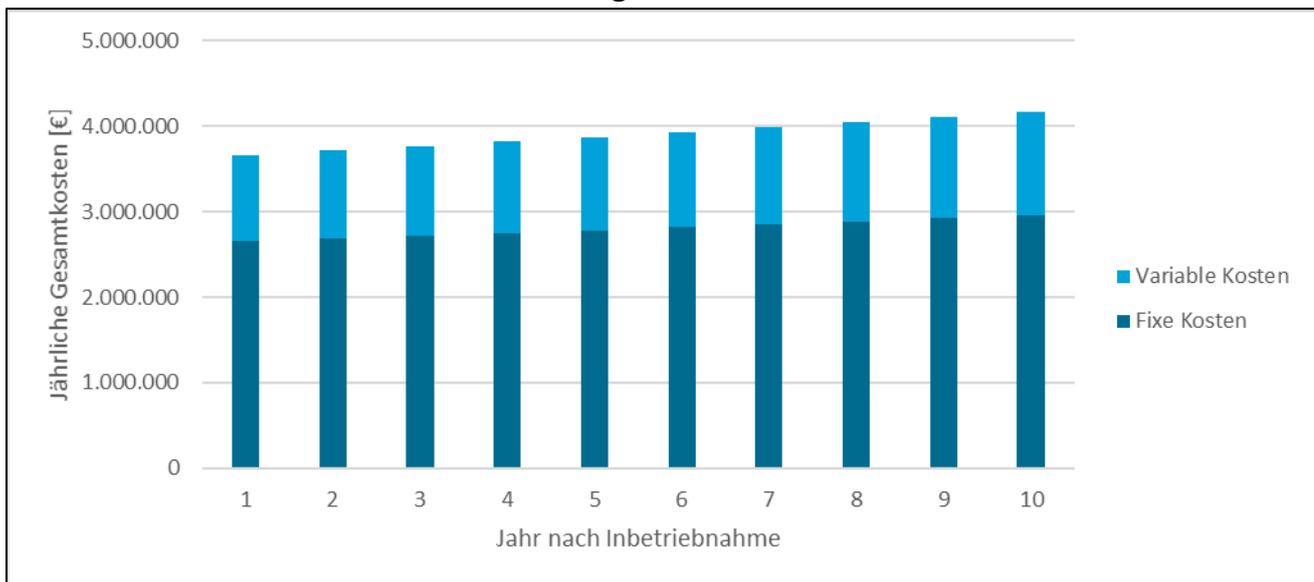
Damit entstehen jährlich rund 960.000 € fixe und 1,0 Mio. € variable Kosten.

⁵⁴ Aussage der zuständigen Behörde gegenüber LV in 2022.

5.5 Verhältnis fixer und variabler Kosten

Insgesamt sind die Kosten damit zu 72 % fixe und zu 28 % variable Kosten, womit die Kostenstruktur der üblichen Struktur von knapp 80 % fix zu 20 % variable Kosten in der Wasserwirtschaft ähnelt und somit als üblich zu bewerten ist.⁵⁵ Für den moderaten Preisanstieg über die Jahre ist eine, sich erwartungsgemäß wiederEinstellende, Inflation von angenommen 2 % verantwortlich (vgl. Abb. 17). Kostensprünge durch Instandhaltungsmaßnahmen und Reinvestitionen sollten durch die konservative Abschreibungsstrategie bei entsprechender Mittelverwendung für den Substanzerhalt nicht zu erwarten sein.

Abb. 17: Gesamtkosten Bewässerungsverband nach Inbetriebnahme



Quelle: Eigene Darstellung.

⁵⁵ Vgl. BDEW/ VKU (2012), S. 62ff.

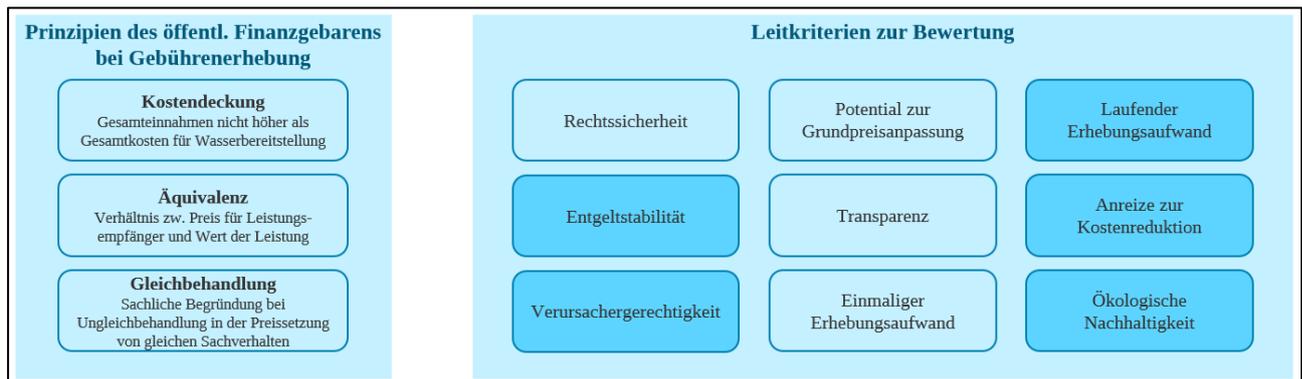
6 Finanzierung

6.1 Grundlagen zur Tarifikalkulation

6.1.1 Zielsetzung

Ziele bei der Tarifmodellierung zur Wassernutzung für Landwirte sind die Deckung der entstehenden Kosten und das Anreizen von effizientem Umgang mit der Wasserressource. Ein WBV kann öffentlich-rechtliche Gebühren oder privatrechtliche Preise erheben.⁵⁶ Bei Gebührenerhebung sind die sog. Prinzipien des öffentlichen Finanzgebarens einzuhalten (s. Abb. 18). Während bei einer öffentlich-rechtlichen Gebührenerhebung ein strenges Einhalten der Prinzipien des öffentlichen Finanzgebarens notwendig ist, empfiehlt sich bei der privatrechtlichen Preissetzung mindestens eine Ausrichtung nach diesen.⁵⁷

Abb. 18: Grundsätzliche Zielrichtungen bei der Tarifmodellierung



Quelle: Eigene Darstellung nach: Verband kommunaler Unternehmen (2019), S. 9ff.

Prinzipien des öffentlichen Finanzgebarens

Äquivalenzprinzip: Die erhobene Gebühr muss im Verhältnis zum Wert der Leistung stehen, die für den konkreten Empfänger erbracht wurde.

Gleichbehandlungsprinzip: Sollte bei der Gebührengestaltung zwischen gleichen Sachverhalten differenziert werden, so müssen dafür sachliche Gründe angeführt werden. Außerdem ist eine Unterscheidung verpflichtend, sofern unterschiedliche Sachverhalte vorliegen. Während bei der Gebührenkalkulation das Maß auch an die Inanspruchnahme einer Leistung gebunden ist, kann bei der Preiskalkulation das Maß der Kostenverursachung herangezogen werden.

Kostendeckungsprinzip: Die erhobenen Gesamtgebühren eines Verbandes dürfen weder höher noch niedriger als dessen Gesamtkosten sein. Dieses Prinzip hat für die Tarifgestaltung allerdings wenig Relevanz.⁵⁸

⁵⁶ Vgl. Städte- und Gemeindebund NRW (2009).

⁵⁷ Vgl. Verband kommunaler Unternehmen (2014), S. 20.

⁵⁸ Vgl. Verband kommunaler Unternehmen (2014), S. 21.

Um die Kosten eines Bewässerungsverbandes langfristig zu decken, ist eine hohe **Entgeltstabilität** ein wichtiger Faktor. Je höher der Fixkostenanteil, desto stabiler sollten sich auch die Einnahmen durch Entgelte gestalten. Soll allerdings ein sorgsamer Umgang mit Wasser angereizt werden, wird dafür meist ein höherer variabler Kostenanteil genutzt. In Ausbalancierung dieser beiden Ziele sollte der Fixerlösanteil damit etwas geringer sein als er wäre, würde man nur dem Ziel der Entgeltstabilität folgen. 50% Fixerlös- zu 50% variabler Erlösanteil ist in der Wasserversorgung ein zumeist angestrebtes Verhältnis.

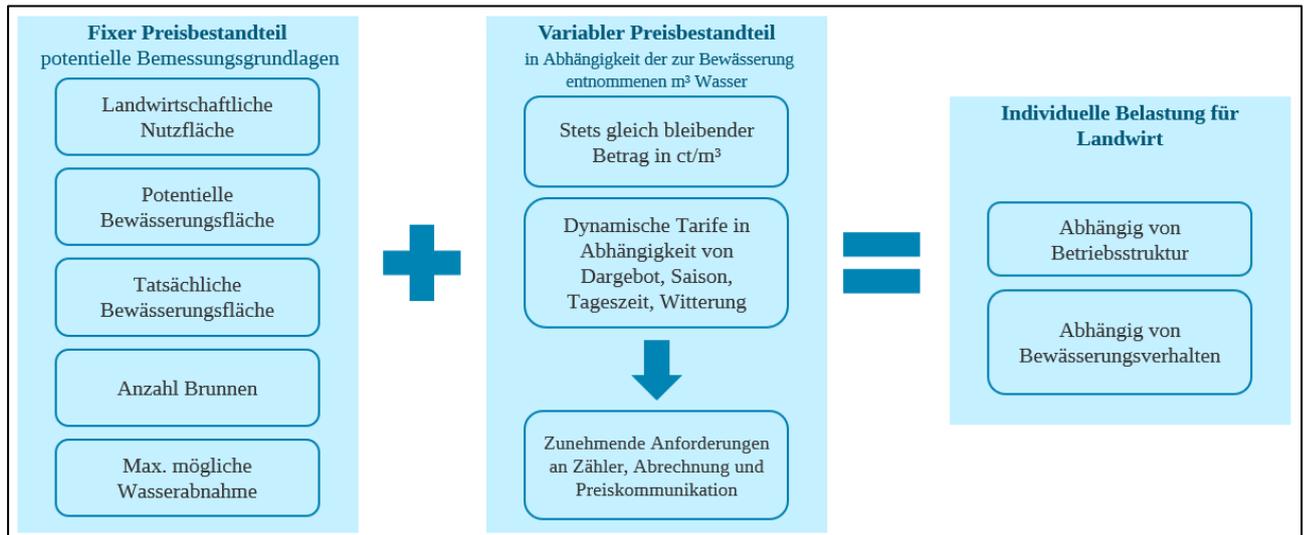
Verursachergerechtigkeit bedeutet, dass ein Kunde so viel Anteil an den Kosten trägt, wie er selbst auch verursacht. Grundsätzlich müssen also die fixen Kostenanteile eines Tarifs so hoch sein wie die fixen Erlösanteile. Allerdings spielt die entscheidende Rolle dabei die Bemessungsgrundlage für den fixen Grundpreis des jeweiligen Kunden, um verursachergerecht die Vorhalteleistung der Versorgungsinfrastruktur einzupreisen. Diese Bemessungsgrundlage spielt sogar eine so signifikante Rolle, dass sie bei der Kategorisierung von Haushaltstarifen meist das vordergründige Unterscheidungskriterium darstellt.⁵⁹

Anhand dieser und weiterer Leitkriterien (vgl. Abb. 18) kann die Schwerpunktsetzung bei der Modellierung von Tarifen definiert und entsprechende Rahmenbedingungen gestaltet werden.

6.1.2 Fixe- und variable Erlöse

Tarife unterscheiden sich zumeist in der Aufteilung zw. fixem und variablen Preisbestandteil und der entsprechenden Bemessungsgrundlage. Eine Bewertung nach Leitkriterien unterstützt bei der Entscheidung für einen Tarif. In der Modellierung eines statischen Tarifsystems in KlimaBeHageN spielt die Entgeltstabilität eine wichtige Rolle. Bei einer Kostenstruktur von 72 % fix zu 28 % variabel werden also in den folgenden Schritten die Tarife so bemessen, dass die Erlöse sich dieser Struktur im Verhältnis von 70 % fix und 30 % variabel annähern.

⁵⁹ Vgl. Verband kommunaler Unternehmen (2019), S. 9ff.

Abb. 19: Fixe und variable Bestandteile von Tarifen

Quelle: Eigene Darstellung nach: Verband kommunaler Unternehmen (2019), S. 9ff.

Als Bemessungsgrundlage für den fixen Preisbestandteil kämen mehrere Größen in Frage. Wie bei anderen Bewässerungsverbänden zu beobachten (vgl. Kapitel 4.2.2), soll die Grundfläche der zu bewässernden Fläche in ha berücksichtigt werden. Entsprechend der Best Practices könnte zusätzlich ein Brunnenbeitrag je Entnahmestelle angedacht werden, der in Verbindung mit den Kosten für einen Zähler steht. Da die Kosten für eine Zähleinheit aktuell UNBekannt sind, wird der Gedanke eines Brunnenbeitrags an dieser Stelle nicht konkreter ausgestaltet. Der variable Preisbestandteil dient in einem statischen Tarif der Bepreisung der Mengeneinheit und bleibt üblicherweise für jede Mengeneinheit zu jeder Zeit in der gleichen Höhe (vgl. Abb. 19). Abweichende Überlegungen werden in Kapitel 6.4 zu dynamischen Finanzierungsmodellen angestellt.

6.1.3 Auswirkungen auf betriebliche Entscheidungen von Landwirten

Wie sehr Landwirte auf Preissignale reagieren und ihre Bewässerungsmenge nachfragen, lässt sich durch die Preiselastizität der Nachfrage beschreiben. Diese Preiselastizität kann klassisch quantitativ durch Berechnungen beschrieben werden, wobei die Zusammenhänge im Bereich der Landwirtschaft allerdings sehr komplex sind und viele Faktoren der regional unterschiedlichen Entscheidungen zuerst qualitativ beschrieben werden sollten.⁶⁰

⁶⁰ Vgl. European Environment Agency et al. (o.J.), S. 75f.

Abb. 20: Schema zur Bestimmung der ökonomischen Beregnungswürdigkeit

Quelle: Dietrich et al. (2015), S. 6.

Die Entscheidung zur Bewässerung wird, wie in Abb. 20 dargestellt, nicht nur in Abhängigkeit der Beregnungsbedürftigkeit einer Pflanzenkultur getroffen, sondern wird maßgeblich durch ökonomische Faktoren beeinflusst. Erst wenn der Mengenerlös größer als die Beregnungskosten sind, entscheidet sich ein Landwirt theoretisch für eine positive Beregnungswürdigkeit.⁶¹ Dabei stellt der Marktpreis für ein landwirtschaftliches Produkt, unter Einbezug des zu erwartenden Ertragszuwachses, einen der wichtigsten Entscheidungsparameter dar. Bei der Entscheidung für ein Bewässerungsverfahren spielen die Investitionskosten sowie mögliche Förderungen eine Rolle, bei der Inbetriebnahme wiederum werden die variablen Bewässerungskosten (Lohnkosten, Energiekosten, Wasserbereitstellung usw.) hinterfragt. Neben den Kosten für die Wasserentnahme spielen dann auch die zugeteilten WER eine Rolle.⁶² Schon heute befinden sich im nordöstlichen Niedersachsen sowie in vereinzelt Regionen (bspw. Hessisches Ried) regelmäßig bewässerungswürdige Gebiete.⁶³

Wegen der regionalen Besonderheiten und vielseitigen Entscheidungsparameter zur Bewässerung, gibt es kaum allgemeingültige Quellen zur Preiselastizität der Wassernachfrage in Deutschland. Die Nachfrageelastizität von Privathaushalten in der Trinkwasserversorgung wurde im Jahr 2017 für die Städte Berlin und Stuttgart mit belastbaren Ergebnissen modelliert. Sie wurde mit Werten von -0,2 bis -0,3 als unelastisch beschrieben, genau wie ein Referenzwert für Deutschland von -0,45. Die Nachfrage in der Trinkwasserversorgung reagiert also nur in sehr geringem Maß auf eine

⁶¹ Vgl. Anter et al. (2017), S. 126ff.

⁶² Vgl. Dietrich et al. (2015), S. 6.

⁶³ Vgl. Anter et al. (2017), S. 135.

Preisänderung⁶⁴ und bestätigt damit grundsätzlich Zahlen aus 2011, wobei die Preiselastizität der Nachfrage bei Mehrfamilienhausbewohnern nahe 0 ist.⁶⁵ Untersuchungen zur Preiselastizität der Beregnungswassernachfrage verschiedener von Trockenstress betroffenen Regionen im europäischen Raum haben ergeben, dass die Nachfrage auch hier generell sehr unelastisch ist, bspw. wegen der bestehenden Nichtgenehmigungsfähigkeit neuer WER. Bei einem ohnehin geringen Wasserdargebot und bereits entsprechend hoher Bepreisung, verhält sich die Nachfrage meist lange unelastisch. Erst wenn die Preise signifikant erhöht werden, gibt es einen starken Nachfragerückgang. Wenn es zu Investitionen in Bewässerungssysteme kommt, werden diese zumeist auf die Reduktion von Managementkosten oder auf die Verbesserung von Ernteerträgen zurückgeführt. Wird wiederum eine Reduktion der genutzten Wassermengen festgestellt, wird das zumeist durch Restriktionen bei der Wasserentnahme bzw. bei der Wasserzulieferung begründet. Allerdings gibt es ein Szenario, in dem wiederholt ein elastisches Verhalten zumindest in einem Teil der Nachfragekurve beobachtet wird: Gibt es in einer Region bisher ein großes Wasserdargebot und wurden die Wasserpreise bisher als günstig wahrgenommen, führt schon eine kleine Erhöhung der Wasserpreise zu einem schnellen mengenmäßigen Nutzungsrückgang. Weitere Preiserhöhungen folgen allerdings wieder einem unelastischen Verhalten.⁶⁶

Ein allgemeingültiger quantitativer Rückschluss auf das Verhalten von Landwirten in der Projektregion in Reaktion auf neue Kosten für die Beschaffung von Wasser durch einen Bewässerungsverband, lässt sich auf Grundlage dieser Daten nicht bilden. Gleichwohl ist zu erwarten, dass eine Erhöhung der Kosten zu einem Überdenken des Status Quo in der betriebspezifischen Praxis sowie einem erhöhten Bedarf an Beratung zu Bewässerungstechnik, Kulturauswahl und Bodenbearbeitung sowie Fördermöglichkeiten führen wird. Von großer Bedeutung für Investitionsmaßnahmen auf Seiten der Landwirte wird sicher die Ernsthaftigkeit des Monitorings sein. Erst wenn verlässliche Daten über die Wasserentnahme im Zeitverlauf vorliegen, werden (variable) Preise eine effiziente Wassernutzung befördern und damit die maximale Anzahl bewässerungswilliger Landwirte ansteigen lassen.

6.2 Rolle der Förderung

Eine öffentliche finanzielle Förderung würde, wie in Kapitel 5.3 bereits beschrieben, wegen der kalkulatorischen Abschreibungen zum langjährigen Substanzerhalt, nicht in voller Höhe zu einer jährlichen Kostenreduktion führen. Allerdings würde sie trotzdem, je nach Umfang, eine sichtbare Reduktion in den Tarifmodellen verursachen. Daher wird in Kapitel 6.3.2 ein Modell mit und ohne Förderung kalkuliert.

⁶⁴ Vgl. European Environment Agency et al. (o.J.), S. 78.

⁶⁵ Vgl. Oelmann/Gendries (2012), S. 822.

⁶⁶ Vgl. European Environment Agency et al. (2017), S. 22f.

Im Projektjahr 2022 wurde die aktuelle Förderlandschaft auf Programme auf europäischer, Bundes- oder Länderebene untersucht, die einen Bezug zu landwirtschaftlichen Aktivitäten in Zusammenhang mit Bewässerung aufweisen (vgl. Abb. 21). Dabei fielen drei Programme als besonders passend auf. Betriebe können sich durch die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrar- und Küstenstruktur“ Beratungsleistungen mit dem Ziel der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung von anerkannten Beratungsanbietern mit je 1.500 € vom Bund fördern lassen. Hier besteht evtl. eine Möglichkeit die Beratungsleistungen durch die LWK über den WBV ohne Kostenbarriere durchführen zu können. Entscheiden sich Betriebe für die technische Umsetzung von Bewässerungsmaßnahmen, können sie sich mit 20 % des förderfähigen Investitionsvolumen vom Land NRW im Rahmen des Agrarinvestitionsförderungsprogramms unterstützen lassen. Ziel ist hier u.a. das Begegnen von witterungsbedingten Risiken in der Landwirtschaft.

Das Projekt selbst wäre bspw. durch das Programm Bewässerung in Gartenbau und Landwirtschaft des Landes NRW förderfähig gewesen, das allerdings Ende 2022 ausgelaufen ist. Hier wurden Investitionen in den Neubau überbetrieblicher Infrastrukturen zur Entnahme, Zuleitung und Speicherung von Wasser mit bis zu 70 % des Investitionsvolumens gefördert. Der Beregnungsverband Pütz wurde so mit 5,6 Mio. € gefördert (vgl. Kapitel 4.2.2). Die Annahme zur Förderung einer Projektumsetzung von KlimaBeHageN wurde in Orientierung an dieser Größe in der vorliegenden Modellierung ebenfalls mit dieser Förderannahme berücksichtigt. Ende 2022 tagte die Umweltministerkonferenz und beschäftigte sich im Rahmen der Nationalen Wasserstrategie mit Fokusthemen, denen unmittelbar Aufmerksamkeit zu schenken sei. Darunter fallen u.a. die Entwicklung von Anreizen zu effizienter Wassernutzung, die Implementierung klimaresilienter wasserwirtschaftlicher Infrastrukturen und verbesserte Monitoring-Systeme im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt. Zur Erreichung der Ziele der nationalen Wasserstrategie fordern die Umweltminister vom Bund entsprechende Förder- und Finanzinstrumente. Ergebnisse und Beschlüsse einer Umweltministerkonferenz sind zwar nicht als fertige Gesetze und Instrumente zu verstehen, zeigen gleichwohl die Förderintention, die in den verantwortlichen Ministerien erkannt wird, und lassen auf die Entwicklung von Förderinstrumenten hoffen, die dem Projektvorhaben KlimaBeHageN zu Gute kommen dürften.⁶⁷

⁶⁷ Vgl. Umweltministerkonferenz (2022), S.

Abb. 21: Fördermöglichkeiten zum Thema Landwirtschaft und Bewässerung, Stand 06/2022

Förderinstrument	Ebene	Gesetzes- grundlage	(relevantes) Förderziel	Art der Förderung	Bemessungs- grundlage	Höhe der Förderung	Literatur
Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und Küstenschutz"	Bund	Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" - GAKG	Es soll "gesichert werden, dass die ländlichen Gebiete nachhaltig leistungsfähig bleiben und eine umwelt- und ressourcenschonende Land- und Forstwirtschaft integraler Bestandteil dieser Gebiete sind."	Bund und die Landesregierung unterstützt die Inanspruchnahme von Beratungsleistungen von anerkannten Beratungsanbietern	pro Beratungsleistung	bis zu 1.500 € / Beratungsleistung	BMEL (2021)
Bewässerung in Gartenbau und Landwirtschaft	NRW	Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zum Neubau und zur Erweiterung überbetrieblicher Einrichtungen zur Entnahme, Speicherung und Zuleitung von Wasser sowie für Grundwasseranhebung und Pumpanlagen für Bewässerungszwecke in Gartenbau und	Förderung überbetrieblicher wasserwirtschaftlicher Maßnahmen in Gartenbau und Landwirtschaft	Förderung für Investitionen zum Neubau und zur Erweiterung von überbetrieblichen Einrichtungen zur Entnahme, Speicherung und Zuleitung von Wasser sowie für Anlagen zur	Höhe der Investitionskosten	Finanzierungsanteil bis zu 70 Prozent, maximal i.H.v. 2,1 Mio. €	Förderdatenbank (2019)
Förderung von landwirtschaftlichen Betrieben in benachteiligten Gebieten (Ausgleichszulage)	NRW	Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen für eine „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW II“	Unterstützung aus Mitteln der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“, EU- und Landesmitteln, für Landwirte, die dauerhaft landwirtschaftliche Flächen in benachteiligten Gebieten nutzen	Förderung als Zuschuss	Ertragsmesszahl	zwischen 25,00 € und 75,00 € pro Hektar	Förderdatenbank (2017)
EG-Wasserrahmenrichtlinie - Beratungsangebot	NRW	EG-Wasserrahmenrichtlinie	Beratung von landwirtschaftlichen Betrieben, in den Gebieten, in denen ein besonderer Handlungsbedarf bezüglich Nitrat und Pflanzenschutzmitteln zum Schutz des Grundwassers gegeben ist	20 Beratungskräfte betreuen rund 1.600 Betriebe mit dem Schwerpunkt Grundwasserschutz und sind für ca. 12.000 Betriebe in den Regional- und Grundberatungsgebieten			Landwirtschafts-kammer (o.J.)
Agrarinvestitionsförderungsprogramm	NRW	Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen für Investitionen in landwirtschaftlichen Betrieben im Rahmen des Agrarinvestitionsförderungs-programms (AFP)	Unterstützung, zu einer wettbewerbsfähigen, nachhaltigen, besonders umweltschonenden, besonders tiergerechten , multifunktionalen und witterungsbedingten Risiken vorbeugenden Landwirtschaft beizutragen	Förderung in Form eines Zuschusses	förderfähiges Investitionsvolumen	bei Investitionen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit sowie für Erschließungsmaßnahmen bis zu 20 Prozent des förderfähiges Investitionsvolumen	Förderdatenbank (2014)

Quelle: Eigene Darstellung nach genannter Literatur.

6.3 Statische Entgeltmodellierung

6.3.1 Bemessungsgrundlagen

Die Frage, welche Flächen und welche Kulturen in welchem Bewässerungsszenario zu berücksichtigen wären, wurde in enger Zusammenarbeit mit den landwirtschaftlichen Akteuren in der Region in Bezug auf den Fachbeitrag der LWK⁶⁸ abgestimmt. Die Fragestellung war insbesondere, welche Kulturen mit welcher Wahrscheinlichkeit bewässerungswürdig sein sollten und auf wie vielen Flächen diese Kulturen derzeit angebaut werden – wohl wissend, dass eine Einführung von Preisen für die Wassernutzung das Anbauverhalten von Landwirten beeinflussen wird.

Aus den aktuellen Zahlen wurden die Szenarien 1 – 3 (vgl. Abb. 22) entwickelt, wobei Szenario 1 für die zu erwartende jährliche Mindestbewässerung steht und Szenario 3 für die Maximalbewässerung in trockenen Jahren, in denen alle Flächen in der Region zum Ertragserhalt bewässert werden. Darüber hinaus könnte laut dem Abschlussbericht des Vorgängerprojekts im Extremfall in Einzelfällen auch mit einer deutlich höheren Bewässerungsmenge zu rechnen sein. Laut LWK dürfte dieser Fall aber nicht der Regelfall sein und sollte im Zweifel bei ausreichender aktiver mehrjähriger Grundwasserbewirtschaftung bilanziell durch die Größe des Grundwasserkörpers zu decken sein.

Abb. 22: Bewässerungsszenarien für Bemessungsgrundlagen

	Szenario 1: Mindestbewässerung	Szenario 2:	Szenario 3: Maximalbewässerung
	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sonderkulturen, Obst und Mais (1/3 Futterbau, insb. Milchviehbetriebe) ➤ Mit höchster Wahrscheinlichkeit in Normaljahren bewässert 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mais (Silo- und Körnermais), Ackergras und 50 % Sommer- und Wintergetreideflächen kommen hinzu ➤ Getreide mit geringster Wahrscheinlichkeit auf Beregnungswürdigkeit (außer Braugerste, wg. geringer Fläche aber zu vernachlässigen) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dauergrünland (regionale Futtermittelnutzung) und restliches Getreide kommen hinzu ➤ Alle Flächen aller Kulturen werden in diesem Szenario bewässert
Fläche:	➤ 1.722 ha	➤ 4.840 ha	➤ 7.380 ha
Menge:	➤ 1.994.000 m ³ /a	➤ 5.230.500 m ³ /a	➤ 8.143.500 m ³ /a

Quelle: Eigene Darstellung nach: LWK (2021), S. 45.

In Szenario 1 ist eine Bewässerung aller Kulturen in Normaljahren zu warten, die wahrscheinlich auch schon heute bewässert werden. Das umfasst Sonderkulturen und Obst. Zusätzlich wird ein Drittel der bewirtschafteten Maisfläche hinzugerechnet, da er in dieser Größenordnung als Futtermittel für die Fleischproduktion und Milchviehbetriebe genutzt wird und somit bewässerungswürdig sein dürfte. So entsteht eine zu berücksichtigende Fläche von 1.722 ha und

⁶⁸ Vgl. LWK NRW (2021), S. 45.

eine Bewässerungsmenge von 2,0 Mio. m³/a. Szenario 2 berücksichtigt eine Bewässerung von fast allen Kulturen in der Projektregion. Ausgenommen wird die Hälfte des Sommer- und Wintergetreides, da nicht in jedem Fall von einer Bewässerungswürdigkeit auszugehen ist und vereinzelte Niederschläge in diesem Szenario noch für annehmbare Erträge ausreichen könnten. Somit würde auf 4.840 ha Fläche 5,2 Mio. m³/a bewässert werden. In Szenario 3 ist von einer so umfangreichen Trockenphase auszugehen, dass alle Flächen mit allen Kulturen in der Region zur Sicherstellung von Qualität und Erträgen bewässerungswürdig sind. Damit würden auf 7.380 ha Fläche 8,1 Mio. m³/a bewässert werden.

6.3.2 Entgeltmodellierung für landwirtschaftliche Lastenträger

Auf Grundlage der in Kapitel 5 beschriebenen fixen und variablen Kosten sowie der in Kapitel 6.3.1 beschriebenen Bemessungsgrundlagen, können unter Berücksichtigung verschiedener Zielsetzungen aus Kapitel 6.1.1 Tarifmodelle berechnet werden. Dabei werden folgende Annahmen als Rahmenbedingungen genutzt:

- Die Infrastrukturen sind für eine Infiltration von 8 Mio. m³/a dimensioniert.
- In jedem Szenario werden am Betriebswasserwerk 8 Mio. m³/a gepumpt und in den Grundwasserleiter infiltriert. Auch wenn weniger Abnahme in Abhängigkeit von Szenarien stattfinden würde, wäre so eine ausgeglichene Bilanz und eine potentielle temporäre Übernutzung in Extremjahren ermöglicht.
- Die Erlöse sollen alle in Kapitel 5 beschriebenen und jährlich entstehenden Kosten decken.
- Die Erlösstruktur soll im Sinne der Entgeltstabilität 70 % fix zu 30 % variabel sein.
- Die Förderung für die Anfangsinvestitionen betragen 5,6 Mio. € aus der öffentlichen Hand.
- Trotz Förderung werden kalkulatorische Abschreibungen in einer für den nachhaltigen Infrastrukturerhalt angemessenen Höhe gebildet. Die Differenz aus bilanziellen und kalkulatorischen Abschreibungen bleibt zwingend beim investierenden Unternehmen/Verband.
- Die finanziellen Lasten werden, abgesehen von der Förderung, allein durch die Landwirtschaft getragen

Abb. 23: Statische Tarifmodellierung bei Kostenträgerschaft durch Landwirte

	Szenario 1: Mindestbewässerung 1.722 ha 1.994.000 m ³ /a	Szenario 2: 4.840 ha 5.230.500 m ³ /a	Szenario 3: Maximalbewässerung 7.380 ha 8.143.500 m ³ /a
OHNE FÖRDERUNG	Grundpreis: 1.520 €/ha Mengenpreis: 57 ct/m ³	Grundpreis: 541 €/ha Mengenpreis: 21 ct/m ³	Grundpreis: 355 €/ha Mengenpreis: 14 ct/m ³
MIT FÖRDERUNG	Grundpreis: 1405 €/ha Mengenpreis: 52 ct/m ³	Grundpreis: 500 €/ha Mengenpreis: 20 ct/m ³	Grundpreis: 328 €/ha Mengenpreis: 13 ct/m ³

Quelle: Eigene Darstellung.

Die in Abbildung 23 dargestellten Preise wären die Belastung, die ein Betrieb entsprechend seiner Struktur und seiner Bewässerungsmengen zu tragen hätte. Bei der Literaturrecherche stößt man auf Referenzwerte von bspw. netto 23 ct/m³ Kosten für die Beschaffung von Wasser durch einen Bewässerungsverband bei einem rein variablen Preis.⁶⁹ In keinem der 45 Bewässerungsverbände in Uelzen übersteigen die Kosten netto den Maximalbetrag von 50 €/ha und 20 ct./m³ (vgl. Kapitel 4.2.2). Während Referenzzahlen von Bewässerungsverbänden nicht einfach zu recherchieren sind, da genaue Beitragsordnungen mit Höhe der Entgelte nicht öffentlich zugänglich sind, wird deutlich, dass eine kostendeckende Umlage auf Landwirte in der Projektregion eine Umsetzung der Infiltration nicht alleine tragen können. Die Kosten liegen selbst im günstigsten Szenario im Grundpreis von 328 €/ha um ein Vielfaches über den genannten wettbewerbsfähigen Referenzzahlen. Der variable Bestandteil ist insofern nicht komplett vergleichbar, da im Raum Uelzen eine netzgebundene Wasserlieferung vorliegt, sodass dem Betrieb selbst keine Kosten mehr für Pumpen und Weitertransport entstehen. Unabhängig davon, ob es zu einer Förderung kommt oder nicht, würden in Szenario 1 die Kosten für Bewässerung die wettbewerbsfähigen Zahlen weit übertreffen.

In Kapitel 6.1.1 wurden Leitkriterien zur Bewertung statischer Tarife hervorgehoben, die bei einer Projektumsetzung besonders zu berücksichtigen wären. Daher wird im Folgenden Bezug genommen, inwieweit das kalkulierte statische Entgeltmodell diesen Kriterien genügen würde und wo es Entwicklungspotential, bspw. hin zu dynamischen Entgeltmodellen, gibt.

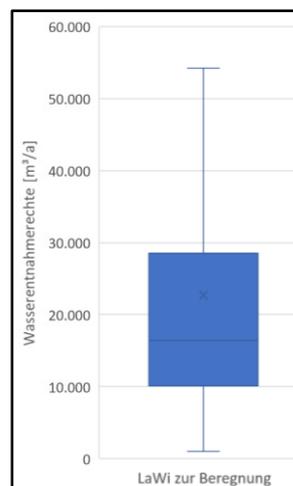
Die **Entgeltstabilität** ist durch die Erlösstruktur von 70 % fixen zu 30 % variablen Erlösen als Kalkulationsgrundlage hoch priorisiert und somit in diesem statischen Tarif ausreichend berücksichtigt. Bei einer Projektumsetzung ist im Sinne des nachhaltigen Infrastrukturerhalts sicherzustellen, dass die tatsächliche Kostenstruktur ausreichend erfasst wird, um sicherzustellen, dass die Kosten- und Erlösstruktur in einem möglichst ähnlichen Verhältnis angepasst ist. Andernfalls würde bei einer geringeren Wasserentnahme eine Kostendeckungslücke entstehen, für

⁶⁹ Vgl. KTBL (2013), S. 108.

deren Deckung weiterführende Regelungen gefunden werden müssten. An dieser Stelle könnte sich erneut an den Erfahrungen bestehender Bewässerungsverbände orientiert werden: Im hessischen Ried werden die am Ende eines Geschäftsjahres nicht gedeckten Kosten auf die gesamte Bewässerungsmenge des Geschäftsjahres aufgeteilt und jeder bewässernde Landwirt beteiligt sich an der Kostendeckungslücke entsprechend seiner Entnahmen (vgl. Kapitel 4.2.2).

Mit Blick auf die landwirtschaftlichen Wassernutzer, ist die **Verursachergerechtigkeit** in diesem Ansatz ausgeprägt berücksichtigt: Die fixen Kosten entstehen nicht auf Grundlage der Brunnen, aus denen eine breite Spanne von Wasser entnommen werden könnte, sondern auf Grundlage der bewirtschafteten Fläche. Damit zahlen Landwirte mit großen Wirtschaftsflächen entsprechend mehr als Betriebe mit kleineren Flächen, weil für sie gedanklich mehr vorgehalten wird. Dies gilt auch für den Fall, dass er im Ausgangszustand wassereffizientere Kulturen anbauen würde. Er könnte sich ja theoretisch umstellen. Dennoch besteht hier die Gefahr, dass Landwirte viel Fläche mit ihrem Betrieb bewirtschaften, tatsächlich aber nur eine sehr geringe Menge bewässern. Um dem vorzubeugen, könnte der fixe Tarifbestandteil aufgeteilt werden. Die Option früher oder später mit den eigenen Flächen in die Bewässerung einsteigen zu können, also die Vorhalteleistung, würde weiterhin mit einem Anteil von bspw. 50 % des fixen Tarifbestandteils je ha berechnet. Der restliche Teil könnte auf Grundlage der bestehenden WER in Blöcken verteilt werden. In Kapitel 3.1.2 wurde in Abb. 7 die Verteilung der Größenordnung der WER als Boxplot abgebildet. Abgesehen von Ausreißern nach oben wird hier deutlich, dass die Quartile sich um ein Vielfaches unterscheiden können (vgl. Abb. 24). Ein Viertel der WER befindet sich in der Größenordnung bis 10.000 m³/a, das zweite Viertel zw. 10.000 m³/a und rund 16.000 m³/a. Die andere Hälfte der Entnahmen liegt teilweise bis zu rund 55.000 m³/a - um ein Vielfaches höher.

Abb. 24: WER Landwirtschaft zur Bewässerung



Quelle: Rohdaten aus Vorläuferprojekt (2019).

Im Rahmen dieser Quartile könnten bspw. die fixen Blockpreise steigen, um Landwirte, für die mehr Kapazität zur Versickerung vorgehalten wird höher zu bepreisen und so mehr

Verursachergerechtigkeit zu bewirken. Ein Landwirt, der bspw. sehr mengeneffizient Beeren in Folientunneln mit Tropfbewässerung bewirtschaftet, hätte so einen deutlich geringeren fixen Tarifbestandteil als ein Landwirt, der auf derselben Flächengröße Mais mit einer Trommelberegnung bewirtschaftet. Eine Hürde dieser Systematik wird allerdings durch mehrere WER innerhalb eines Betriebes gebildet, wodurch der Erhebungsaufwand steigt, da die WER einzelnen Betrieben zu geschlüsselt und aufsummiert werden müssten. Gleichzeitig wäre mit einem differenzierten fixen Tarifbestandteil ein erster Ansatz geschaffen, um der komplexen Struktur der Nachfrager (vgl. Kapitel 4.3.2) gerechter zu werden.

Der **laufende Erhebungsaufwand** bei einer Einführung von Tarifen für landwirtschaftliche Wasserentnahmen wird hochgradig abhängig vom eingeführten Zählwesen sein. Die wichtigsten Spezifikationen wurden bereits in Kapitel 4.3.4 erarbeitet. Mit dem Fokus auf den laufenden Erhebungsaufwand, sind besonders die genaue Erfassung von Entnahmen, die mögliche digitale Zuordnung verschiedener Betriebe an einer Entnahmestelle sowie die automatisierte digitale Übermittlung an den Bewässerungsverband zur Abrechnung verbunden. Auch komplexe statische Tarife würden sich mit einem derart ausgestalteten System mit einem überschaubaren laufenden Erhebungsaufwand abbilden lassen.

Anreize zur Kostenreduktion dürften in jedem Tarifszenario gegeben sein: In NRW erzielt ein Landwirt im Ackerbau durchschnittlich jährlich Umsatzerlöse von 950 € pro ha.⁷⁰ Bei einem Mengenpreis von 13 ct/m³ im günstigsten Szenario und einer moderaten jährlichen Wassergabe von 100 mm (entspricht 1.000 m³/ha), würden allein 130 € für den Zugang zur Zusatzbewässerung anfallen. Das entspricht bereits 14 % der Umsatzerlöse je ha. Würde man in diesem günstigsten Szenario tatsächlich einen Grundpreis von 328 €/ha bepreisen, wären das in Summe bereits 50 % der Umsätze je ha. In jedem Fall wären die Kosten zur Bereitstellung von Wasser durch einen Bewässerungsverband je ha so hoch, dass ein ausreichender Anreiz zur Kostenreduktion im Rahmen der Entnahmen und somit auch in der potentiellen Dimensionierung oder jährlichen Pumpleistung bei einem Bewässerungsverband gegeben wären. Der Landwirt würde die variablen Kosten pro m³ einsparen. Würde er gleichzeitig die ihm zugebilligten WER vermindern, würde er ebenfalls anteilig Grundpreise nicht abführen müssen. Mehr Menge stünde zur Verfügung, um möglichst vielen Landwirten ein Angebot für Bewässerung zu geben.

Ob positive Effekte für die **ökologische Nachhaltigkeit** generell überwiegen würden, muss bei einer Projektumsetzung letztendlich mit der UNB erarbeitet werden. Nach den aktuellen Annahmen dürften diese überwiegen.⁷¹ Durch die Einführung eines Tarifs mit variablem Preisbestandteil würde der Grundwasserkörper nicht nur quantitativ geschont, sondern es würde auch gezielter mit der optimalen Bewässerungsmenge bewirtschaftet werden, wodurch Auswaschungen von Düngemitteln

⁷⁰ Vgl. Zinke (2021).

⁷¹ Vgl. Meßer et al. (2023) S. 54ff.

sowie Pflanzenschutzmittelrückständen in den Grundwasserkörper sowie Oberflächengewässer minimiert werden.⁷²

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 6.1.1 in den Fokus genommenen Leitkriterien scheint das modellierte Tarifsysteem, vorbehaltlich der vorgeschlagenen konkreten Überarbeitungen in der Bepreisung bei einer Projektumsetzung, einen passenden Grundstein bei der Umsetzung eines Bewässerungsverbandes darzustellen. Während der Fokus bisher auf die Landwirtschaft zur Finanzierung eines Infiltrations- und Bewässerungsverbandes gelegt wurde und eine grundsätzlich zu hohe finanzielle Belastung festgestellt werden musste, bleibt eine finanzielle Lastenteilung mit anderen unmittelbar Vorteilshabenden wie Profiteuren der Vorhalteleistung der aktiven Grundwasserbewirtschaftung zu diskutieren.

6.3.3 Finanzielle Lastenteilung der Akteure in der Projektregion

Der Bedarf an finanzieller Lastenteilung bei einer Projektumsetzung bestimmt sich nicht allein an den Grenzen der betrieblichen Leistungsfähigkeit von Landwirten. Auch aus der Struktur der Finanzierung lassen sich Rahmenbedingungen ableiten.

Für große Infrastrukturprojekte ist es üblich, Projektfinanzierungen in Betracht zu ziehen. Zu diesem Zweck werden Projekte durch Finanzinstitutionen strukturiert und einer EK-Finanzierung durch bspw. Fonds, Rentenkassen oder Infrastrukturinvestoren geöffnet. Bei einer zu hohen EK-Quote gilt allerdings zu berücksichtigen, dass EK-Zinsen mit aktuell rund 9 % deutlich teurer sind als FK-Zinsen mit aktuell rund 4 %. Wegen des hohen Risikos sind sowohl robuste Cashflows als auch ein Projektvolumen von mehr als 65 Mio. € übliche Voraussetzungen. Das geschätzte Investitionsvolumen einer Projektumsetzung liegt aktuell bei ca. 24,7 Mio. € netto, wodurch eine Projektfinanzierung allein durch mangelnde Bereitschaft von Strukturierern sowie Investoren nicht umsetzbar erscheint. Selbst bei einem ausreichenden Volumen sind entsprechende Strukturierer mit Erfahrung in wasserwirtschaftlichen Projekten dieser Art unserer Erkenntnis nach nicht zu finden.

Eine Alternative stellt eine Finanzierung durch Kommunalanleihen dar. Grundstein ist eine FK-Finanzierung durch eine Bank, die besondere Konditionen durch Partnerschaften mit Kommunen und/oder dem Land zur Absicherung beinhaltet. Entsprechend würden längere Kreditlaufzeiten sowie günstige Zinskonditionen möglich. Die anzustrebende EK-Quote würde sich zwischen 10 % und 20 % bewegen. Ausgehend vom Bruttoinvestitionsvolumen, wären dies rund 3 – 6 Mio. €. In der gesamten Tarifikalkulation wurde von einer EK-Quote von 20 % ausgegangen. In diesem Rahmen wäre dann auch die finanzielle Beteiligung weiterer Akteure zu diskutieren. In der Machbarkeitsstudie der LW wurden die finanziellen Beteiligungsmöglichkeiten der verschiedenen Sparten bzw. Akteure in der Region in der Art der Beteiligung und dem möglichen Kostenträger in einer Übersicht abgebildet (vgl. Abb. 25).

⁷² Vgl. LWK (2021), S. 40.

Abb. 25: Finanzielle Beteiligungsgrundlagen nach Sparte

Begünstigte Sparte	möglicher Kostenträger	Art der Beteiligung
Ökologie	Öffentliche Hand	Fördergeld
Landwirtschaft	Beteiligter Betrieb	Nutzungsentgelt
Gewässerbewirtschaftung	Lippeverband	Veranlagung

Quelle: Eigene Darstellung nach: Meßer et al. (2023), S. 56.

Das Thema der Förderung durch die öffentliche Hand insbesondere zur Anfangsinvestition, wurde in Kapitel 6.2 beschrieben und entsprechende Annahmen in der Kalkulation wurden berücksichtigt. Mit Blick auf Ökologie und weitere Faktoren, sollte sich mit der Kommune gemeinsam mit der Frage beschäftigt werden, inwieweit eine jährliche Beteiligung in Form einer Mitgliedschaft, sowie eines fixen jährlichen Beitrags unmittelbar aus dem kommunalen Haushalt begünstigter Gebietskörperschaften möglich sein könnte. Die Sicherstellung der Landwirtschaft ist daneben ebenfalls ein positiver Effekt, der im Sinne der Stärkung der Region als (Land-)Wirtschaftsstandort Beachtung finden sollte. Als Szenario ist vorstellbar, dass eine Investitionsförderung in der Anfangsphase durch Land oder Bund abgebildet wird und die Kommune sich wie beschrieben langfristig beteiligt. Gespräche dazu sollten bei einer Projektumsetzung zwischen potentiell beteiligten Akteuren und der Kommune geführt werden.

Im Rahmen der bestehenden Aufgabe des LV zur Regulierung des Grundwasserstands, wurde die verbandliche Einbindung schon in Kapitel 4.3.1 näher beschrieben. Eine konkrete Chance durch die Einbindung des LV in einen, das Vorhaben tragenden Verband wäre, dass Kredit- und Zinseinstufungen sowie längere Kreditlaufzeiten auf Basis der Kredit-Rankings des LV auf einen Infiltrationsverband übertragbar sein könnten. Ferner setzt der LV im Gegensatz zur RWW i.d.R. keine EK-Verzinsung an. Die Finanzierungskosten wären signifikant niedriger.

Als Zwischenfazit der Workshops herrschte Einigkeit zwischen den Konsorten, dass man sich weiterhin gemeinschaftlich mit der Fragestellung einer zukünftigen aktiven Grundwasserbewirtschaftung beschäftigen und Fragen zu verbandlicher, technischer und finanzieller Organisation gemeinsam denken will. Über die Möglichkeiten von Landwirtschaft und LV hinaus, ist dabei eine kommunale Beteiligung sowie weiterführende finanzielle Förderung aus Bundes- und/oder Landesmitteln zu verfolgen.

6.4 Ansätze zur dynamischen Entgeltmodellierung

6.4.1 Ansätze aus dem internationalen Raum

Dynamische Entgeltmodelle sind in der deutschen Wasserwirtschaft nach heutigem Stand eher die Ausnahme: Die Bodenseewasserversorgung ist als Fernwasserversorger eines der ersten Unternehmen in der deutschen Wasserwirtschaft, das dynamische Tarifmodelle, zumindest in der Weiterverteilung an andere WVU, eingeführt hat. Gründe sind vor allem die Zunahme von Lastspitzen durch klimainduzierte Nachfrageerhöhungen sowie ein Befall der technischen Anlagen durch die sog. Quagga-Muschel, der nur mit einer kostenintensiven Ultrafiltrationstechnik vermindert werden kann. Um diese Investitionen bezahlen zu können und die Kosten verursachergerecht zu verteilen, sollen die Preise auf Basis stündlicher Entnahmewerte gebildet werden. So werden früher oder später auch die belieferten WVU eine progressive Bepreisung erfahren und sich Gedanken darüber machen müssen, in welcher Weise sie potenziell steigende Versorgungskosten an die Endverbraucher weitergeben können.⁷³ Daher wird im Folgenden im ersten Schritt ein Blick in den internationalen Raum geworfen, um zu erarbeiten, welche Herausforderungen dort zu welchen Lösungsansätzen geführt haben und einzuordnen, inwieweit diese Ansätze eine Hilfestellung für die Fragestellungen im Projektgebiet sein können.

Dynamische Blockpreise in Australien, Sydney

„Sydney Water“ ist das größte Wasserversorgungsunternehmen Australiens. Das Unternehmen ist für die Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Bereitstellung von Dränagen zur Regenwasserversickerung zuständig.⁷⁴ Um möglichen Wassernutzungskonkurrenzen vorzubeugen, arbeitet „Sydney Water“ im Rahmen des Wasserpreises mit variablen Preisbestandteilen. Dieser variable Preisbestandteil richtet sich je nach der Ausprägung der Dürrephase in der betrachteten Periode, gemessen an dem Wasserstand in ausgewählten Talsperren: Liegt der Wasserstand der Talsperren über einen Zeitraum von einem Monat unter 60 %, so steigt der variable Preisbestandteil und folglich der gesamte Wasserpreis. Dieser erhöhte Wasserpreis hat dann so lange Bestand, bis sich der Wasserstand in den Talsperren wieder auf mindestens 70 % über einen Zeitraum von 31 Tagen stabilisiert hat (vgl. Abb. 26). Auf diese Art und Weise bildet „Sydney Water“ die erhöhten Wasserversorgungskosten während Dürreperioden ab und trägt zum Ressourcenschutz bei, weil Anreize bestehen, in wasserarmen Zeiten Wasser effizienter zu nutzen. Gleichzeitig wurde der Fixkostenbestandteil des Wasserpreises reduziert, sodass Endverbraucher wirtschaftlich entlastet werden, wenn sie im Umgang mit der Ressource Wasser effizient agieren.⁷⁵

Insgesamt arbeitet „Sydney Water“ mit sogenannten „trigger-Zeiträumen“ von 31 Tagen, um jeweilige Wasserstände zu bestätigen und dementsprechend den Wasserpreis anzupassen.

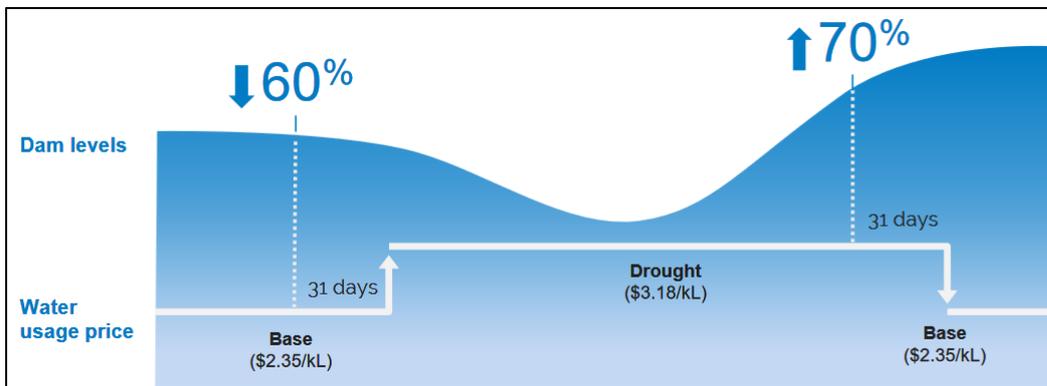
⁷³ Vgl. Gendries (2020).

⁷⁴ Vgl. IPART (2020), S.198.

⁷⁵ Vgl. IPART (2020), S. 2f.

Dadurch kommt es nur bei einer signifikanten Wasserstandssenkung über einen längeren Zeitraum zu Wasserpreissteigerungen, womit das Unternehmen zu häufige Preisfluktuationen vermeidet. Außerdem gibt der „trigger-Zeitraum“ von 31 Tagen „Sydney Water“ Zeit, um seine Kunden über anstehende Preissteigerungen, bzw. Preissenkungen zu informieren.⁷⁶

Abb. 26: Blockpreis-Mechanismus in Sydney



Quelle: IPART (2020), S. 79.

Saisonale Tarife in Kanada, Vancouver

In Vancouver, Kanada, werden saisonale Tarife herangezogen, um die erhöhten Wasserversorgungskosten in Trockenperioden an die Haushalte weiterzuleiten. Unterschieden wird hier zwischen Hoch- und Nebensaison: Von November bis Mai unterstellt die Stadt Vancouver eine generelle regnerische Witterung, was in hohen Wasserreserven zur Wasserversorgung resultiert. Dementsprechend sinken die Kosten zur Wasserbereitstellung, sodass der Wasserpreis niedrig angesetzt wird. In der Trockenperiode von Juni bis Oktober wird gegenteilig gehandelt: Es wird eine trockenere Witterung unterstellt, was in höheren Wasserversorgungskosten resultiert. Das hat eine Wasserpreissteigerung von 25 % für die Wasserverbraucher zur Folge.

Durch diesen sommerlichen Aufpreis zielt die Stadt Vancouver darauf ab, den städtischen Wasserkonsum um 33 % zu senken, um im Umgang mit der Ressource Wasser nachhaltiger zu agieren. Die Senkung des Wasserkonsums bringt zwei Vorteile mit sich: Zum einen wird das tendenziell überlastete städtische Wasserversorgungssystem entlastet, sodass weniger kostenintensive Wartungen nötig sind. Zum anderen wird so nur mit so viel Wasser gewirtschaftet, wie zur Verfügung steht, sodass jedem Bürger eine angemessene Wasserversorgung zugesichert werden kann.⁷⁷

Doppelt progressiv gestaffelte Tarife in Südafrika, Kapstadt

Kapstadt in Südafrika stand im Jahr 2018 kurz vor dem sog. Day Zero. Nach mehreren Dürre Jahren mit schwachen und ausbleibenden Niederschlägen in Folge, drohte dort die Trinkwasserversorgung

⁷⁶ Vgl. IPART (2020), S. 79.

⁷⁷ Vgl. City of Vancouver (2021).

im Jahr 2018 abgestellt werden zu müssen.⁷⁸ Im dortigen Einzugsgebiet nutzen insb. Privathaushalte und die Landwirtschaft die Wasserressourcen, die zum Großteil aus sechs großen Stauseen stammen. Die Situation verschärfte sich durch eine stark wachsende Bevölkerung und künstliche Bewässerung immer weiter. Während die Pegelstände der Stauseen über die Jahre immer weiter fielen, wurden zahlreiche Maßnahmen umgesetzt und der Day Zero wurde so verhindert. Die Strategie beinhaltete die drei Bereiche Monitoring der Pegelstände in Stauseen, Nachfragesteuerung der Nutzer und Erschließung anderer Wasserressourcen. Ein wichtiges Instrument war u.a. die Sensibilisierung von Wassernutzern und die Transparenz der Wasserversorgung über ein Dashboard. Außerdem wurde die Wassernutzung in Haushalten, Industrie und Landwirtschaft in verschiedenen Levels stark eingeschränkt, stets in Abhängigkeit von den transparent kommunizierten Pegelständen in den Stauseen. Um Landwirte zu erreichen, die sich vor allem autark durch eigene kleine Dämme versorgen, gab es wiederum Kooperationen mit anderen Institutionen, die die erteilten Restriktionen kontrollieren sollten.⁷⁹

Ein wichtiges Instrument bei der Nachfragesteuerung der Nutzer sind progressive Tarife für die Wasserversorgung, die monatlich abgerechnet werden. Ein fixer Kostenbestandteil orientiert sich am Leitungsmesser des Hausanschlusses und soll ca. ein Viertel der Fixkosten decken, die durch den Hausanschluss entstehen. Als bedürftig registrierte Haushalte zahlen einen deutlich geringeren Fixkostenanteil.⁸⁰ Welche Haushalte sich als bedürftig registrieren können, wird klar anhand einiger Kriterien sowie dem monatlichen Einkommen geregelt.⁸¹

Der variable Kostenanteil wurde in zwei Dimensionen progressiv gestaltet. Die erste Dimension stellen die Füllstände der Stauseen dar.⁸² Die zweite Dimension stellen, wie in Abb. 27 zu sehen, die vier Stufen in Abhängigkeit der monatlich genutzten Wassermenge in Privathaushalten oder anderen Sektoren, wie der Industrie, dar. Bedürftige Haushalte zahlen in den ersten zwei Stufen keinen variablen Preisbestandteil für das genutzte Trinkwasser, werden allerdings auch bei Überschreitung der täglichen Abgabemenge automatisch durch ein installiertes sog. Water-Management-Device⁸³ vom Netz genommen.⁸⁴

Durch die langfristige Umsetzung weiterer Maßnahmen, wie der Entsalzung von Meerwasser und verstärkter Wasserwiederverwendung, könnten die progressiven Tarife und die abgestuften Restriktionen langfristig weiter abgebaut werden.⁸⁵ Es bleibt hervorzuheben, dass, auch wenn das Lösungsmodell von Kapstadt effektiv funktioniert hat, die Entgeltgestaltung keine Lenkungswirkung

⁷⁸ Vgl. LaVanchy / Kerwin / Adamson (2019), S. 1f.

⁷⁹ Vgl. City of Cape Town (2018a), S. 2ff.

⁸⁰ Vgl. City of Cape Town (o.J. a).

⁸¹ Vgl. City of Cape Town (o.J. b).

⁸² Vgl. City of Cape Town (2020a), S. 1.

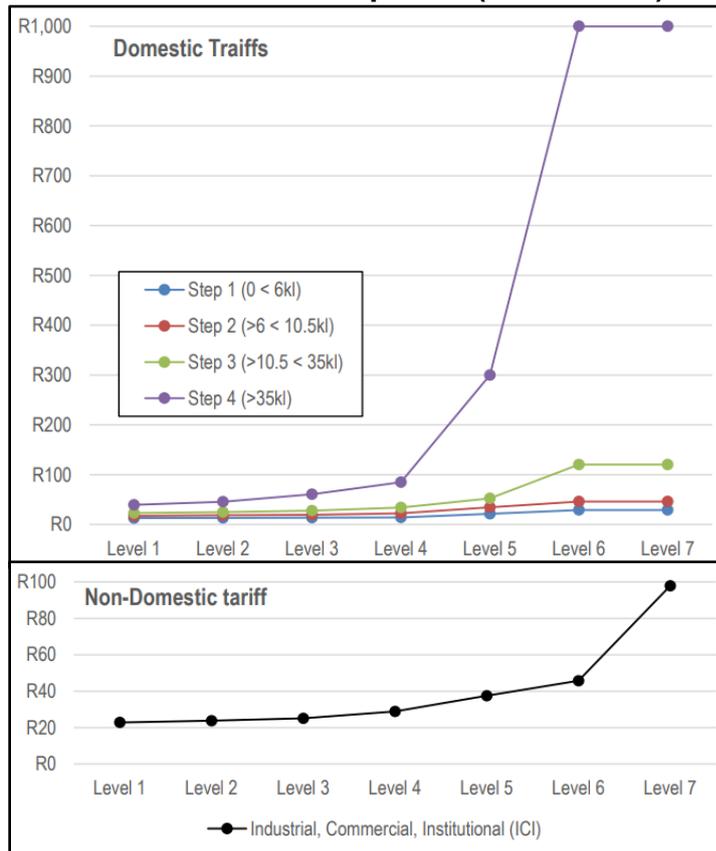
⁸³ Vgl. City of Cape Town (o.J. c), S. 1f.

⁸⁴ Vgl. City of Cape Town (2020b), S. 15ff.

⁸⁵ Vgl. City of Cape Town (o.J. d), S. 25ff.

bei der Landwirtschaft erzielen konnte, da deren Wasserentnahme nicht durch das öffentliche Netz stattfindet. Gleichwohl wurde auf das verschärfte Monitoring hingewiesen.

Abb. 27: Progressive Wassertarife in Kapstadt (Stand 2018)



Quelle: City of Cape Town (2018b), S. 5.

Handelbare Wasserrechte in Kalifornien

In Kalifornien besteht ein Spot- und ein Future-Markt zum Handel von Wasser, in dessen Rahmen Akteure wie Städte oder Landwirte ihre Wasserrechte innerhalb verschiedener Zeithorizonte handeln können. Während es schon länger eine Form des Spot-Markts gab, wurde in der jüngeren Vergangenheit ein Future Markt ergänzt. Dieser Markt bildet allerdings keinen physischen Handel der Ressource ab, sondern nur sog. „Cash-settled-futures“ – also den Übergang des Differenzbetrags zwischen verhandeltem Preis und Marktpreis bei Fälligkeitsdatum des Futures. Die Idee soll die Risikoabsicherung für Landwirte im Fall von Dürren oder anderen Einflüssen sein. Akteure auf dem Markt können sowohl Landwirte, aber auch Kommunen und Spekulanten sein. Auf dem Markt wird wohl nur eine begrenzte Anzahl des verfügbaren Wasservolumens (ca. 15 %) gehandelt.⁸⁶

Der Preis wird wöchentlich bei der NASDAQ im Nasdaq Veles California Water Index (NQH20) gebildet, wo die Futures auch gehandelt werden. Bei der Preisbildung spielt der Preis beim physischen Wasserhandel auf verschiedenen Märkten in Kalifornien (Oberflächenwasserhandel und

⁸⁶ Vgl. Hanak/ Sencan/ Ayres (2021), S. 1f.

vier Grundwasserhandelsmärkte) die größte Rolle. So wird immer Mittwochs der Preis resultierend aus dem Handel der letzten Kalenderwoche ermittelt. Die Kontrakte selbst enden üblicherweise jeweils zum Quartalsende. Die Futures können allerdings stets weiter gehandelt werden. Wer also den Future hält, kann ihn auch vor seiner Fälligkeit weiterverkaufen. Das Handelsvolumen eines einzelnen Future-Vertrags ist stets auf 10 acre-feet Wasser bezogen und kann bis zu zwei Jahren Laufzeit haben. Landwirte nehmen rege an dem Handel teil, da sie nach Möglichkeiten suchen, ihre Risiken in Trockenjahren zu vermindern.⁸⁷

Reverse Auctions von Wasserentnahmerechten in England, Wales

In England versucht das Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsunternehmen „Wessex Water“ durch sogenannte „reverse auctions“ möglichen Wassernutzungskonkurrenzen vorzubeugen. Dazu wurde die Auktionsplattform „EnTrade“ erstellt, die mittlerweile auch von anderen Wasserunternehmen benutzt werden kann. Hier können Landwirte entweder überschüssiges Beregnungswasser zur Auktion zur Verfügung stellen, oder noch benötigtes Beregnungswasser von anderen teilnehmenden Landwirten erbiten. Dadurch erhofft sich „Wessex Water“ das vorhandene Wasser durch Angebot und Nachfrage unter den Landwirten zu verteilen.

Abgesehen von den „reverse auctions“ arbeitet zusätzlich die Environmental Agency - kurz EA – mit Wasserentnahmelizenzen, um die Menge an entnommenem Oberflächenwasser zu regulieren. Diese Lizenz gilt für jedes Unternehmen, das täglich mindestens 20 m³ Wasser aus sämtlichen Oberflächengewässern Englands entnimmt, als verpflichtend. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und prognostiziertem Bevölkerungswachstums bis 2050, werden die Preise für diese „water abstraction licenses“ nun erheblich teurer. Mithilfe der daraus entstehenden zusätzlichen finanziellen Mittel plant die Environmental Agency vor allem weitere Investitionen in die Infrastruktur der Wassernetze, um Wasser effizienter durch England leiten zu können.⁸⁸

6.4.2 Übersicht der internationalen Ansätze

Im Vergleich der Herausforderungen und Lösungsansätze verschiedener Regionen in verschiedenen Ländern fällt auf, dass die Herausforderungen zumeist im Zusammenhang mit Knappheiten des Dargebots bei der Wasserressource zu sehen sind und die Lösungen entweder im Bereich dynamischer Bepreisung oder dem Handel von Entnahmerechten liegen (vgl. Abb. 28).

⁸⁷ Vgl. Kammeyer (2021).

⁸⁸ Vgl. Environmental Agency (2014).

Abb. 28: Überblick zu Lösungsansätzen aus dem internationalen Raum

Land	Herausforderung	Instrument	Besonderer Bezug zur Landwirtschaft?
Australien Sidney Water	Sinkende Talsperrenpegel in Dürrephasen	Blocktarif mit 31 Tagen „Trigger“-Zeitraum in Abhängigkeit des Füllstands der Talsperre Erhöhung variabler und grundsätzliche Absenkung fixer Preisbestandteile Größte Preisauswirkung auf Großnutzungen	Für Kunden des Wasserversorgers, kein spez. Bezug LaWi
Südafrika Kapstadt	Vermeidung sog. Day Zero, also dem Leerlaufen der Talsperren zur Versorgung von Kapstadt	Doppelt progressive Blocktarife in Abhängigkeit vom Füllstand der Talsperre	Mengenabh. Tarife für Haushalte, für „non-domestic“ mengenunabhängig
Kalifornien Fox-Canyon-Groundwater market	Risikoabsicherung von Landwirten im Fall von Dürren und Trockenheit	Handelbare Wasserrechte über Spot- und Future-Märkte Future allerdings ohne physischen Handel	LaWi soll Risiken in Trockenjahren absichern können
Kanada Vancouver	Abnehmendes Wasserdargebot und steigende Versorgungskosten im Sommer	Saisonale Tarife zu definierten Zeiträumen (1. Mai bis 15. Oktober) Zusätzlich im Sommer innerhalb des Tages (Garten-)Bewässerung zeitlich nach gerade und ungeraden Hausnummern aufgeteilt	Separate Zeiträume für Bewässerung im „non-residential“ Bereich
England Wales	Vorbeugung von Wassernutzungskonkurrenzen	(Physischer) Handel von Beregnungswasser Sog. Wasser-Lizenzen ähnlich WER, WEE werden wg. Klimawandeltendenzen aufgehoben	Auktionsteilnehmer und Rechteinhaber sind insb. Landwirte

Quelle: Eigene Darstellung.

Dynamische Entgelte setzen in verschiedener Form Anreize zum effizienten Umgang mit Wasser. Kommt es zu einer Knappheitssituation oder verändern sich die Rahmenbedingungen bspw. saisonal, sodass die Wahrscheinlichkeit für eine Knappheitssituation steigt, dann steigt auch das Entgelt für die Wasserentnahme. Im saisonalen Modell in Kanada bewegen sich die Entgelte dafür zwischen zwei Staffeln. In dargebotsabhängigen Modellen, wie bspw. in Kapstadt oder in Australien bewegen sich die Entgelte ebenfalls in Staffeln. In allen Modellen müssen Entnahmen mit einem Zeitstempel erfasst werden, sodass eine spätere genaue Abrechnung möglich ist. Außerdem müssen mit Ausnahme von Vancouver Wechsel zwischen den Entgeltstaffeln unmittelbar kommuniziert werden, sodass Nachfrager reagieren können und sollen. Während es in Australien Trigger-Zeiträume von 31 Tagen gibt, um die Umstellung ausreichend kommunizieren zu können, gibt es in Kapstadt mehrere Staffeln die deutlich dynamischer wechseln können, womit die schnelle Kommunikation an Bedeutung gewinnt. Ein hochdynamisches progressives Modell wie in Kapstadt wäre bei einer Einführung dynamischer Entgelte sicher unangemessen komplex für einen Bewässerungsverband wie auch für nachfragende Landwirte und wäre bei ausreichender Grundwasserbewirtschaftung in Normaljahren auch nicht notwendig. Daher sollten insbesondere einfache dynamische Blocktarife für die Modellregion diskutiert werden, die zu effizientem Wassereinsatz motivieren. Komplexere Modelle könnten für Extremjahre bereitgehalten werden und wären einfach zu etablieren, wenn alle Akteure bereits Erfahrungen mit dynamischen Blockentgelten gesammelt hätten.

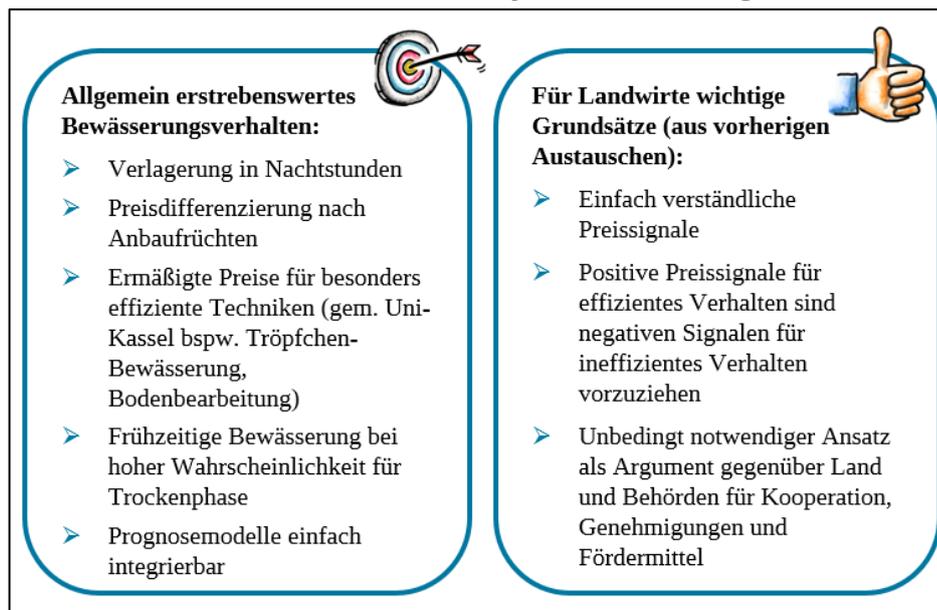
Der Handel von WER analog den Beispielen aus Kalifornien und England scheint in der Projektregion nicht unmittelbar anzudenken zu sein. Durch die aktive Grundwasserbewirtschaftung soll sichergestellt werden, dass genug Wasser für alle Akteure vorhanden ist und die Tarife sollen einen effizienten Umgang mit dem Wasser anreizen, während sie gleichzeitig zu einer kostendeckenden Finanzierung führen. Ein Handel von WER wäre zu diskutieren, wenn sich die Knappheitssituation nicht auflöst und die Wasserressource damit begrenzt bleibt. So könnte der

Wassereinsatz dort sichergestellt werden, wo er am ökonomisch sinnvollsten ist. Die Transaktionskosten für eine solche Systematik, die Weiterbildung und der Zeitaufwand für Landwirte (bspw. zu Hedging/Risikoabsicherung durch WER-Handel) sowie die unklaren rechtlichen Fragestellungen der bestehenden Gesetzgebung zu WER rücken diesen Lösungsansatz im Vergleich zu dynamischen Entgelten allerdings in die Ferne.

6.4.3 Zielsetzung und Modellierung dynamischer Entgelte

Die Systematik und der Nutzen von dynamischen Entgelten im Bereich der variablen Preisgestaltung eines Tarifmodells wurde während der Projektlaufzeit mit landwirtschaftlichen Projektpartnern diskutiert. Die Vorteile wurden vor allem darin erkannt, effizientes Bewässerungsverhalten incentivieren zu können und so einen sparsamen Umgang mit der Wasserressource, auch mit bestehender Bewässerungstechnik, abbilden zu können. Spannend ist vor allem die Berücksichtigung der bestehenden Bewässerungstechnik, denn Investitionsentscheidungen wurden unter den gegebenen Rahmenbedingungen in den Betrieben getroffen und Investitionen entsprechend getätigt. Im Rückschluss sind manche Investitionen noch nicht abgeschlossen und befinden sich eventuell sogar erst seit kürzerer Zeit in der Nutzung. Die Investition in effizientere Bewässerungstechnik ist in der Breite der Betriebe wohl erst mittelfristig zu erwarten, wenn Vertrauen in einen Bewässerungsverband aufgebaut und vertiefende Beratung sowie Weiterbildung durchgeführt wurde.

Abb. 29: Anreizeile und Grundsätze für dynamische Entgelte



Quelle: Eigene Darstellung.⁸⁹

In den Fokus der Zielsetzung dynamischer Entgelte sollte, aus fachlicher Landwirtschaftsperspektive, die Bewässerung in Nachtstunden gelegt werden (vgl. Abb. 29). Dies

⁸⁹ Informationen entstammen Austauschformaten mit landwirtschaftlichen Vertretern aus der Projektregion.

gilt umso mehr, je wärmer die Lufttemperatur ist. Auf diese Weise lassen sich, auch beim weiteren Einsatz der bestehenden Technik, Verdunstungseffekte bei täglicher Sonneneinstrahlung minimieren. Um dem Bedürfnis eines möglichst einfachen Preissignals gerecht zu werden, könnte das Modell in den Bewässerungsmonaten in den Tagstunden ein variables Standardentgelt beinhalten, das sich zu den Nachtstunden vergünstigt. Damit wäre auch dem Wunsch nach einem positiven Anreiz genüge getan, den Landwirte in Gesprächen und Workshops anregen. Die genaue Höhe des Entgelts müsste im Sinne der Erlösstabilisierung gleichwohl so festgelegt werden, dass sie auch bei einer Verlagerung der Bewässerung in die Nachtstunden zu kostendeckenden Erlösen führt. Wenn man der tatsächlichen Witterung bei der Modellierung gerecht werden wollte, könnte man diese in den Entgeltstufen berücksichtigen. An Tagen, an denen weniger Sonneneinstrahlung und mehr Bewölkung prognostiziert ist, könnten die Entgelte entsprechend sinken. So würde zu Tagstunden bewässert werden können und der Boden würde Wasser für bevorstehende Trockenphasen aufnehmen, ohne dass schon bei der Wassergabe große Verdunstungseffekte entstünden. Allerdings würde damit eine Verbindung von Prognosemodellen nötig werden und die Kommunikation der geltenden Entgeltstufen würde an Bedeutung gewinnen. Das Modell würde keinen intuitiven festgesetzten täglichen Regeln mehr folgen, sondern je nach Witterung andere Entgelte bereithalten.

Effiziente Bewässerungstechnik ist aus verschiedenen Gründen wie Arbeits- und Energiekosten im Einsatz deutlich teurer als Großflächenregner. Eine Entgeltmodellierung kann auch von der eingesetzten Technik abhängig gemacht werden, sodass effiziente Bewässerungstechnik grundsätzlich günstigere Bereitstellungskosten für Wasser verursacht. Hierfür wären entsprechende Erfassungen in einer digitalen Abrechnungsplattform notwendig, die vom Landwirt bei Einsatz der entsprechenden Technik eingepflegt werden müssten. Alternativ könnte der benötigte Druck ein Indikator für die genutzte Technik sein, wobei ein Zähler dann zusätzlich mit einem Drucksensor ausgestattet sein müsste. So würde der Schritt zu einer Neuinvestition in effiziente Technik zusätzlich angereizt werden. Im Ergebnis hängen die sinnhaften Optionen von der Weiterentwicklung der Zähler ab. Sind Informationen empfangende Zähler – z.B. sich verändernde Preise im Zeitverlauf - hinsichtlich ihrer Energieeffizienz ähnlich entwickelt, lassen sich komplexere dynamische Preismodelle entwickeln. Auf diese Weise ließe sich auf sich sehr konkret verändernde Rahmenbedingungen mit preislichen Anreizen reagieren und über Smart Devices vorprogrammierte Handlungen, wie das automatisierte Bewässern, auslösen. So lange ein zusätzlich empfangender Zähler häufigere Batteriewechsel erfordert, ließe sich zunächst mit saisonalen Modellen, die sich durchaus feiner ausgestalten lassen, starten. In jedem Fall sind dynamischere Preissysteme mit positiven Anreizen anzuregen, weil hiermit ein effizientes Handeln aller und damit die maximale Belieferung mit Wasser in Knappheitssituationen gewährleistet wird. Das Gefühl, fair behandelt zu werden, steigt, wenn das Monitoring so ausgestaltet ist, dass die Entnahme eines jeden vollumfänglich und zweifelsfrei dokumentiert ist. „Alle ziehen dann am selben Strang“.

7 Fazit

Die angesteuerte Lösung der aktiven Grundwasserbewirtschaftung ist ein fachlich komplexes und kapitalintensives Vorhaben. Gleichwohl ist die Ausgangslage in der Region hinsichtlich Klimafolgeanpassungen, für landwirtschaftliche Wasserentnahmen und zum Bestehen und der Vergabe von Wasserentnahmerechten in einem Ausmaß zugespitzt, das die Größe der angestrebten Lösung sowie die ganzheitlichen Gedankenansätze rechtfertigt.

Im Laufe der Projektarbeit von KlimaBeHageN gab es nicht nur technischen Erkenntniszugewinn. Die Akteure aus der Projektregion haben sich bei der Diskussion rund um Fragen von Organisation und Finanzierung aufeinander zubewegt. Die Erarbeitung der zu erwartenden Gesamtkosten und die Umlage allein auf landwirtschaftliche Akteure verdeutlichten, dass das angestrebte Vorhaben aus finanzieller Sicht nicht durch die Landwirtschaft allein zu stemmen ist. Die Diskussion um Kernaufgaben und Kernkompetenzen zeigte zugleich, dass das Vorhaben auch aus technischer und fachlicher Perspektive nicht allein zu bewerkstelligen ist. Das Projekt einer Pump-, Transport- und Infiltrationsinfrastruktur zur aktiven Grundwasserbewirtschaftung sowie das dafür notwendige Grundwassermonitoring scheint allein als Gemeinschaftsaufgabe in der Region bewältigbar. Dafür sprechen nicht nur die Fähigkeiten der einzelnen Akteure, sondern auch die bestehenden Aufgaben und Bedürfnisse rund um den Grundwasserhaushalt sowie die durch Klimawandelfolgen induzierten Herausforderungen einer zunehmenden Knappheit im Grundwasserdargebot.

Im Sinne einer ganzheitlichen und gemeinschaftlichen Bewältigung der skizzierten Aufgabe, empfiehlt sich ein partizipativer Ansatz in der verbandlichen Organisation. Der Lippeverband mit seinen Aufgaben in der Region, die RWW als Trink- und Brauchwasserversorger sowie die Landwirtschaft mit ihrem Netzwerk und ihrer Beratungskompetenz sollten sich gemeinsam, fachlich wie finanziell, in einer der vorgeschlagenen verbandlichen Organisationsformen zusammenfinden und eine konkrete Projektumsetzung planen. In den nächsten Schritten sind aus Organisationsperspektive folgende Fragen zu klären:

- Inwieweit wollen die Projektpartner technisch, organisatorisch wie finanziell verbindlich aktiv werden?
- Wie soll sich die öffentliche Beteiligung ausgestalten (Bund, Land, Kommune)?
- Welche Schnittstellen können mit den Wasser- und Naturschutzbehörden vor Ort geschaffen werden? Wie wird die Zusammenarbeit geplant, um gegenseitig voneinander profitieren zu können?
- Wie sind die Vorschläge zur Organisationsform aus juristischer Perspektive zu bewerten?
- Mit welchem Partner wird in welcher Form das Zählwesen für landwirtschaftliche Wasserentnahmen aufgebaut?

Literatur

Anter, Jano et al. (2017), Entwicklung des regionalen Bewässerungsbedarfs – Engpässe in der Zukunft?, in: Schimmelpfennig, Sonja et al. (2017), *Bewässerung in der Landwirtschaft Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg*, Quelle: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059620.pdf, Zugriffsdatum: 09.04.2022, S. 125 - 135.

Bauer, Tobias (2019), Einsatz von Funkwasserzählern in der Wasserversorgung: ein Erfahrungsbericht, in *energie | wasser-praxis* 10/2019.

BbgWG (BB), Brandenburgisches Wassergesetz v. 02.03.2012, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Dezember 2017 (GVBl.I /17, Nr. 28).

Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater PartGmbH (2020), *Alte Wasserrechte erlöschen am 1.3.2020 - oder doch nicht?*, Quelle: <https://www.bbh-blog.de/allen-themen/wasser/alte-wasserrechte-erloeschen-am-01-03-2020-oder-doch-nicht/>, Zugriffsdatum: 26.03.2021.

Becker Büttner Held Rechtsanwälte Wirtschaftsprüfer Steuerberater PartGmbH (2022), *Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung bei zunehmenden Nutzungskonkurrenzen – Schlüsselrolle Entnahmerechte* –, Vortrag auf der Mülheimer Wasserökonomischen Tagung in Mülheim an der Ruhr.

Beregnungsverband Vorderpfalz (o.J. a), *Regen nach Maß – Über uns*, Quelle: <https://www.beregnungsverband.de/regen-nach-mass/ueber-uns.html>, Zugriffsdatum: 17.11.2021.

Beregnungsverband Vorderpfalz (o.J. b), *Satzung des Wasser- und Bodenverbandes zur Beregnung der Vorderpfalz*, Quelle: <https://docplayer.org/45205614-6-8-satzung-des-wasser-und-bodenverbandes-zur-beregnung-der-vorderpfalz.html>, Zugriffsdatum: 14.12.2021.

Beregnungswasserverband Hessisches Ried (2020), *Konsolidierte Fassung der Satzung*, Quelle: https://www.whr-beregnung.de/fileadmin/user_upload/WHR-Beregnung/20191209_konsolidierte_Satzung_WHR_Beregnung.pdf, Zugriffsdatum: 16.11.2021.

Berlemann, Michael / Eurich, Marina / Haustein, Erik (2022), Konjunkturschlaglicht: Inflation in Deutschland gewinnt an Fahrt, *Wirtschaftsdienst*, ISSN 1613-978X, Vol. 102, Iss. 4, pp. 319-320, Heidelberg: Springer.

Birmele, Janine / Winski, Alfred (2020), *Konzeption zur Beregnung der Sonderkulturen – Wasserrechtsantrag*, Quelle: https://www.sexau.de/pb/site/Sexau/get/documents_E-1829602609/sexau/Dateien/pdf/Gutachten-B%C3%BCro-Winski-UVP-Vorpr%C3%BCfung.pdf, Zugriffsdatum: 17.11.2021.

Boysen-Hogrefe, Jens et al. (2022): Deutsche Wirtschaft im Herbst 2022 - Konjunktur auf Entzug, *Kieler Konjunkturberichte*, No. 95, Kiel Institut für Weltwirtschaft (IfWKiel), Kiel.

Brandt, Claudia / Rapsch, Arnulf / Pencereci, Turgut (2020), *Wasserverbandsrecht*, 2. Auflage, München: Verlag C.H. Beck.

BremWEGG (HB), Gesetz über die Erhebung einer Wasserentnahmegebühr v. zuletzt geändert durch Geschäftsverteilung des Senats vom 20.10.2020 (Brem.GBl. S. 1172).

BremWG (HB), Bremisches Wassergesetz v. 12.04.2011, zuletzt geändert durch Artikel 6 Nummer 5 des Gesetzes vom 24.11.2020 (Brem.GBl. S. 1486, 1581).

BRUNATA (2016), Technisches Datenblatt Mechanischer Aufputzzähler Typ 3, Quelle: https://www.brunata-metrona.de/site_data/user_upload/downloads/allgemein/alle/BRUNATA_Wasserzaehler_Aufputzzahler_Typ3_Technisches_Datenblatt.pdf, Zugriffsdatum: 23.03.2022.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. / Verband kommunaler Unternehmen e.V. (2012), *Leitfaden zur Wasserpreiskalkulation - Gutachten „Kalkulation von Trinkwasserpreisen“*, Quelle: https://www.bdew.de/media/documents/Pub_20120324_Leitfaden-Wasserpreiskalkulation.pdf, Zugriffsdatum: 02.04.2021.

BWG (BE), Berliner Wassergesetz v. 17.06.2005, mehrfach geändert, § 16h neu gefasst, Anlage 3 aufgehoben durch Artikel 2 des Gesetzes vom 25.09.2019 (GVBl. S. 612).

City of Vancouver (2021), *Utility meter rates for water, sewer, and energy*, Quelle: <https://vancouver.ca/home-property-development/metered-rates.aspx>, Zugriffsdatum: 15.01.2023.

Dietrich, Ottfried et al. (2015), *Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 2813HS007 der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung*, Quelle: https://www.agrarrelevante-extremwetterlagen.de/fileadmin/extremwetterlagen/pdfs/Publikationen/Veroeffentlichungen/Schlussbericht_Wasser.pdf, Zugriffsdatum: 09.04.2022.

Dultz, Johannes (o.J.), Was ist LoRaWAN?, Quelle: <https://www.lora-wan.de/>, Zugriffsdatum: 23.03.2022.

E.ON SE (2022), *Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2020 bis zum 31.12.2020*, veröffentlicht im Bundesanzeiger am 05.07.2022.

Erlei, Mathias / Leschke, Martin / Sauerland, Dirk (2016), *Institutionenökonomik*, 3. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Environmental Agency (2014), *Apply for a water abstraction or impounding licence*, Quelle: <https://www.gov.uk/guidance/water-management-apply-for-a-water-abstraction-or-impoundment-licence>, Zugriffsdatum: 08.12.2022.

European Environment Agency et al. (2017), *MANAGING WATER DEMAND IN EUROPE Price elasticity assessment of agricultural water demand*, Quelle: <https://forum.eionet.europa.eu/nrc-eionet-freshwater/library/other-reports-and-assessments/water-management-europe-price-and-non-price-approaches-water-conservation/supporting-documents/price-elasticity-assessment-agricultural-water-demand-1>, Zugriffsdatum: 12.04.2022.

European Environment Agency et al. (o.J.), *Pricing and non-pricing measures for managing water demand in Europe*, Quelle: <https://forum.eionet.europa.eu/nrc-eionet-freshwater/library/other-reports-and-assessments/water-management-europe-price-and-non-price-approaches-water->

conservation/water-management-europe-price-and-non-price-approaches-water-conservation-1/download/en/1/Pricing%20and%20non-pricing%20measures%20for%20managing%20water%20demand%20in%20Europe%2030%20May%202017%20.pdf?action=view, Zugriffsdatum: 12.04.2022.

Gemeinde Reken (2018), *Wasserversorgungskonzept der Gemeinde Reken*, Quelle: <https://reken.de/Wirtschaft-Wohnen/Wasserversorgungskonzept-PDF->, Zugriffsdatum: 25.01.2023.

Gemeindewerke Niestal, Funk-Wasserzähler (o.J.), Quelle: https://www.niestetal.de/gv_niestetal/Gemeindewerke/Wasser/Funk-Wasserz%C3%A4hler/, Zugriffsdatum: 23.03.2022.

Gendries, Siegfried (2020), Höhere Preise und ein neues Preissystem. Bodensee-Wasserversorgung investiert in die Versorgungssicherheit, Quelle: <https://www.lebensraumwasser.com/hoehere-preise-und-ein-neues-preissystem-bodensee-wasserversorgung-investiert-in-die-versorgungssicherheit/>, Zugriffsdatum: 20.04.2021.

GrdWasEntgG SL (SL), Saarländisches Grundwasserentnahmeentgeltgesetz v. 12.03.2008, zuletzt geändert durch Artikel 177 des Gesetzes vom 8. Dezember 2021 (Amtsbl. I S. 2629).

GruwaG (HH), Gesetz über die Erhebung einer Gebühr für Grundwasserentnahmen der Hansestadt Hamburg v. 26. Juni 1989, zuletzt geändert durch Gesetz vom 2. Dezember 2020 (HmbGVBl. S. 625).d

HWaG (HH), Hamburgisch Wassergesetz v. 17.02.2005, zuletzt geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 4. Dezember 2012 (HmbGVBl. S. 510. 519).

Ingenieurbüro Himmelsbach und Scheurer (2019), *Erläuterungsbericht und Berechnungen zum Beregnungskonzept Wasserrechtsantrag*, Quelle: <https://sexau.mein-intra.net/data/file/councilservice/3/3/1/DSV2020-004-Beregnungsverband-Erlaeuterungsbericht.pdf>, Zugriffsdatum: 17.11.2021.

IOTA Foundation (2022), *IOTA for Business*, Quelle: https://files.iota.org/comms/IOTA_for_Business.pdf, Zugriffsdatum: 23.03.2022

IPART (2020), *REVIEW OF PRICES FOR SYDNEY WATER*, Quelle: https://www.ipart.nsw.gov.au/sites/default/files/documents/final-report-review-of-prices-for-water-nsw-greater-sydney-june-2020_0.pdf, Zugriffsdatum: 30.01.2023.

Kammeyer, Cora (2021), *California's Water Futures Market: Explained*, Quelle: <https://pacinst.org/californias-water-futures-market-explained/>, Zugriffsdatum: 13.09.2021.

kamstrup (2022), MULTICAL® 21 -Datenblatt, Quelle: <https://www.kamstrup.com/de-de/wasserzaehlerloesungen/intelligente-wasserzaehler/meters/multical-21/documents>, Zugriffsdatum: 23.03.2022.

Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (2018), *Satzung Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen*, Quelle: <https://wasser-uelzen.de/wp->

content/uploads/2018/10/Wasser-und-Boden-Uelzen-Kreisverband-Satzung-2018.pdf,
Zugriffsdatum: 17.11.2021.

Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Uelzen (o.J.), *Über den Kreisverband*, Quelle:
<https://wasser-uelzen.de/ueber-den-kreisverband/>, Zugriffsdatum: 17.11.2021.

KTBL (2013), *Freilandbewässerung – Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen*,
Darmstadt: KTBL.

Land Nordrhein-Westfalen (2022), *Klimafeste Landwirtschaft: Land fördert Bewässerungsprojekt in Bedburg mit 5,6 Millionen Euro*, Quelle: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/klimafeste-landwirtschaft-land-foerdert-bewaesserungsprojekt-bedburg-mit-56>, Zugriffsdatum: 19.12.2022.

Landwirtschaftskammer NRW (2021), *Landwirtschaftlicher Fachbeitrag als Ergebnisbericht zum DBU-Projekt KlimaBeHageN (Dorsten)*.

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2022), *Die Landwirtschaft im Gebiet der Bezirksstelle Uelzen*, Quelle: https://www.lwk-niedersachsen.de/bezst-uelzen/news/39982_Die_Landwirtschaft_im_Gebiet_der_Bezirksstelle_Uelzen_Stand_122022, Zugriffsdatum: 25.01.2023.

Lippeverband (o.J.), *Lippeverband - Flussgebietsmanagement an der Lippe – Überblick*, Quelle:
<https://www.eglv.de/emscher-lippe/lippeverband/>, Zugriffsdatum: 25.01.2023.

Lux, Andrea (2005), *Handelbare Wasserentnahmerechte als Ergänzung der ordnungsrechtlichen Vergabepolitik*, Quelle: <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/135644/1/DF9950.pdf>, Zugriffsdatum: 26.03.2021.

LWaG (MV), Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern v. 30.11.1992, zuletzt geändert durch Gesetz vom 8. Juni 2021 (GVObI. M-V S. 866).

LWAG (SH), Wasserabgabengesetz des Landes Schleswig-Holstein v. 13.12.2013, zuletzt geändert durch § 1, 5, 6, 7, 8 und 10 (Art. 3 Ges. v. 13.11.2019, GVObI. S. 425).

LWEntG (RP), Landesgesetz über die Erhebung eines Entgelts für die Entnahme von Wasser aus Gewässern v. 03.07.2012, zuletzt geändert durch § 124 des Gesetzes vom 14.07.2015 (GVBl. S. 127).

LWG (NW), Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen v. 25.06.1995, zuletzt geändert durch das Gesetz zur Änderung des Landeswasserrechts v. 04.05.2021 (GVBl. S. 650).

LWG (RP), Landeswassergesetz v. 14.07.2015, zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 28.09.2021 (GVBl. S. 543).

LWG (SH), Landeswassergesetz v. 13.11.2019, zuletzt geändert durch § 18 (Art. 2 Ges. v. 22.06.2020, GVObI. S. 352).

Maaß, Christian / Zedelius, Johannes / Uhlmann, Britta (2017), *Wasser sinnvoll zählen – und weniger zahlen.*, Quelle:
<https://www.gdw.de/uploads/pdf/Pressemeldungen/Wasserzaehlerstudie.pdf>, Zugriffsdatum: 23.03.2022.

Manger, Volker (2018), *Integriertes Wasser-Ressourcen-Management im Hessischen Ried*, Wasser und Abfall, 11/2018, S. 10 - 14.

Meßer, Johannes et al. (2019), *Maßnahmenkonzept für konkurrierende Grundwassernutzungen im Einzugsgebiet des Hammbachs in Dorsten*, Quelle: https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-34437_01-Hauptbericht.pdf, Zugriffsdatum: 19.12.2022.

Meßer, Johannes et al. (2023), *Klima-Bewusstsein im Hammbachgebiet (NRW): Nachhaltiges Wassermanagement für Landwirtschaft, Landschaft und Wasserversorgung (KlimaBeHageN) - Machbarkeitsstudie zur Bereitstellung von Wasser*, Fachbeitrag im Rahmen des noch nicht veröffentlichten Abschlussberichts zum Projekt KlimaBeHageN.

NWG (NI), Niedersächsisches Wassergesetz v. 19.02.2010, Anlage 2 neu gefasst durch Artikel 10 des Gesetzes vom 10.12.2020 (Nds. GVBl. S. 477).

Oelmann, Mark / Gendries, Siegfried (2012), Auf dem Weg zu einem neuen Tarifmodell in der deutschen Wasserversorgung – Teil 1: Anforderungen aus Sicht eines Wasserversorgers, Prozessgestaltung und Datengenerierung, GWF- Wasser | Abwasser, Juli/August 2012, S. 820-827.

Ostermann, Ulrich (2022), *Beregnung und Wasserbewirtschaftung*, Fachvortrag in einer Sitzung des WBV Rhader Bach/ Wienbach am 04.04.2022.

Peacock, James (2018), *Using Reverse Auctions to support delivery of catchment off-sets in Wessex, UK*, Quelle: <https://www.catchments.ie/using-reverse-auctions-to-support-delivery-of-catchment-off-sets-in-wessex-uk/>, Zugriffsdatum: 20.08.2022.

Pfalzmarkt (2021), *Erntefrisch aus der Pfalz*, Quelle: <https://www.pfalzmarkt.de/wp-content/uploads/pfalzmarkt-imagebroschuere-2021-de.pdf>, Zugriffsdatum: 14.12.2021.

Renner, Wolfgang (2017), *Lebensquell Wasser – wie lange noch?*, Quelle: <https://www.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2017.05.08%2F1494239442071270.pdf&r=Ausbau%20von%20Bew%20C3%A4sserungsm%20C3%B6glichkeiten%20am%20Beispiel%20Vorderpfalz%20am%20Rhein%20-%20Wolfgang%20Renner.pdf>, Zugriffsdatum: 22.11.2021.

Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (2021), *Jahresabschluss zum Geschäftsjahr vom 01.01.2020 bis zum 31.12.2020*, veröffentlicht im Bundesanzeiger am 25.10.2021.

Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH (o.J.), *Das RWW-Tarifsystem- Fair und zukunftsorientiert*, Quelle: <https://www.rww.de/trinkwasser/tarifsystem>, Zugriffsdatum: 25.01.2023.

Rheinpfalz (2018), *Beregnungsverband dreht Hahn nicht zu*, Quelle: https://www.rheinpfalz.de/lokal/speyer_artikel,-beregnungsverband-dreht-hahn-nicht-zu-_arid,1246798.html, Zugriffsdatum: 22.11.2021.

SächsWG (SN), Sächsisches Wassergesetz vom v. 12.07.2013, zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (SächsGVBl. S. 287).

Stadt Dorsten (2018), *Wasserversorgungskonzept gemäß § 38 Landeswassergesetz NRW für die Stadt Dorsten*, Quelle:

https://dorsten.de/_Resources/Persistent/e/d/e/c/edece42edc05e20ce2021933e4012546eefdf730/Wasserversorgungskonzept%20der%20Stadt%20Dorsten.pdf, Zugriffsdatum: 25.01.2023.

Städte- und Gemeindebund NRW (2009), *Gebührenerhebung durch Anstalt öffentlichen Rechts*,
Quelle:

<https://www.kommunen.nrw/informationen/mitteilungen/datenbank/detailansicht/dokument/gebuehr-enerhebung-durch-anstalt-oeffentlichen-rechts.html>, Zugriffsdatum: 27.01.2023.

SWG (SL), Saarländisches Wassergesetz v. 30.07.2004, zuletzt geändert durch Artikel 6 des Gesetzes vom 13. Februar 2019 (Amtsbl. I S. 324).

Umweltministerkonferenz (2022), 99. Umweltministerkonferenz in Goslar - Ergebnisprotokoll,
Quelle: https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/ergebnisprotokoll-99-umk,-stand-12122022_1670952068.pdf, Stand: 27.01.2023.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (2014), *Wasserentgeltgestaltung - Aktuelle Fragen und Herausforderungen*, Quelle:

https://www.vku.de/fileadmin/user_upload/Verbandsseite/Landingpages/Wasserpreise/VKU-Broschuere_Wasserentgeltgestaltung.pdf, Zugriffsdatum: 28.03.2022.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (2017), *WASSERPREISE UND -GEBÜHREN - Faktencheck*, Quelle: <https://www.vku.de/Wasserpreise>, Zugriffsdatum: 04.04.2022.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (2019), *Wasserpreise zukunftsfest ausgestalten - Welches Modell passt?*, Quelle: <https://www.vku.de/publikationen/2019/wasserpreise-zukunftsfest-ausgestalten/>, Zugriffsdatum: 26.03.2022.

Verband kommunaler Unternehmen e.V. (2020), Aktualisierte VKU-Grafik:

Wasserentnahmeentgelte der Bundesländer im Vergleich, Quelle:

<https://www.vku.de/themen/preise-und-gebuehren/aktualisierte-vku-grafik-wasserentnahmeentgelte-der-bundeslaender-im-vergleich/>, Zugriffsdatum: 25.03.2021.

Vorwald, Axel (2022), *Perspektiven und Maßnahmen einer ressourcenschonenden Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen in der Region Dorsten/Haltern*, Masterarbeit eingereicht zur Erlangung des akademischen Grades M. Sc. in Ökologischen Agrarwissenschaften im Fachbereich Agrartechnik der Universität Kassel.

WasEE VO LSA (ST), Verordnung über die Erhebung eines Entgelts für die Entnahme von Wasser aus Gewässern für das Land Sachsen-Anhalt v. 22.12.2011.

WasEG (NW), Wasserentnahmeentgeltgesetz des Landes Nordrhein-Westfalen v. 27.01.2004, zuletzt geändert durch Art. 13 des Gesetzes vom 8. Juli 2016 (GV. NRW. S. 559).

Wasserverband Hessisches Ried (2019), *Grundwasserbewirtschaftung im Hessischen Ried – nachhaltige Wassergewinnung – sichere landwirtschaftliche Produktion*, Quelle: https://www.whr-infiltration.de/fileadmin/user_upload/WHR/aufgaben/WHR_Infobrosch%C3%BCre_2019.pdf, Zugriffsdatum: 16.11.2021.

WBV Rhader Bach/ Wienbach (2019), *Satzung des Wasser- und Bodenverbandes Rhader Bach / Wienbach*, gem. der öffentlichen Bekanntmachung des Kreises Recklinghausen Nr. 280/2019 vom 07.03.2019.

WEKA Fachverlag für Verwaltung und Industrie (2016), *Wasserrechtliche Erlaubnis und wasserrechtliche Bewilligung*, Quelle: <https://www.weka.de/umweltschutz/gewaesserbenutzung/>, Zugriffsdatum: 26.03.2021.

WG (BW), Wassergesetz für Baden-Württemberg v. 03.12.2013, zuletzt geändert durch § 82 geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 17. Dezember 2020 (GBl. S. 1233, 1248).

WG LSA (ST), Wassergesetz für das Land Sachsen-Anhalt v. 16.03.2011, zuletzt geändert durch Artikel 21 des Gesetzes vom 7. Juli 2020 (GVBl. LSA S. 372, 374).

WHG, *Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) v. 31.07.2009*, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1408), in Kraft getreten am 01.03.2010.

Wien, Joachim (2018), Befundprüfung bei Wasserzählern nach Ablauf der Eichfrist, in energie | wasser-praxis 9/2018, Quelle: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/netze/befundpruefung-wasserzaehler-1809wien.pdf>, Zugriffsdatum: 23.03.2022.

Zenger, Christian / Stefanski, Frank (2019), Sichere Funkauslesung von Wasserzählern mittels LoRaWAN, in energie | wasser-praxis, 10/2019.

Zinke, Olaf (2021), *Wo verdienen die Bauern am meisten Geld – und womit? – Die Regionen*, Quelle: <https://www.agrarheute.com/management/betriebsfuehrung/verdienen-bauern-meisten-geld-womit-regionen-580891>, Zugriffsdatum: 15.01.2023.

Zinkernagel, Jana et al. (2017), *Klimawandelbedingte Änderungen des Wasserbedarfs und der Stickstoff-Düngung für den Gemüseanbau im Hessischen Ried – Abschlussbericht*, Quelle: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/INKLIM__A/land-und-forstwirtschaft/gemuesebau.pdf, Zugriffsdatum: 16.11.2021.

Die Projektpartner von KlimaBeHagen haben am 02.11.2022 die Anlagen zur Brauchwasserversickerung des Wasserverbands Hessisches Ried besucht und die Übertragbarkeit des Modells auf NRW/Dorsten diskutiert. Die für KlimaBeHagen relevanten Aspekte sind nachfolgend zusammengefasst.

1. Der Wasserverband Hessisches Ried (WHR) / Administration und Strukturen

Der WHR wurde 1979 als Körperschaft des öffentlichen Rechts (Wasser- und Bodenverband) gegründet und 2015 umorganisiert zu zwei Verbänden in jeweils eigener Verantwortung:

- a) Der WHR als **Infiltrationsverband** verantwortet die Rheinwasseraufbereitung in Biebesheim sowie die Grundwasseranreicherung in Südhessen.
- b) Der WHR-**Beregnungsverband** ist zuständig für die Beschaffung und Verteilung von Beregnungswasser für landwirtschaftlich oder gartenbaulich genutzte Grundstücke im Verbandsgebiet.

Wenngleich für beide Nutzungen Wasser aus derselben Aufbereitung kommt, so erfolgte die Trennung jedoch i.W. zur transparenten Preisbildung von a) Leistungen für Trinkwasser in Abgrenzung zu b) Dienstleistungen für landwirtschaftliches Brauchwasser zur Beregnung.

MITGLIEDER DES WASSERVERBANDES

Wasserversorger	Kommunen/ Gebietskörperschaften	Landwirtschaft
Hessenwasser GmbH & Co. KG WBV Riedgruppe-Ost EWR Netz GmbH	Landkreis Groß-Gerau Landkreis Bergstraße Landkreis Darmstadt-Dieburg Stadt Darmstadt Stadt Frankfurt am Main Landeshauptstadt Wiesbaden Gemeinde Biebesheim am Rhein	Beregnungswasserverband Hessisches Ried (WHR-Beregnung)

[EWR Netz GmbH](#) ist zum 01.10.2017 beigetreten, da **Gewinnungsanlagen** des Wasserwerks Bürstadt der EWR Netz GmbH im Einflussbereich der Infiltration des WHR liegen. Gewässerunterhaltungsverbände sind in kommunaler Zuständigkeit und keine direkten Mitglieder.

Die **Verwaltungsgeschäfte** führt seit 2005 [Hessenwasser](#) (GmbH & Co. KG in kommunaler Eigentümerschaft für den Ballungsraum Rhein-Main mit 2,4 Mio. Einwohnern; 2019 Trinkwasserversorgung von 112 Mio. m³ aus 60% eigenen Anlagen + 40% „Vorlieferanten“ wie die KöR WBV [Wasserbeschaffungsverband Riedgruppe-Ost](#), auch Mitglied des WHR).

2. Wasserwirtschaft und Grundwasserverhältnisse vor Gründung des WHR

Das Hessische Ried erstreckt sich über eine Länge von 60 Kilometern und eine Breite bis zu 20 Kilometern zwischen Odenwald/Sprendlinger Horst, dem Rhein, dem Main und der Landesgrenze zu Baden-Württemberg. Es ist Teil des nördlichen Oberrheingraben und war

ursprünglich eine sumpfige Naturlandschaft mit Überschwemmungen bis zum Eingriff des Menschen, beginnend mit der Rheinregulierung durch Tulla und bis zu den 1930er Jahren.

In der Rhein-Neckar-Ebene haben sich im Laufe von Jahrtausenden bis zu 100 m mächtige Sedimente aus Sand und Kies abgelagert; sie sind ein guter Wasserspeicher und Porengrundwasserleiter und mit einem Vorrat von etwa 15 Mrd. m³ das größte Grundwasservorkommen Hessens.

Die natürliche **Grundwasserneubildung** erfolgt über Niederschläge im Winterhalbjahr und unterirdische Zuflüsse aus dem Odenwald sowie zahlreichen Fließgewässern.

In der Trockenperiode von 1970 bis 1977 kam es zu erheblichem Absinken der Grundwasserstände, so dass aus vielen flachen Saugbrunnen die landwirtschaftliche Beregnung nicht mehr sichergestellt werden konnte und auch Bauschäden auftraten. In der Nassperiode 1981 bis 1983 kam es zur Vernässung zahlreicher Keller in Folge einer intensiven Siedlungsaktivität ab den 1960er-Jahren, bei der auch tief liegende Flächen bebaut wurden.

3. Wassernutzung – Strategien und strukturelle Lösungen

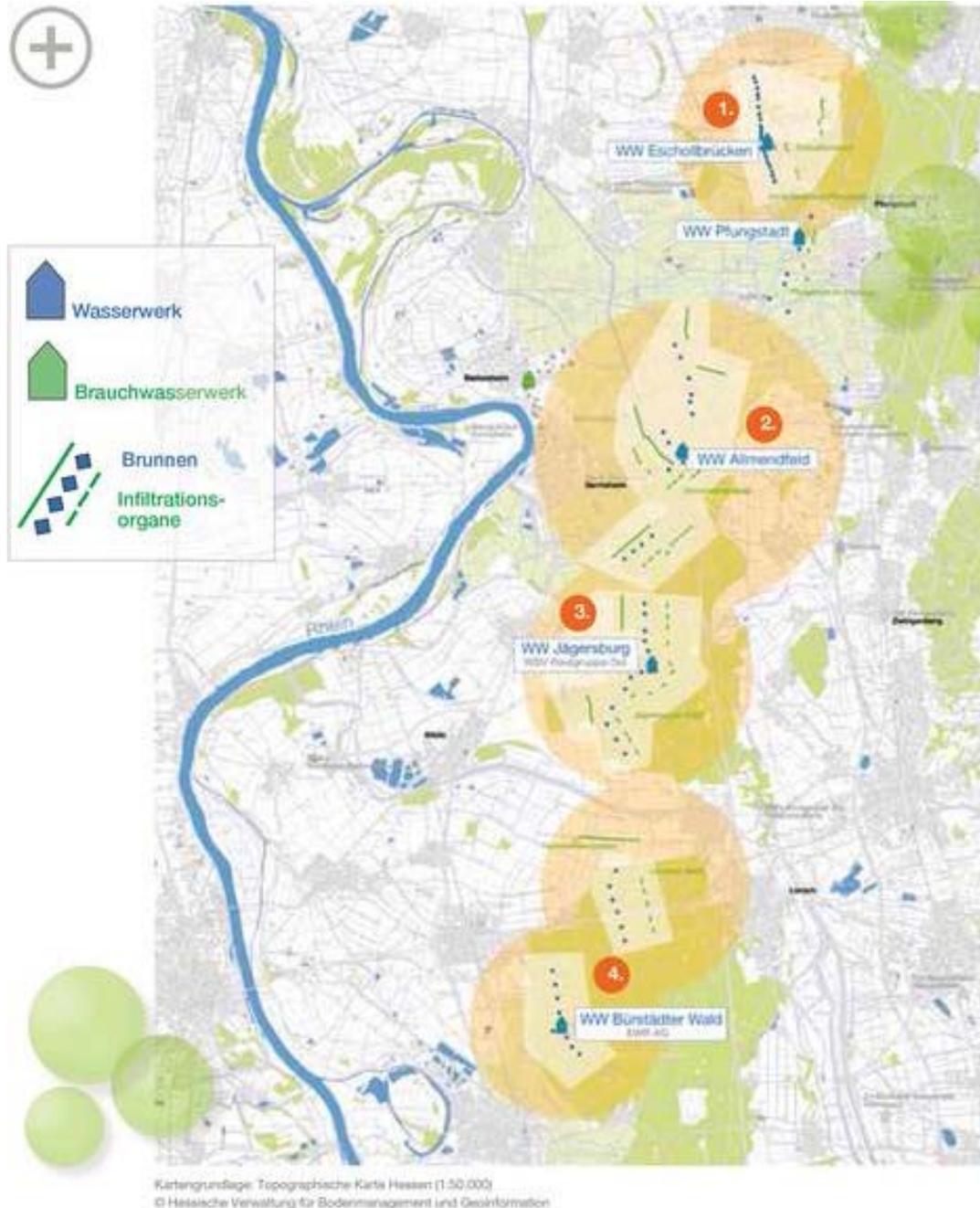
Die **Grundwassergewinnung** begann 1880 mit der ersten zentralen Versorgungsanlage für Darmstadt (heute Wasserwerk Eschollbrücken von Hessenwasser), erweitert in den 1970er Jahren auf Pfungstädter Gebiet um ein weiteres Wasserwerk. In den 1960er-Jahren wurden drei Wasserwerke und Leitungen errichtet. Insgesamt existieren über 900 gewerblich oder öffentlich genutzte Brunnen (zzgl. kleinerer private Grundwasserentnahmen). Versorgt werden heute die **Metropolregionen** Frankfurt/Rhein-Main und Rhein-Neckar. Witterungsbedingte Phasen mit hohen und tiefen Grundwasserständen führen zu Nutzungskonflikten zwischen Siedlungsinfrastruktur, Land- und Forstwirtschaft und Naturschutz.

Auf Initiative der Landesbehörden und in Zusammenarbeit mit den Trägern der Wasserversorgung und der Landwirtschaft wurde mit der **Gründung des WHR 1979** das **Konzept der Grundwasserbewirtschaftung durch Infiltration** von aufbereitetem Oberflächenwasser für die Gewinnungsanlagen im Hessischen Ried als nachhaltige und zukunftsfähige Strategie etabliert. Ab 1989 wurde, finanziert durch das Land Hessen (das sich später aus dem WHR zurückzog), in Biebesheim aufbereitetes Rheinwasser über das neue **Brauchwasserverteilungsnetz** geleitet. Die **Grundwasseranreicherung** begann mit der ersten Infiltrationsanlage im Zustrom des Wasserwerks Eschollbrücken.

Infolge der Trockenperiode Anfang der 1990er Jahre erfolgte zwischen 1993 und 1999 die Erarbeitung des **Grundwasserbewirtschaftungsplans Hessisches Ried** durch das Land Hessen, in dem Grundwassermindest- und Höchststände festgelegt wurden, die mithilfe der Grundwasseranreicherung und örtlich auch durch Förderringerungen erreicht werden und die als Grundlage in die Wasserrechtsverfahren eingingen.

Im August 2013 wurde vom Hessischen Umweltministerium ein runder Tisch zur Verbesserung der Grundwassersituation im Hessischen Ried eingerichtet, der bis zum März 2015 tagte. Ziel der intensiven Auseinandersetzung der Experten und Interessenvertreter war es, Lösungen für eine nachhaltige Verbesserung des Zustandes der Wälder zu finden.

Die Umsetzung der Empfehlungen des Abschlussberichts dauert an.



INFILTRATIONSANLAGEN DES WHR

1. Infiltrationsanlage Eschollbrücken/Pfungstadt

- 11 Sickerschlitzgräben
- 2 Sickerbecken
- 1 Schluckbrunnen

2. Infiltrationsanlage Gernsheimer Wald

- 1 Sickerschlitzgraben (100 bis max. 150 m³/h Versickerung)
- 17 Organe mit insgesamt 117 Kiesbohrlöchern
- 4 »natürliche« Gräben

3. Infiltrationsanlage Jägersburger Wald

- 12 Organe mit insgesamt 73 Kiesbohrlöchern
- 1 Schluckbrunnen
- 2 »natürliche« Gräben

4. Infiltrationsanlage Lorscher Wald

- 5 Organe mit insgesamt 15 Schluckbrunnen
- 1 »natürlicher« Graben

Die Infiltrationsanlagen umfassen 55 Infiltrationsorgane mit zusammen rund 230 einzelnen Bauwerken: Kiesbohrlöchern, Schluckbrunnen, Sickerbecken, Sickerschlitzgräben und natürlichen Gräben.

Das Rheinwasser hat über das Jahr verteilt zwischen 28°C und 3°C mit unterschiedlichem Versickerungsverhalten (je wärmer desto besser).

4. Technik/Daten

Am Standort Biebesheim wird Oberflächenwasser des Rheins zu Brauchwasser von hoher Qualität aufbereitet. Die Kapazität des Wasserwerkes liegt bei **43 Mio. m³/a**. Davon stehen **38 Mio. m³/a für die Infiltration** und **5 Mio m³/a für die landwirtschaftliche Beregnung** zur Verfügung. Im Hitzejahr 2022 wurden 8 Mio. m³ beregnet und 35 Mio. m³ infiltriert.

Eine aufwendige Verfahrenskombination aus physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Prozessen mit Ozonierung und Aktivkohle (**Multibarrierensystem**) sorgt für die hochwertige Qualität des erzeugten Brauchwassers. Es erfüllt in chemischer Hinsicht die Anforderungen der **Trinkwasserverordnung** und wird jährlich von der Bez.-Reg. kontrolliert. Unberücksichtigt bleiben mikrobiologische Parameter, da eine chemische Desinfektion des Wassers vor der Grundwasseranreicherung aus ökologischen Gründen nicht erwünscht ist.

Damit ist die **Verwendung des Brauchwassers für die Beregnung**, insbes. empfindlicher Sonderkulturen, die auch roh verzehrt werden, aus hygienischer Sicht uneingeschränkt möglich (und damit besser ggü. der Nutzung von unbehandeltem Oberflächenwasser).

Innerhalb des WHR-Verbandsgebietes sind rund **5.400 Hektar** landwirtschaftlich genutzte Flächen über das **Brauchwasserleitungsnetz** (insgesamt 290 km Netz mit 8 bar Druck bis zu den Entnahmestellen der Betriebe) erschlossen. Für extreme Bedarfe stehen noch „Notfallbrunnen“ zu tieferen Schichten zur Verfügung.

Private Grundwasserentnahmen zur Bewässerung sind im Einzugsgebiet verboten.

Die **Versickerung des Brauchwassers zur Grundwasseranreicherung** erfolgt entweder über technische Bauwerke, sogenannte Infiltrationsorgane, oder über die Nutzung ehemaliger Entwässerungsgräben. Bei den technischen Infiltrationsorganen gibt es verschiedene Ausführungen (z. B. Versickerungsgräben, Schluckbrunnen oder Kiesbohrlöcher).

Insgesamt betreibt der WHR **Infiltrationsanlagen** in vier Bereichen (Gernsheimer Wald, Eschollbrücken/Pfungstadt, Jägersburger Wald, Lorsche Wald). Diese Infiltrationsanlagen umfassen 55 Infiltrationsorgane mit zusammen rund 230 einzelnen Bauwerken.

Der **Transport des Brauchwassers zu den Infiltrationsorganen** erfolgt über ein separates Brauchwassernetz von rund 30 Kilometern Länge. Der Durchmesser der Rohrleitungen umfasst eine Spanne von 0,80 bis 1,40 m.

5. Perspektiven

Die **Arbeitsgemeinschaft Wasserversorgung Rhein-Main (WRM)** hat für ihre vertretenen Wasserversorgungsunternehmen Ende 2021 [gutachterliche Untersuchungen](#) zur Entwicklung der Grundwassersituation beauftragt und 2022 folgende Erkenntnisse publiziert:

- Signifikante Veränderungen der Grundwasserneubildung erfolgen ab 2040/2050.
- Bis dahin eher moderate Veränderungen der natürlichen Grundwasserneubildung.
- Konzentration der Neubildungsphase auf kürzere Zeiträume im Winterhalbjahr, daher Zunahme der saisonalen Schwankungsbreite der Grundwasserstände.

- Zunahme von Extrempersistenzen und langjährigen periodischen Grundwasserstandsschwankungen.
- Hohe Abhängigkeit von hydro(geo)-logischen Standortfaktoren, daher örtlich sehr unterschiedliche Auswirkungen, die lokal vertieft untersucht werden müssen.
- Deutliche **Zunahme des landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs**.

Insgesamt wird von einer Sicherung der Trink-/Brauchwasserversorgung durch infiltriertes Grundwasser ausgegangen (ohne Hinterfragung der Entnahmesicherheit aus dem Rhein). Die Studie wird Ende 2023 abgeschlossen.

Weiterhin müssen **Bevölkerungsprognosen** reflektiert werden, die ein Wachstum mit entspr. Mehrverbrauch bis 2030 um rund 7,4 Mio. m³ Trinkwasser pro Jahr kalkulieren.

6. Bezüge, Parallelen und Unterschiede mit Bedeutung für KlimaBeHagen

Ein wesentlicher Aspekt: „**Nutznieser**“ der Grundwasserinfiltration ist die Trinkwasserversorgung [Versickerung normalerweise 38 Mio. m³/a, in 2022 nur 35 Mio. m³]. Das Brauchwasser für die Landwirtschaft [normalerweise 5 Mio. m³, in 2022 aber 8 Mio. m³] wird *nicht vorher versickert*, sondern direkt über Rohrleitungen an die Abnehmer geliefert.

Die **Erstausbaukosten** der Wasseraufbereitung und -verteilung wurden seinerzeit vollständig vom Land Hessen übernommen (in den 1980er Jahren wurden zunächst 20 Mio. m³/a geplant). In der Bilanz sind entsprechend neben laufenden Betriebskosten die Abschreibungen und Wiederherstellungsarbeiten zu berücksichtigen.

Die **laufenden Kosten der Wasseraufbereitung** in Höhe von jährlich rund 6,5 Mio. € werden derzeit zu rund 75% von den beiden Wasserversorgungsunternehmen im Verband (Hessenwasser und EWR Netz GmbH) getragen.

Der wesentlichste Kostenfaktor ist die **Energie** für die Wasseraufbereitung und das Pumpen. Technische Unterhaltungsarbeiten, Ersatzteile, Betriebsmittel sind der weitere große Kostenfaktor. Personalkosten entstehen in geringem Umfang, da vieles automatisiert ist.

Allgemeine Aussagen zu den **Betriebskosten** für die vier **Infiltrationsanlagen** (Gernsheimer Wald, Eschollbrücken/Pfungstadt, Jägersburger Wald und Lorscheider Wald):

- Wurzelwachstum im Wald kann Erschwernisse oder Beschädigungen an Anlagen verursachen.
- Kleinere Versickerungsanlagen erfordern mehr kleinere Leitungen etc., d.h. spezifisch höhere Baukosten bezogen auf die Versickerungsleistung.
- Sickerschlitzanlagen sind im Bau aufwendiger und beanspruchen mehr Fläche, sind im späteren Betrieb jedoch einfacher und günstiger.
- Der Austausch der oberen Filtersandschicht erfolgt hier etwa einmal jährlich.
- Laufzeit/Technik der Versickerungsanlagen sind Gegenstand laufender Untersuchungen, da wegen potenziell steigender Bedarfe auch potenziell weitere Standorte erschlossen werden müssen und Energiekostensenkungen sinnvoll sind.

- Die Versickerungsschlitze liegen mit ihrer Unterkante bei ca. 6 bis 7 m Tiefe.
- Die Entnahme für die Trinkwasserversorgung erfolgt über Brunnen in rund 90 m Tiefe.

Kostenbeteiligung - die Beiträge, die Landwirte für die Bewässerung zahlen, gliedern sich in

- **fixe Kosten** für die Abnahmestellen (Leitung, Standrohr, Messeinrichtung und hier ggf. mehrere Zapfstellen pro landwirtschaftlichem Betrieb) je nach Größe der jeweiligen Entnahmeeinrichtung bis max. 1.200 €/Zapfstelle;
- **variable Kosten** pro m³ entnommenes Brauchwasser aktuell 0,30 € (die Kostenspanne ist auf 27 bis 45 Cent/m³ festgelegt, je nach Kosten für den WHR im laufenden Jahr; durch Energiekostensteigerungen wird 2022 höher ausfallen).

Durch diese Struktur werden automatisch **Anreize zum sparsamen Gebrauch** gegeben.

Gleichzeitig ist über eine Entnahmestelle auch eine höhere Wertigkeit bei Verpachtung gegeben. In der seinerzeitigen **Festlegung der Kostenstruktur** hatte sich die Landwirtschaft mit derzeit rund **180 Mitgliedern** im WHR gegen einen „Flächenbeitrag“ je Eigentümer (der nicht unbedingt alle seine Flächen gleichermaßen bewässern muss) ausgesprochen und die Zuordnung von Fixkosten je Zapfstelle und so begünstigtem Standort priorisiert.

Die technischen Anlagen (Beregnungsleitungen und Tiefbrunnen) sind Eigentum des WHR und sind an den WHR-Beregnung verpachtet. Die Betriebsführung für diese Anlagen liegt beim WHR. Die Kosten für rund 5.400 Hektar an die Beregnung angeschlossene landwirtschaftlich genutzter Fläche werden zu 100% auf die Nutzer umgelegt, es gibt **keine Gewinne** oder andere Quersubventionierungen.

Hessenwasser liegt in kommunaler Trägerschaft, d.h. die Interessen der Bürgerschaft und Landwirtschaft unterliegen keinem „Shareholder Value“. Der WHR ermöglicht durch die Infiltration die Trinkwasserversorgung und über die „saubere“ Trennung der beiden Sparten eine finanzielle Transparenz bei Trinkwasserkosten sowie Beregnungswasserkosten.

Drittbegünstigte der Grundwasserbewirtschaftung liegen vor allem im Randbereich des Einzugsgebietes. Infolge der Aufrechterhaltung des Grundwasservolumens im Hessischen Ried entnehmen Beregner außerhalb des WHR-Raums von ihrem Gesamtbedarf geschätzt 20% aus dem Abstrom des WHR-Gebietes (i.d.R. mit eigenen Dieselaggregaten und Hausbrunnen).

Eine „Begünstigung“ der Waldbesitzer wird von diesen nicht so positiv eingeschätzt. Gleichwohl sind durch die Problematik (wenn nicht bewirtschaftet würde) von zeitweise niedrigen oder höheren Grundwasserständen immer Waldbereiche negativ betroffen.

Der **ehrenamtliche Naturschutz** und Hessenforst sehen die Grundwasserbewirtschaftung kritisch. Hessenforst klagt in anderem Kontext auch gerade gegen Wasserversorger wegen der Folgen durch die Entnahmen. Aus Sicht des WHR ist die Bewirtschaftung alternativlos.

Dienstleistungen: Der WHR stellt die Rohre, Messeinrichtungen und die Unterhaltung der Anlagen. Jede Ringleitung ist in einer einheitlichen Farbe gekennzeichnet, um Herkunft/den Weg des Wassers oder auch potenziell illegale Beregnungen feststellen zu können.

Einzelentnahmen werden nicht „von außen“ gesteuert, sondern es wird auf kooperatives Miteinander der Landwirtschaft gesetzt. Wenn z.B. plötzliche Frostberegnung oder übermäßige Entnahmen zur Bewässerung stattfinden und der Druck im System dadurch sinkt, sendet ein Alarmserver SMS an die Angeschlossenen mit Bitte um Entnahmereduzierung.

Die Abnehmer bekommen vom WHR vollen Service, d.h. wenn Störungen im System auftauchen, ist der WHR in der Pflicht zur Herstellung der gesicherten Versorgung.

Wasserentnahmerechte und Kontrollen: Es gibt im Einzugsgebiet des WHR keine Grundwasserentnahmerechte für die Landwirtschaft. Ursprünglich wurden früher Rechte für 20 bis 30 Jahre vergeben, in der Praxis werden Rechte mittlerweile nur noch kurzfristig mit der Option auf jederzeitigen Entzug vergeben.

Ein Messstellennetz dient der Steuerung der (behördlich festgelegten) Wasserspiegelhöhen. Die über Messeinrichtungen erhobenen Daten können durch die Behörden abgerufen werden.

Die Bilanzierung der Infiltrationsbedarfe über die Messstellen führt – je nach Trockenheit des Wasserwirtschaftsjahres – zu mehr oder weniger Infiltrationsbedarf. Entsprechend wird der Grundwasserhaushalt so aufgefüllt, wie die behördliche Spannbreite es vorgibt.

Exkurs/ Anhang: Die Rechtslage in Hessen

Von 1992 bis 2003 gab es in Hessen ein **Wasserentnahmeentgelt**, das von der damals amtierenden Landesregierung dann wieder abgeschafft wurde. In 2022 hat die aktuelle Landesregierung eine Studie initiiert, um die Wiedereinführung vorzubereiten (ab 2023).

Für **Entnahmen von Oberflächenwasser** aus dem Rhein wird kein Entgelt erhoben.

[Zukunftsplan Wasser - Wasserwirtschaftlicher Fachplan Hessen](#)

M 7.4: Überprüfung der Begrenzung der genehmigungsfreien, nur anzeigepflichtigen Wasserentnahmen

Wasserentnahmen von bis zu 3.600 Kubikmeter je Fläche für bestimmte Zwecke sind in Hessen grundsätzlich genehmigungsfrei und müssen nur bei den Unteren Wasserbehörden angezeigt werden. Zu diesen Entnahmemengen sowie zur weiteren erlaubnisfreien Benutzung des Grundwassers (insbesondere § 46 Absatz 1 Nummer 1 WHG) liegen keine übergreifenden Auswertungen vor, so dass deren Relevanz nicht bewertet werden kann. In einem ersten Schritt ist deshalb eine Datenerhebung durch die Wasserbehörden und eine Relevanzbewertung notwendig. Anhand dieser Ergebnisse können weitergehende Schritte angegangen werden, wie zum Beispiel bei Bedarf die Absenkung des Schwellenwertes der genehmigungsfreien, nur anzeigepflichtigen Grundwasserentnahme

[Grundwasserentnahmen | rp-darmstadt. hessen.de](#)

Der Umfang der für das Zulassungsverfahren benötigten Antragsunterlagen richtet sich nach der wasserwirtschaftlichen und naturschutzfachlichen Relevanz der beabsichtigten Grundwasserentnahme... Grundsätzlich wird **keine wasserrechtliche Zulassung** benötigt bei einer Grundwasserentnahme:

- für gewerbliche Betriebe, für die **Landwirtschaft**, Forstwirtschaft und den Gartenbau, wenn die Entnahme **3.600 m³ pro Jahr** nicht überschreitet. Bei der Bestimmung der Entnahmemenge ist allerdings die Summenwirkung vieler geringfügiger Entnahmen zu beachten. Aus diesem Grund können zum Beispiel Grundwasserentnahmen zum Zweck der landwirtschaftlichen Bewässerung **im Bereich der Verbandsgebiete von Beregnungsverbänden** aufgrund ihres gemeinsamen Einflussbereiches nicht grundsätzlich als erlaubnisfreie Einzelentnahmen angesehen werden. Das gilt insbes. im **Gebiet des Hessischen Rieds** und der Untermainebene, in denen auch die Grundwasserentnahmen für die priorisierte öffentliche Wasserversorgung beachtet werden müssen.
- zur Versorgung eines landwirtschaftlichen Hofbetriebes
- für das Tränken von Vieh außerhalb des Hofbetriebes
- zur Versorgung eines Haushaltes (einschl. der Bewässerung des Hausgartens), sofern eine Befreiung vom Anschluss- und Benutzungszwang vorliegt, bzw. ein Anschluss an das öffentliche Versorgungsnetz nicht möglich ist
- in geringen Mengen zu einem vorübergehenden Zweck (z.B. Grundwasserhaltung bei einer Baugrube)

Erforderlich ist dann jedoch **eine vorherige Anzeige** bei der für das Vorhaben örtlich zuständigen Unteren Wasserbehörde. Sie bearbeitet auch die wasserrechtlichen Zulassungen in **Ausnahmefällen**, zum Beispiel bei

- nicht erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen unter 3.600 m³ (Sportplatzbewässerungen),
- Anlagen zur Wärme-/Kältegewinnung (wenn keine bergrechtlichen Belange betroffen sind),
- der Speisung einer Teichanlage über Grundwasserentnahme oder
- einer vorübergehenden Grundwasserhaltung (zum Beispiel bei Baumaßnahmen), soweit die geringe Menge überschritten wird.

Soweit eine Grundwasserentnahme zum Zweck der **öffentlichen Wasserversorgung** erfolgt, ist die Obere Wasserbehörde auch bei Entnahmemengen bis zu 3.600 m³ pro Jahr für die Zulassung zuständig.

In Rheinland-Pfalz erfolgt die Abrechnung der Entnahmeentgelte über das Portal [EWACENT](#)

