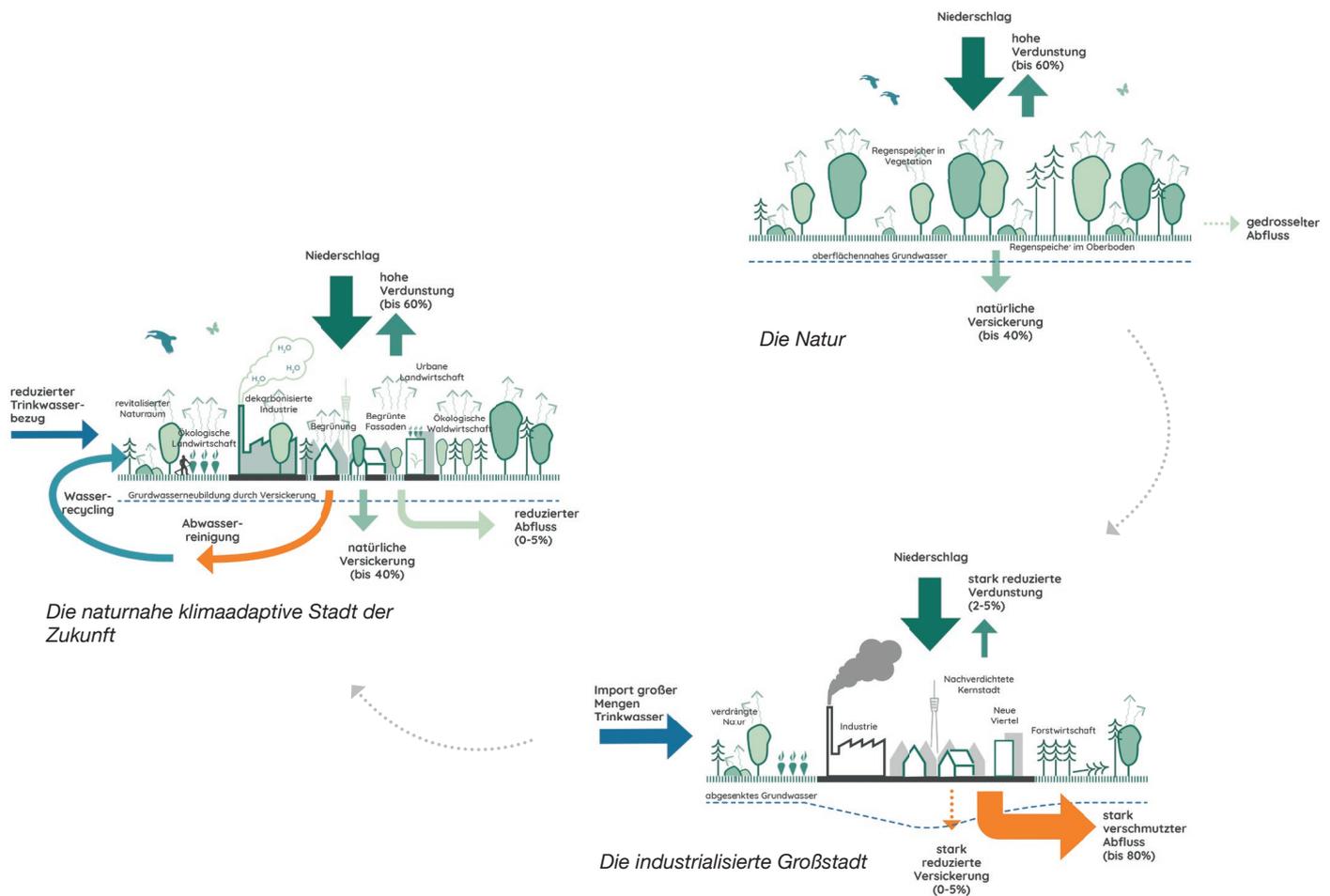


Pro.La-Fellbach

Produktive Landschaften, Potenzialstudie zum Ressourcenverbrauch und Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft anhand des IBA'27-Projektes „Agriculture meets Manufacturing“, Fellbach



fachlich und finanziell gefördert durch:

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Pro.La-Fellbach

Produktive Landschaften, Potenzialstudie zum Ressourcenverbrauch und Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft anhand des IBA'27-Projektes „Agriculture meets Manufacturing“, Fellbach

Autoren- und Projektteam

Dr.-Ing. Steffen Wurzbacher, Katja Schulze, Thunyathep Santhanavanich, Prof. Dr. Volker Coors

Hochschule für Technik Stuttgart (HFT)

Tanbir Sazid, Prof. Dr. Sonja Bauer

Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden (OTH)

Assoziierte Projektpartner:

Große Kreisstadt Fellbach, Stadtplanungsamt

Internationale Bauausstellung 2027, StadtRegion Stuttgart GmbH

fachlich und finanziell gefördert durch:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)

Aktenzeichen DBU: 38396/01

Stuttgart 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung, Herausforderung und Potenziale produktiver Landschaften	9
1.1	Ausgangssituation	9
1.2	Zielsetzung	10
1.3	Aufgabenstellung und Methodik	11
1.4	Rechtliche Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung	12
2	Potenzialanalyse zum Fellbacher IBA'27 Projektgebiet	13
2.1	Baustrukturelle Eigenschaften	14
2.2	Regenwasserhaushalt	15
2.3	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen im Gewerbegebiet	17
2.4	Abwassergebühren im Gewerbegebiet	19
2.5	Wasserbedarfe in der Landwirtschaft	21
3	Konzepte und Strategien zu nachhaltigen Wasserkreisläufen in produktiven Räumen	26
3.1	Klimaanpassungsszenarien im Gewerbegebiet	27
3.2	Wassertransfer und Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft	30
3.3	Fazit und Empfehlungen zur Transformation des Fellbacher Wasserhaushalts	35
4	Urban Water Potentials, interaktives, digitales und partizipatives Tool	39
4.1	Struktur, Aufbau und Programmierung der „Landing Page“	39
4.2	Aufbau der „Analyseseite“	40
4.3	Zwischenfazit zum digitalen Tool	43
5	Übertragbarkeitskonzept und Ausblick	45
5.1	Übertragbarkeit: Nachhaltiger Wasserhaushalt und Synergien zwischen Gewerbegebieten und der Landwirtschaft	45
5.2	Weiterführende Forschungsfragen	47
	Literaturverzeichnis	50
	Anhang	51
A1.	Versiegelung im öffentlichen und privaten Freiraum	52
A2.	Verteilung der Grünflächen im öffentlichen und privaten Freiraum	53
A3.	Branchenverteilung im Gewerbegebiet	54
A4.	Logistik, Verkehrsflächen, Parken	55
A5.	Verteilung Oberflächenbeschaffenheit	56
A6.	Übersicht: Wasserspeicher	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Übersicht zur Berichtsstruktur mit kompakten, zusammenfassenden Kapiteln und jeweiligen, ausführlich beschriebenen Anhängen.....	8
Abbildung 2	Luftbild des Projektgebiets »AGRICULTURE meets MANUFACTURING« in Fellbach (Bild: Stadt Fellbach / Niessner Design)	13
Abbildung 3	Hauptnutzungen und Verteilung öffentlicher und privater Flächen im Projektgebiet.	14
Abbildung 4	Jährliche Regenwasserbilanz für das gesamte Projektgebiet: Prozentuale Anteile der Wasserhaushaltskomponenten (Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung) im Vergleich zum natürlichen Referenzwasserhaushalt. Ermittelt nach DWA M-102.	16
Abbildung 5	Jährliche Regenwasserbilanz für das Gewerbegebiet: Prozentuale Anteile der Wasserhaushaltskomponenten (Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung) im Vergleich zum natürlichen Referenzwasserhaushalt. Ermittelt nach DWA M-102.	16
Abbildung 6	<i>Wasserteilströme im Untersuchungsgebiet</i>	17
Abbildung 7	Aggregation und Anonymisierung der Realdaten zum Trinkwasserbezug zur branchenspezifischen Werten und Zusammenfassung in gemittelten Werten.	18
Abbildung 8	Abwasseraufkommen im Gewerbegebiet, resultierend aus dem Gesamt-Trinkwasserbezug und Gesamt-Niederschlagsabfluss.	18
Abbildung 9	Jährlicher branchenspezifischer Trinkwasserbedarf in m^3/m^2 (BGF) Die Datengrundlage bilden die im Fellbacher Gewerbegebiet von den Stadtwerken erfassten Trinkwasserbezugsmengen der Jahre 2018 bis 2022.	19
Abbildung 10	Versieglungsklassen nach Abwassersatzung der Stadt Fellbach.	20
Abbildung 11	Jährliches Abwasseraufkommen im Gewerbegebiet und resultierende Abwasserkosten.....	21
Abbildung 12	Der Bewässerungsbedarf eines Rucola Anbaus in Fellbach im Jahr 2020, ermittelt mit der Software CROPWAT 8.0 und die in Fellbach gemessenen Niederschlags- und der Lufttemperaturwerte. ...	22
Abbildung 13	Errechneter Bewässerungsbedarf und gemessene tägliche Niederschlagsmengen für ausgewählte Jahre. Zur besseren Lesbarkeit sind beide Größen auf zwei getrennten Achsen aufgetragen, wobei die gleiche Einheit [$mm = L/m^2$] verwendet wird.	24
Abbildung 14	Bisheriger (oben) und nachhaltiger (unten) Wasserhaushalt in der Stadt	26
Abbildung 15	Darstellung ausgewählter Klimaanpassungsszenarien und deren Auswirkungen auf den Regenwasserhaushalt für das Gewerbegebiet.	27
Abbildung 16	Darstellung der Auswirkung gekoppelter Regenwassermaßnahmen (Gründächer und Entsiegelung + Retentionsmulden) auf den Regenwasserhaushalt für das Gewerbegebiet.	28
Abbildung 17	Darstellung der Kostenreduktionen zu anfallenden Ableitungsgebühren nach Begrünungs- und Entsiegelungsszenario	29
Abbildung 18	Im Vergleich die Niederschlagsverteilung der Jahre 2013 und 2020 in den Monaten April bis September. 30	
Abbildung 19	Abhängig des Speichervolumens von der maximal möglichen landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche bei einer 100 % Bedarfsdeckung und bei Anschluss aller Dachflächen des Gewerbegebiets an den Speicher.....	31
Abbildung 20	Speichermodell mit täglichen Kennlinien für den aus Niederschlägen resultierenden Dachabfluss, den Speicherfüllstand, die Fehlmenge im Speicher und den Überlauf für ein trockenes Jahr (Referenzjahr 2020) bei Anschluss aller Dächer des Gewerbegebiets an den Speicher und einer landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche von 25 ha.....	32
Abbildung 21	Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf und das Regenwasserpotenzial aus dem Dachflächenabfluss im Gewerbegebiet für ein trockenes Jahr (Referenzjahr 2020), bei Anschluss aller Dächer des Gewerbegebiets und einer landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche von 25 ha.	32
Abbildung 22	Verhältnis von Bewässerungsbedarf (im Jahr 2020) und der Grauwasserpotenzialmenge vom gesamten Gewerbegebiet, sowie der Niederschlagspotenzialmenge, als Abfluss von den Dächern im Gewerbegebiet.....	34

Abbildung 23	Logo des digitalen Tools	39
Abbildung 24	Übersicht zu den Informationen und Darstellungen der UWP-Landing Page.....	40
Abbildung 25	Übersicht zur den Ein- und Ausgabebereichen des Themenblocks „Infos zum Gebiet“	41
Abbildung 26	Interaktives Chart zum bisherigen Regenwasserhaushalt im Projektgebiet (links) und Prognosen des IPCC für den Standort in Fellbach (rechts).....	42
Abbildung 27	Übersicht zur den Ein- und Ausgabebereichen des Themenblocks „Wasserhaushalt“	43
Abbildung 28	Fotocollage von der Woche der Umwelt (04.06. bis 05.06.2024 im Schloss Bellevue, Berlin) 44	
Abbildung 29	Größenbereiche unterschiedlicher typischer Wasserspeicher	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Zusammenfassung zu den Wirkungsweisen in den untersuchten Jahren zwischen Klima und Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft.....	25
Tabelle 2	Zusammenfassung zu resultierenden Speicherbedarfen in den unterschiedlichen Jahren	33
Tabelle 3	Flächenbilanz für das Projektgebiet und die drei Teilgebiete (Gewerbe, Landwirtschaft, Wohnen). Oberflächenkategorien für die Bilanzierung des Regenwasserhaushalts nach DWA 102-4.....	56

Abkürzungsverzeichnis

AbwS	Abwassersatzung
BGF	Brutto Grundfläche
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BÜK	Bodenübersichtskarte
CTA	Call-to-Action
DWA	Deutschen Verein für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWD	Deutscher Wetterdienst
FAO	Food and Agriculture Organization
HAD	Hydrologischer Atlas Deutschland
HFT	Hochschule für Technik Stuttgart
IBA'27	Internationale Bauausstellung 2027 StadtRegion Stuttgart GmbH
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum
OTH	Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

Kurzfassung

Im Rahmen des Forschungsprojekts "Pro.La-Fellbach" wurden Wasserpotenziale in Gewerbegebieten und mögliche Synergien mit angrenzender Landwirtschaft am Beispiel des Fellbacher IBA'27-Projektgebiets analysiert. Ziel war es, nachhaltige Strategien zur Wassernutzung und Klimaanpassung zu entwickeln, insbesondere im Hinblick auf die Speicherung und Nutzung von Regen- und Abwasser.

Dabei wurde in einem ersten Schritt der Regenwasserhaushalt des bestehenden Gewerbegebietes betrachtet. Die Ergebnisse zeigen, dass das untersuchte Gewerbegebiet zu 67 % versiegelt ist, was zu hohen Abflussmengen und einer geringen Verdunstungs- sowie Versickerungsrate führt. Durch eine Kombination aus Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen könnte der Abfluss um bis zu 32 % reduziert und der Wasserhaushalt in Richtung eines naturnahen Zustands verbessert werden. Hierfür sind unterschiedliche Begrünungs- und Retentionsmaßnahmen notwendig.

Um die lokalen Gewerbetreibenden für die Möglichkeiten klimatischer Anpassungen zu sensibilisieren, wurde ein frei zugängliches digitales Tool „Urban-Water-Potentials.de“ entwickelt. Das interaktive Tool ermöglicht es, Informationen zu einzelnen Parzellen bzw. zum gesamten Gewerbegebiet in Fellbach abzurufen. Die bereitgestellten Daten umfassen Angaben zum Versiegelungsgrad, zur Nutzung, zum Regenwasserhaushalt (Menge an Niederschlägen, Verdunstung und Ableitung), zu Trinkwasserbedarfen und Abwasseraufkommen sowie zu den resultierenden Kosten für den Bezug bzw. die Einleitung von Regen- und Abwasser in die Kanalisation. Über einen einfach konzipierten Szenarienmanager können verschiedene Begrünungsszenarien getestet und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sowie der resultierenden Kosten untersucht werden.

In einem weiteren Schritt wurden die Wasserbedarfe der angrenzenden Landwirtschaft in Abhängigkeit unterschiedlicher Klimasituationen („trockenes Jahr“, „regenreiches Jahr“ etc.) simuliert und mit einem potenziellen Angebot an nutzbaren Regen- und Abwassermengen aus dem Gewerbegebiet abgeglichen. Da Angebot und Nachfrage an Regenwasser zeitlich nicht synchron verlaufen, wurden unterschiedliche Speichervolumina in der Simulation berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Regenwassertransfer die Wasserproblematik in der Landwirtschaft während trockener und heißer Perioden nicht vollständig lösen kann. Für die Deckung der in Trockenzeiten auftretenden „Regenwasserlücken“ wären im Projektgebiet in Fellbach Speichervolumina von über 36.000 m³ erforderlich, während in normalen Jahren lediglich Speicher mit einer Größe von 4.000 m³ ausreichen würden.

Aus diesem Grund wurde im weiteren Projektverlauf die Nutzung von behandeltem Grau- und Abwasser aus dem Gewerbegebiet zur Deckung dieser „Regenwasserlücken“ untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Nutzung gewerblichen Abwassers allein nicht ausreicht, um den hohen Bewässerungsbedarf in heißen und trockenen Zeiten zu decken.

Zusammenfassend hat das Projekt gezeigt, dass in typischen deutschen Gewerbegebieten ein erheblicher Klimaanpassungsbedarf besteht. Die klimatischen Herausforderungen können durch gezielte Maßnahmen hin zu einem naturnahen Wasserhaushalt bewältigt werden. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, separate Regenwassertrennkanäle zu errichten, um das theoretisch große Potenzial des Regenwasserteilstroms aus Gewerbegebieten mittelfristig nutzbar zu machen. Die tatsächliche Umsetzbarkeit hängt jedoch von verschiedenen örtlichen Faktoren ab, wie Topografie, Bodenbeschaffenheit, Altlasten und den Wasserbedarfen im Umfeld. Neben einer teilweisen Nutzung in der Landwirtschaft könnten auch umfassende Versickerungsmaßnahmen zur Grundwasserneubildung sowie zur Speisung lokaler Gewässer beitragen.

Das Projekt wurde federführend durch die Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) in Zusammenarbeit mit der Ostbayerischen Technischen Hochschule Amberg-Weiden (OTH), der Stadt Fellbach sowie der Internationalen Bauausstellung 2027 (IBA'27) durchgeführt. Es wurde fachlich und finanziell durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert (Az.: 38396/01). Der vollständige Abschlussbericht kann über die HFT eigene open-access Plattform „[HFT Open Repository](#)“ ([HFTor](#)) bezogen werden.

Vorbemerkungen zum Bericht

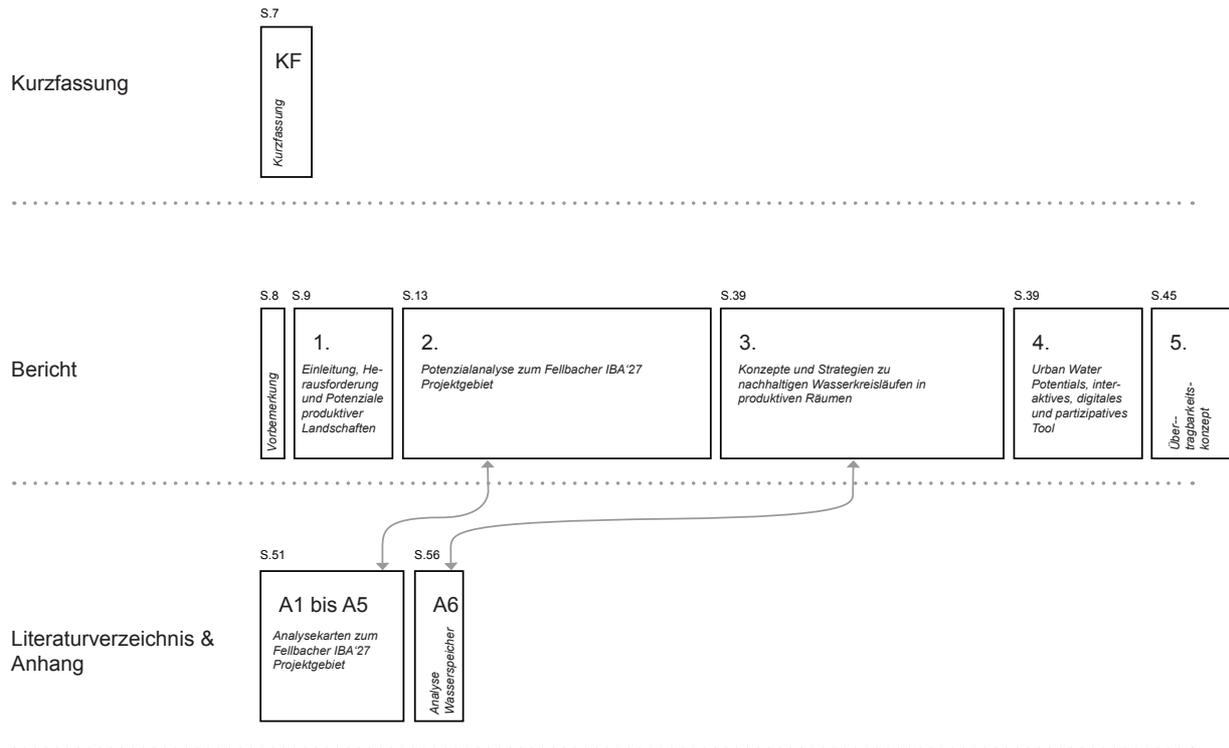


Abbildung 1 Übersicht zur Berichtsstruktur mit kompakten, zusammenfassenden Kapiteln und jeweiligen, ausführlich beschriebenen Anhängen

Dieser Schlussbericht fasst die Ergebnisse des Forschungsprojekts „Produktive Landschaften, Potenzialstudie zum Ressourcenverbrauch und Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft anhand des IBA'27-Projekts ‚Agriculture meets Manufacturing‘, Fellbach“ zusammen. Das Projekt wurde fachlich und finanziell durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

Der Bericht gliedert sich in mehrere in sich geschlossene Bausteine und wird durch weiterführende Anhänge ergänzt:

- **Kurzfassung:** Eine kompakte Zusammenfassung der wichtigsten Forschungsfragen, der Methodik und der zentralen Ergebnisse.
- **Hauptbericht:**
 - Einleitung: Darstellung der Ausgangssituation, Zielsetzung und Forschungsfragen.
 - Potenzialanalyse zum Fellbacher IBA'27-Projektgebiet: Untersuchung des Wasserhaushalts, der Versiegelung sowie möglicher Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft.
 - Konzepte und Strategien zu nachhaltigen Wasserkreisläufen: Analyse und Bewertung von Maßnahmen zur Wassernutzung und Klimaanpassung.
 - Digitales Tool „Urban Water Potentials“: Beschreibung der interaktiven Plattform zur Modellierung und Bewertung von Wasserströmen.
 - Übertragbarkeitskonzept: Ableitung und Anpassung der Erkenntnisse für andere Gewerbegebiete in Deutschland.
- **Anhang:**
 - Weiterführende Karten und GIS-Analysen zur detaillierten Darstellung der Untersuchungen.
 - Ergänzende Recherchen zu Speichermöglichkeiten und Wassermanagementstrategien.

Dieser Bericht dient als Grundlage für weitere Forschungs- und Umsetzungsprojekte im Bereich der nachhaltigen Wasserbewirtschaftung in Gewerbegebieten.

1 Einleitung, Herausforderung und Potenziale produktiver Landschaften

1.1 Ausgangssituation

In Deutschland werden rund 50,5 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt, weitere 14,5 % entfallen auf Siedlungs- und Verkehrsflächen (Statistisches Bundesamt [Destatis], 2021). Gewerbegebiete nehmen innerhalb dieser Siedlungs- und Verkehrsflächen einen Anteil von 18,6 % ein, was sie neben Wohn- und Industrieflächen zu einer signifikanten Nutzungsform macht. Zum Schutz der Bevölkerung vor Lärm- und Schadstoffemissionen befinden sich Gewerbeflächen häufig am Stadtrand, wo sie oft an produktive landwirtschaftliche Flächen angrenzen. Dies ist auch im Projektgebiet des IBA'27-Vorhabens „Agriculture meets Manufacturing“ in Fellbach der Fall.

Zwischen den beiden produktiven Teilräumen – Gewerbe und Landwirtschaft – bestehen bislang kaum Synergien. Betrachtet man jedoch die jeweiligen Wasser- und Ressourcenströme genauer, lassen sich theoretische Synergiepotenziale identifizieren. Während in Gewerbegebieten große Mengen an Regen- und Abwasser sowie Abwärme und CO₂ anfallen, benötigt die Landwirtschaft wiederum Wasser, Nährstoffe, CO₂ und im Winter Wärme für den Anbau landwirtschaftlicher Erzeugnisse. Zudem stehen beide Nutzungsformen angesichts der Auswirkungen des Klimawandels unter starkem Anpassungsdruck.

Das Fellbacher Gewerbegebiet ist zu 67 % versiegelt und zeigt, ähnlich wie die angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen, eine geringe Fähigkeit zur Speicherung von Regenwasser. Bei Starkregenereignissen führt dies im Gewerbegebiet häufig zu lokalen Überflutungen, während in der Landwirtschaft Bodenerosion auftreten kann. Zudem leisten beide Teilräume bislang kaum Beiträge zur Grundwasserneubildung oder zur Verdunstung und tragen wenig zur Klimaregulierung bei. Vielmehr finden sich in den stark versiegelten Flächen des Gewerbegebiets städtische Hitze-Hotspots. Auch landwirtschaftlich genutzte Flächen können, abhängig von der Bodenbeschaffenheit, einen erhöhten Oberflächenabfluss zeigen, der durch Nährstoffeinträge das Grund- und Oberflächenwasser belastet.

Mit zunehmender Trockenheit wird auch in Deutschland in der Landwirtschaft die künstliche Bewässerung wichtiger, insbesondere beim Anbau wasserintensiver Kulturen. Daher sind Untersuchungen zu Potenzialen einer optimierten Wassernutzung in der Landwirtschaft von großer Relevanz. Die für Deutschland und viele andere Länder in Europa beispielhafte räumliche Nähe zwischen Gewerbe- und landwirtschaftlichen Nutzflächen bietet die Möglichkeit, bestehende Herausforderungen und Synergiepotenziale am Beispiel von Fellbach detaillierter zu untersuchen.

Die Stadt Fellbach hat sich vorgenommen Entwicklungen zur Klimaanpassung, zur energetischen Transformation sowie zur weiteren Nutzungsanreicherung in beschriebenen IBA'27 Quartier anzustoßen. Hierzu wurden umfassende Planungen beauftragt und über einen moderierten Prozess miteinander verknüpft. Das Projektteam um die HFT und OTH waren hierbei eng eingebunden und haben die Ergebnisse durchgehend auch an die weiteren Planungsteams kommuniziert. Neben den Untersuchungen dieses Projektes wurden weitere folgende Studien, bzw. Analysen erstellt:

- **Integriertes Stadtentwicklungskonzept** für das Projektgebiet durch ein Konsortium der LBBW Immobilien Kommunalentwicklungs GmbH, Eble Messerschmitt Partner, ee concept GmbH und ricion AG
- **Quartierskonzept Klimaanpassung** für das Projektgebiet durch: Berchtoldkrass space&options und GEO-NET Umweltconsulting GmbH
- **Ultraeffizienz@Fellbach** Maßnahmen bei der Realisierung der Ultraeffizienz im IBA'27 Quartier Fellbach mit Analysen zu Energiebedarfen und -potenzialen in den Gewerbebetrieben im Projektgebiet durch: Fraunhofer IAO und Fraunhofer IPA
- **Konzeptstudie Nachverdichtung und urbane Landwirtschaft** für das Projektgebiet durch: Berchtoldkrass space&options, AMUNT Nagel Theissen Architekten und Designer PartG mbB und Hosoya Schaefer Architects AG

Mit einer weiteren Studie gab es während der Projektphase engere Verflechtungen „in beide Richtungen“. So hat die Stadt Fellbach Anfang 2024, aufbauend auf ersten Analysen zu Regenwasserpotenzialen eine technische und wirtschaftliche Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben. Die **Machbarkeitsstudie „Regenwassertransfer Gewerbe – Landwirtschaft“** des Konsortiums diem.baker GbR, planbar hochdrei und des Instituts für sozial-ökologische Forschung hat technische Lösungen zur Implementierung einer

Regenwassertransferstruktur untersucht (Eisenberg et al., 2024). Für die Analysen haben die Autor*innen dieser Studie die bis Juni 2024 erarbeiteten Untersuchungen zu Oberflächenbeschaffenheiten im Gebiet zur Verfügung gestellt. Die Studie von Eisenberg et al. (2024) fokussiert auf die Vorplanung eines Transportsystems (unterirdischer / oberirdischer Regenwasserkanal, mobile Speicher, etc.) unter Berücksichtigung vorhandener städtebaulicher und freiräumlicher Situationen (Medien, Bäume im Straßenraum, Querung einer Bahntrasse, Errichtung eines Speichersees, etc.). Zusätzlich wurden Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt, ein Konzept zur finanziellen Organisation erstellt und Angaben zu technischen und juristischen Rahmenbedingungen getätigt. Der Fokus lag hierbei auf ingenieurtechnischen und betriebstechnischen Fragestellungen, welche außerhalb der „klassischen“ Forschung liegen. Die Ergebnisse der Studie des Konsortiums um Eisenberg et al. (2024) wiederum werden in der vorliegenden Forschungsarbeit an unterschiedlichen Stellen aufgegriffen und entsprechend zitiert. In der Analytik insbesondere zu den nutzbaren Potenzialen eines Regenwassertransfers werden die vereinfachten Berechnungen der Studie des Konsortiums um Eisenberg et al. (2024) in dieser Forschungsarbeit um dynamische, zeitlich hochaufgelöste Simulationen erweitert. Diese sind unter Kapitel 3 eingehend beschrieben. In Unterschied zu vereinfachten „statischen“ Bemessungen können die Kapazitätsanforderungen der Speichersysteme durch eine hochaufgelöste Betrachtung sowohl der Angebots-, als auch der Nachfrageseite noch detaillierter abgeschätzt werden.

1.2 Zielsetzung

Das vorliegende Projekt hat sich einer detaillierten Quantifizierung und Qualifizierung von Wasserpotenzialen und Synergien in den beschriebenen produktiven Teilräumen des Gewerbes und der Landwirtschaft am Beispiel des beschriebenen Fellbacher IBA'27 Projektgebietes angenommen. Hierbei wurde untersucht, welche Auswirkungen gewerbliche und bauliche Strukturen auf den Wasserbedarf und die Wasserbereitstellung haben und wie diese zur lokalen Wassernutzung beitragen können. Ein zentraler Fokus lag auf der Frage, ob im Fellbacher Bestandsquartier im speziellen und in ähnlichen Gewerbegebieten im Allgemeinen ausreichend Flächen für die Sammlung und Speicherung von Regenwasser vorhanden sind, um dadurch einen bedeutenden Beitrag zur Verbesserung des Mikroklimas zu leisten und optional auch Wasser für die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen bereitzustellen.

Es wurde weiterhin analysiert, ob und in welchem Umfang Gewerbenutzungen als Wasserlieferant für die angrenzende Landwirtschaft fungieren können. Bei produzierenden Betrieben mit hohem Wasserverbrauch besteht teilweise das Potenzial, schwach belastetes und anschließend aufbereitetes Wasser aus den bisherigen Wassersträngen abzuführen und dieses für einen Einsatz in der Landwirtschaft - unter Einhaltung der Qualitätsstandards – vorzusehen. Eine wesentliche Fragestellung hierbei fokussierte auf diejenigen Betriebe, welche sich besonders für eine Wasserwiederverwendung eignen könnten und inwiefern sich die aufbereiteten Abwassermengen auch im Freiraum des Gebiets oder der angrenzenden Landwirtschaft verwenden ließen.

Eine weitere Fragestellung fokussierte auf den eigentlichen Bedarf der aktuellen landwirtschaftlichen Anbaumethoden im Projektgebiet. Derzeit werden speziell Salate (Rucola) unter Rückgriff auf eine künstliche Bewässerung kultiviert. Diese haben einen beträchtlichen Bewässerungsbedarf zusätzlich zu den natürlichen jährlichen Niederschlägen. Jenseits eines Gesamtbedarfs im langjährigen Mittel für die Bewässerung liegen jedoch keine Kenntnisse zu Wasserbedarfen in höherer zeitlicher Auflösung vor. So fehlen Mengenangaben zum Bewässerungsbedarf in Wachstumszeiten bei unterschiedlichen Klimasituationen (hohe / niedrige Temperaturen; lange Trockenperioden, etc.), um speziell klimatische Extremereignisse abbilden zu können.

Somit stand bei allen Untersuchungen insbesondere auch die zeitliche Verfügbarkeit der Regen- und aufbereitetem Abwasserpotenziale sowie die ebenfalls stark schwankende Nachfrage der Landwirtschaft im Mittelpunkt. Hier wurden auch saisonale Schwankungen, wie etwa in Jahren mit gleichmäßigen Niederschlägen oder Perioden mit längerer Trockenheit, berücksichtigt. Die hier erforderlichen Speicher wurden zudem hinsichtlich einer sinnvollen Dimensionierung und die Grenzen solcher Speicherkapazitäten betrachtet.

Schließlich wurden Methoden entwickelt, wie lokale Akteure motiviert werden können Maßnahmen zu einem nachhaltigen, klimaangepassten Wasserhaushalt zu ergreifen. Dies war erforderlich, da im vorliegenden Gewerbe in Fellbach und üblicherweise auch in den meisten Gewerbegebieten in Deutschland der größte Teil der Flächen in privatem Besitz liegen.

1.3 Aufgabenstellung und Methodik

Die einleitend genannten Zielsetzungen entsprechen den bereits im Projektantrag formulierten Zielen. Im bewilligten Antrag wurden folgende Arbeitspakete benannt:

- **AP1: Grundlagenanalysen**
Eine Literaturrecherche und Bestandsaufnahme vorhandener Daten sowie Ortsbegehungen dienen als Grundlage. GIS- und CAD-Daten sowie Abflussmengen werden analysiert und in einem Datenmodell zusammengeführt.
- **AP2: Potenzialstudie**
 - **AP2.1 Regenwasserpotenziale:** GIS-Analysen erfassen den Versiegelungsgrad und die Abflussmengen. Für verschiedene Regenereignisse werden Bilanzen erstellt, um den Status quo des Regenwasserhaushalts zu dokumentieren.
 - **AP2.2 Abwasserpotenziale:** Anhand von Fragebögen und städtischen Daten werden synthetische Profile für typische Gewerbe-Abwassermengen und -qualitäten erstellt, um die Grundlagen für nachfolgende Konzepte zu liefern.
- **AP3: Konzepte und Strategien zur Synergiebildung**
 - **AP3.1 Szenarien für Regenwassermanagement:** Maßnahmen zur Wasserspeicherung und Verdunstung werden analysiert und auf ihre Effekte für das lokale Wasserregime untersucht.
 - **AP3.2 Szenarien für Abwassermanagement:** Abwasserbehandlungsoptionen werden skizziert, wobei zentrale und dezentrale Ansätze gleichermaßen geprüft werden.
 - **AP3.3 Synergien zwischen Wasserströmen:** Potenziale zur Verknüpfung von Regen- und Abwasser in Zeiten von Wasserdefiziten oder -überfluss werden untersucht.
- **AP4: Übertragbarkeitskonzept**
Basierend auf den Projektanalysen sollen Maßnahmen beschrieben werden, die den Transfer der Ergebnisse auf andere Regionen und Gebiete ermöglichen.

Die beschriebenen Arbeitspakete des Projektantrags wurden während der Projektbearbeitung hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Ausrichtung nicht verändert, jedoch wurden im Zuge des Projektfortschrittes diese hinsichtlich ihrer spezifischen Foki angepasst und konkretisiert. Insgesamt wurden folgende Untersuchungen und Arbeitsbausteine durchgeführt:

- **Potenzialanalyse zum Fellbacher IBA'27 Projektgebiet mit:**
 - **Quantitativer Analyse gewerblicher und industrieller Wasserressourcen:** Dazu gehören die Ermittlung der Regenwasser- und Abflussmengen in baulichen und Freiraumstrukturen, die Abwassermengen der jeweiligen Gewerbebetriebe sowie der Wasserbedarf, vor allem mit Fokus auf einer Verwendung in der Landwirtschaft.
 - **Bedarfserhebung der landwirtschaftlichen Produktion:** Unter Berücksichtigung der spezifischen Anforderungen des Anbaus von Futter- und Lebensmittelpflanzen wurde das Potenzial der Nutzung aufbereiteter Abwasserressourcen detailliert analysiert, um Synergiemöglichkeiten mit den zuvor ermittelten Potenzialen des Gewerbegebietes zu identifizieren.
- **Konzepte und Strategien zu nachhaltigen Wasserkreisläufen zwischen Gewerbe und Landwirtschaft:** Es wurden Möglichkeiten zu einer alternativen Wassernutzung im Plangebiet und im Rahmen eines Wassertransfers in die angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen identifiziert und quantifiziert. Diese mündeten in unterschiedlichen Wasserkonzepten. Zusätzlich wurden überschlüssig Technologien und Systeme benannt, unter welchen die Konzepte umsetzbar wären. Ein besonderer Fokus hierbei lag auf der Identifizierung notwendiger Speicher und deren Beiträge zur Deckung der zeitlich variablen Nachfrage in der Landwirtschaft. Auch wurde untersucht, inwiefern Abwasserpotenziale einen Beitrag zur Deckung von Lücken im Falle längerer Trockenperioden leisten könnten.
- **Urban Water Potentials, interaktives, digitales und partizipatives Tool:** Zur Sensibilisierung der Gewerbetreibenden vor Ort und der weiteren Öffentlichkeit wurde ein einfach zu bedienendes

webbasiertes Tool entwickelt, mit welchem man Informationen zum Gebiet sowie den unterschiedlichen Liegenschaften erhält und zudem über einen Szenarienmanager die Auswirkungen von Begründungsmaßnahmen auf den jeweiligen Wasserhaushalt sowie resultierende Kosten spielerisch testen kann.

- **Übertragbarkeitskonzept:** Abschließend wurden die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Regionen in Deutschland analysiert. Ein spezifisches Konzept benennt Hemmnisse und Erfolgsfaktoren, die bei einer Übertragung auf weitere produktive Räume berücksichtigt werden müssen.

Die beschriebenen Projektziele finden sich in der Gliederung der weiteren Berichtsstruktur wieder.

1.4 Rechtliche Rahmenbedingungen einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Wasser- und Abwassernutzung in Deutschland und der EU sind durch eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen geregelt, die eine nachhaltige Bewirtschaftung und Schutz der Wasserressourcen sicherstellen sollen.

In Deutschland bildet das Wasserhaushaltsgesetz (WHG, 2009/22. Dezember 2023) die Grundlage für den Schutz von Gewässern und die geregelte Nutzung von Wasserressourcen. Die bisherigen Regelungen sind besonders auch für den Umgang mit Regenwasser relevant. Gemäß § 54 WHG ist Abwasser auch „das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließende Wasser (Niederschlagswasser)“. Somit ist Regenwasser in bebauter Umgebung in der Regel Abwasser.

Auf europäischer Ebene definiert die Verordnung (EU) 2020/741, 2020 Anforderungen an die Wiederverwendung von behandeltem Abwasser, insbesondere für die landwirtschaftliche Bewässerung, um die Ressourcenschonung zu fördern und gleichzeitig Risiken für Umwelt und Gesundheit zu minimieren.

Der Technische Leitfaden von Maffettone und Gawlik (2022) bietet weiterführende technische und rechtliche Empfehlungen zur sicheren Umsetzung der Wiederverwendung. In der Landwirtschaft ist zudem die Nitratrichtlinie 1991 relevant, die Grenzwerte für Nitrate im Grundwasser festlegt und auf den Schutz vor Überdüngung abzielt, um die Wasserqualität zu sichern. Ergänzend dazu gibt es spezifische technische Regelungen, wie die des Deutschen Vereins für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA), die praxisnahe Empfehlungen für die Wasserwirtschaft geben. Insgesamt stellen diese Regelungen sicher, dass sowohl die Wassernutzung als auch der Schutz der Wasserqualität in Einklang mit ökologischen und gesundheitlichen Standards stehen.

In Deutschland werden technische Anforderungen im Wasser- und Abwasserbereich durch den **Deutschen Verein für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA)** entwickelt und veröffentlicht. Obwohl die Standards keinen Rechtsstatus besitzen, werden sie im Falle gerichtlicher Auseinandersetzung oftmals als anerkannter Stand der Technik angesehen. Die DWA-Veröffentlichungen umfassen Regelwerke zur Regenwasserbewirtschaftung und Leitlinien für die Planung und den Betrieb von Anlagen zur dezentralen Versickerung oder Regenwassernutzung.

Am 5. November 2024 hat der EU-Ministerrat die neue Kommunalabwasserrichtlinie (KARL) beschlossen. Die RL beinhaltet Neuerungen vor allem für den Umgang mit Niederschlagswasser. U.a. wird ein Vorrang für grüne und blaue Infrastrukturlösungen genannt. Ferner sieht die Novellierung integrierte Pläne zur kommunalen Abwasserbewirtschaftung vor. Diese sollen eine detaillierte Beschreibung von Kanalisation und Sonderbauwerken sowie die Darstellung der Kapazitäten für die Behandlung von kommunalem Abwasser bei Regen enthalten. Ziel ist die Verringerung der Gewässerbelastung durch Regenüberläufe. Ferner müssen gemäß der Richtlinie erst ab 2045 alle Kläranlagen mit mehr als 150.000 EW über eine vierte Reinigungsstufe verfügen.

2 Potenzialanalyse zum Fellbacher IBA'27 Projektgebiet



Abbildung 2 Luftbild des Projektgebiets »AGRICULTURE meets MANUFACTURING« in Fellbach (Bild: Stadt Fellbach / Niessner Design)

Die nachfolgend aufgeführten Analysen (Erstellung der Regenwasserbilanzen, Ermittlung der Abwasserquantitäten, Typisierung der Gewerbestrukturen, Ermittlung der landwirtschaftlichen Wasserbedarfe) fußen auf einem umfassenden GIS-Datenmodell. Verfügbare und erforderliche Grundlagendaten wurden über die Stadt Fellbach, die Stadtwerke Fellbach und weitere projektbeteiligte Planungsbüros (berchtoldkrass space&options, GEO-NET Umweltconsulting GmbH) beschafft oder selbst erhoben und anschließend zu einem ganzheitlichen und fein aufgelösten GIS Datenmodell für das Projektgebiet integriert. Die Geodaten wurden in ArcGIS Pro verarbeitet. Darüber hinaus wurden LOD2 CityGML Gebäudedaten für die Ermittlung von Dachneigungen herangezogen. Die erforderlichen meteorologischen Daten wurden den Datenbanken des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg (LTZ) für den Standort Fellbach entnommen. Das LTZ betreibt im Auftrag des Baden-Württembergischen Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR) ein agrarmeteorologisches Messnetz (LTZ, 2025). Weitere hydrologische Basisdaten wurden dem Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) (Bundesanstalt für Gewässerkunde [BfG], 2025) entnommen (vgl. Kapitel 2.2).

2.1 Baustrukturelle Eigenschaften

Das Projektgebiet lässt sich in drei Hauptzonen untergliedern (vgl. Abbildung 3). Das Zentrum ist geprägt durch industriell-gewerbliche Nutzungen (56,4 %, ca. 62 ha). Östlich der Taschenstraßen befindet sich eine Wohn- und Mischnutzungszone (19,4 %, ca. 21,3 ha) und südlich der Stuttgarter Straße, abgetrennt vom übrigen Gebiet, erstreckt sich eine landwirtschaftlich genutzte Zone (24,2 %, ca. 26,6 ha), in der landwirtschaftliche Betriebe sowie Ackerflächen vorzufinden sind. Bis auf wenige Flächen, wie den Bahntrassen im Norden des Gebiets, die der Deutschen Bahn gehören, dem Eichamt Fellbach, das dem Land BW gehört und zwei städtischen Spielplätzen mit wenigen Gebäuden, liegen über 80 % der Flächen in privater Hand (vgl. Abbildung 3).

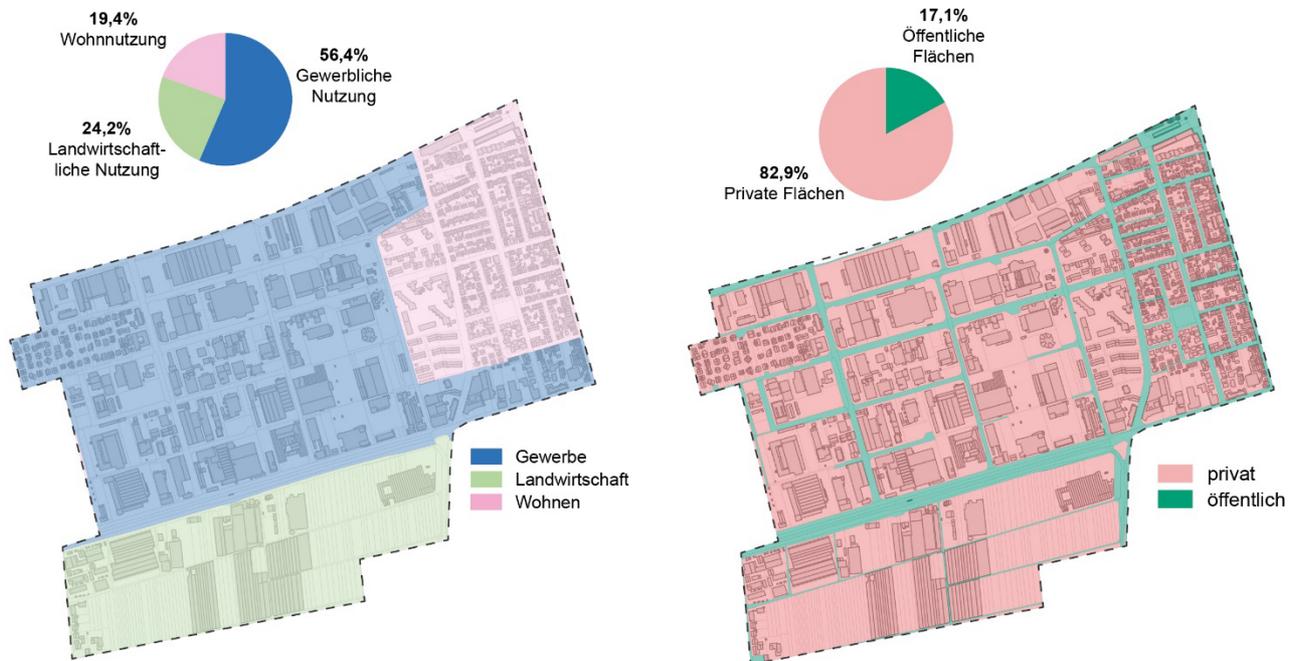


Abbildung 3 Hauptnutzungen und Verteilung öffentlicher und privater Flächen im Projektgebiet.

Versiegelungsgrad und Grünflächenverteilung im öffentlichen und privaten Freiraum

Infolge der intensiven Nutzung ist das Projektgebiet gekennzeichnet durch einen hohen Versiegelungs- und Bebauungsgrad (vgl. Karten in Anhang A1 und A2). 34,4 % der Gesamtfläche sind durch Gebäude überbaut, wobei nur 5,6 % dieser Gebäude mit begrünten Dächern ausgestattet sind. Die verbleibende Fläche des Gebiets besteht zu 34,8 % aus vollversiegelten Asphalt- und Betonflächen, zu 7,6 % aus teilversiegelten Böden wie Rasengittersteinen oder Pflastersteinen mit größeren Fugen und zu 28,7 % aus unversiegelten Böden. Der hohe Anteil unversiegelter Flächen ist einerseits auf die 10,97 % Ackerfläche und andererseits auf die hohen Begrünungsgrade im Wohngebiet zurückzuführen.

Demgegenüber sind im Gewerbegebiet begrünte Flächen sowohl auf privaten Grundstücken als auch im öffentlichen Raum lediglich punktuell vorhanden, während vollversiegelte Flächen überwiegen. Der Anteil begrünter Flächen im öffentlichen und privaten Freiraum beträgt lediglich 14,88 %.

Flächennutzung im Gewerbegebiet

Das Projektgebiet geht auf die ehemalige landwirtschaftliche Parzellierung zurück. Im Laufe der Zeit kam es zu einer intensiven Bebauung der Grundstücke mit industriellen und gewerblichen Gebäuden. Die fünf Branchen mit dem höchsten Nettobaulandanteil im Gewerbegebiet sind der Maschinenbau mit 14,6 %, der Einzelhandel mit 13,6 %, sonstige Dienstleistungen mit 12,1 %, die Metallverarbeitung mit 11,6 % und der Großhandel mit 9,2 % (vgl. Karte in Anhang A3). Die vorherrschende Bebauung besteht aus großen Gewerbebauten, Bürokomplexen sowie Lager- und Logistikhallen. So sind im Gewerbegebiet über 45,7 % der privaten Grundstücke mit Gebäuden und Hallen überbaut. 12,8 % der privaten Grundstücke sind begrünt und die restliche Fläche von ca. 40 % dient dem Parken, der Produktion, Lagerung und Logistik (vgl. Karte in

Anhang A3). Der öffentliche Raum besteht überwiegend aus Verkehrs- und Parkplatzflächen. Lediglich 1,7 % des öffentlichen Raums im Gewerbegebiet ist begrünt.

2.2 Regenwasserhaushalt

In urbanen und insbesondere in gewerblichen Gebieten stellt die Regenwasserbewirtschaftung eine zentrale Herausforderung dar. Die stark ausgeprägte Versiegelung großer Flächen hat erhebliche Auswirkungen auf den natürlichen Wasserkreislauf. Zu den möglichen Folgen zählen eine verringerte Verdunstung und Grundwasserneubildung, eine erhöhte Überschwemmungsgefahr und eine Belastung der Kanalisation. Vor diesem Hintergrund ist eine systematische Analyse und Bewertung des Niederschlagswassers durch eine Regenwasserbilanz von entscheidender Bedeutung. Das Merkblatt DWA-M 102-4 (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. [DWA], 2022) bietet hierfür einen standardisierten Ansatz. In der Regenwasserbilanz werden Prozesse wie Verdunstung, Versickerung und Grundwasserneubildung und Oberflächenabfluss berücksichtigt. Das Ziel besteht darin, ein umfassendes Verständnis der Wasserflüsse zu erlangen, um darauf aufbauend gezielte Maßnahmen zur Ableitung, Entwässerung, Rückhaltung oder Versickerung zu planen. Das Merkblatt stellt eine praxisorientierte Methodik bereit, die hydrologische und technische Aspekte integriert und verschiedene Einflussfaktoren wie Bodenbeschaffenheit und Landnutzung berücksichtigt.

Im weiteren Verlauf wird das konkrete Vorgehen bei der Erstellung der Regenwasserbilanz nach DWA-M 102-4 sowie die Ergebnisse für das gesamte Projektgebiet sowie das Teilgebiet mit der gewerblichen Nutzung beschrieben.

Vorgehen

Die Bilanzierung des jährlichen Regenwasserhaushalts sowie seiner drei Komponenten – Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung – erfolgte nach den Vorgaben des DWA-Merkblatts 102-4 (DWA, 2022). Darin wird als Zielvorgabe der Erhalt eines lokalen Wasserhaushalts definiert, wobei die Wasserbilanz für den unbebauten Zustand als Referenz für die Bewertung des tatsächlichen (bebauten) Ist-Zustandes herangezogen wird. Das Ziel besteht darin, die drei Bilanzgrößen der Wasserbilanz des bebauten Gebietes an die des unbebauten Referenzzustandes möglichst anzunähern (optimale Abweichung <10 %).

Auf Basis von Vor-Ort-Begehungen und Luftbildauswertungen wurden zunächst die Dach- und Bodenoberflächen nach Materialität und in Kategorien unterschiedlichen Abfluss-, Speicher- und Verdunstungsverhaltens (DWA-Flächenkategorien) unterteilt (vgl. die Karte Verteilung Oberflächenbeschaffenheit und Tabelle in Anhang A5).

Die notwendigen Parameter für die Referenz-Wasserbilanz, die der „natürlichen“ Wasserbilanz einer gebietscharakteristischen Kulturlandschaft ohne Siedlungs- und Verkehrsflächen entspricht, wurden aus dem HAD (BfG, 2025) bezogen.

Die Berechnung der drei Wasserhaushaltskomponenten erfolgte pro Flächenkategorie und über die Aggregation hin zu einer Gesamtquartierswasserbilanz bzw. zu Teilwasserbilanzen. Dabei wurden die landwirtschaftlichen Anbauflächen ("Acker") im Süden des Gebiets gesondert mit der Software CROPWAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2024) analysiert, sodass diese nicht Teil der Regenwasserbilanz sind (vgl. Kapitel 2.5).

Die notwendigen Wetterdaten für die Regenwasserbilanzen wurden über den Deutschen Wetterdienst (DWD) (Station 1351, Fellbach) bezogen. Als Bezugszeitraum wurde das Vieljährige Mittel (1991-2020) der korrigierten Niederschlagsmesswerte gewählt.

Neben der Gesamtbilanz für das Projektgebiet erfolgte eine detaillierte Analyse jedes einzelnen Grundstücks im Gewerbegebiet, woraus eine grundstücksscharfe Wasserbilanz inkl. umfassender Begrünungsszenarien resultierte (vgl. Kapitel 3.1).

Zusammenfassung der Ergebnisse

Aufgrund hoher Versiegelungsgrade, Bauvolumina und fehlendem Grün weisen der Wasserhaushalt und das Mikroklima starke Abweichungen vom unbebauten natürlichen Zustand auf (stark verringerte Verdunstung und erhöhter Abfluss, sowie verringerte Grundwasserneubildung).

So verdunsten lediglich 31 % des Jahresniederschlags direkt im Quartier, 7 % versickern und können in die Grundwasserneubildung eingehen. Der Großteil hingegen, 62 % des Niederschlags, wird über die versiegelten Flächen abgeleitet und bildet den Direktabfluss (vgl. Abbildung 4).

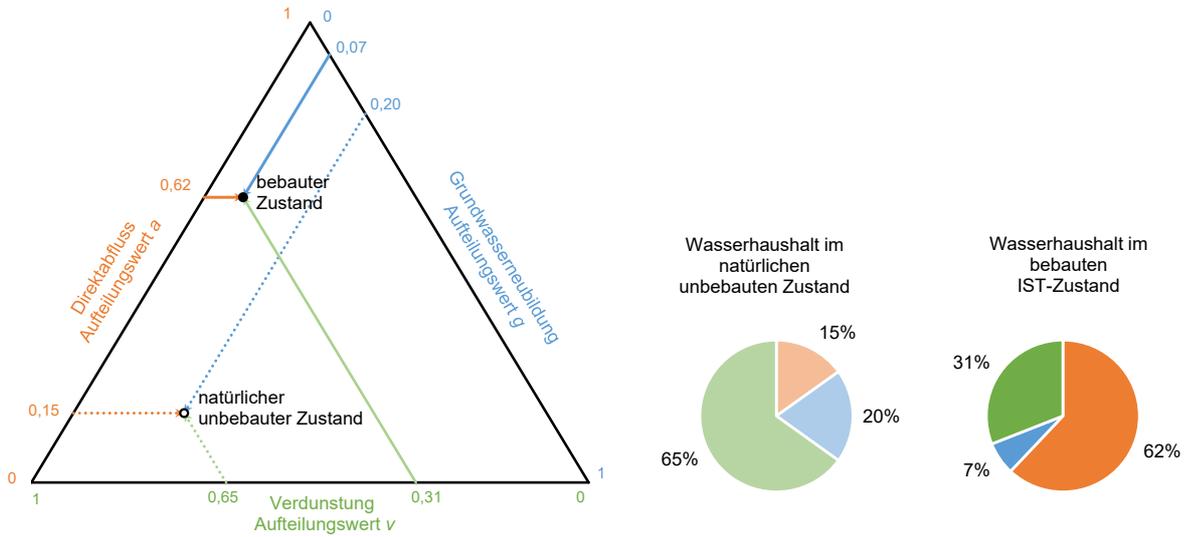


Abbildung 4 Jährliche Regenwasserbilanz für das gesamte Projektgebiet: Prozentuale Anteile der Wasserhaushaltskomponenten (Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung) im Vergleich zum natürlichen Referenzwasserhaushalt. Ermittelt nach DWA M-102.

Die gewerblichen Flächen im Projektgebiet weisen einen deutlich stärker modifizierten Wasserhaushalt auf, mit stark erhöhten jährlichen Abflussraten von 69 %, verringerten Verdunstungsraten von 26 % und kaum bis keine Versickerung mit 5 % Grundwasserneubildung (vgl. Abbildung 5).

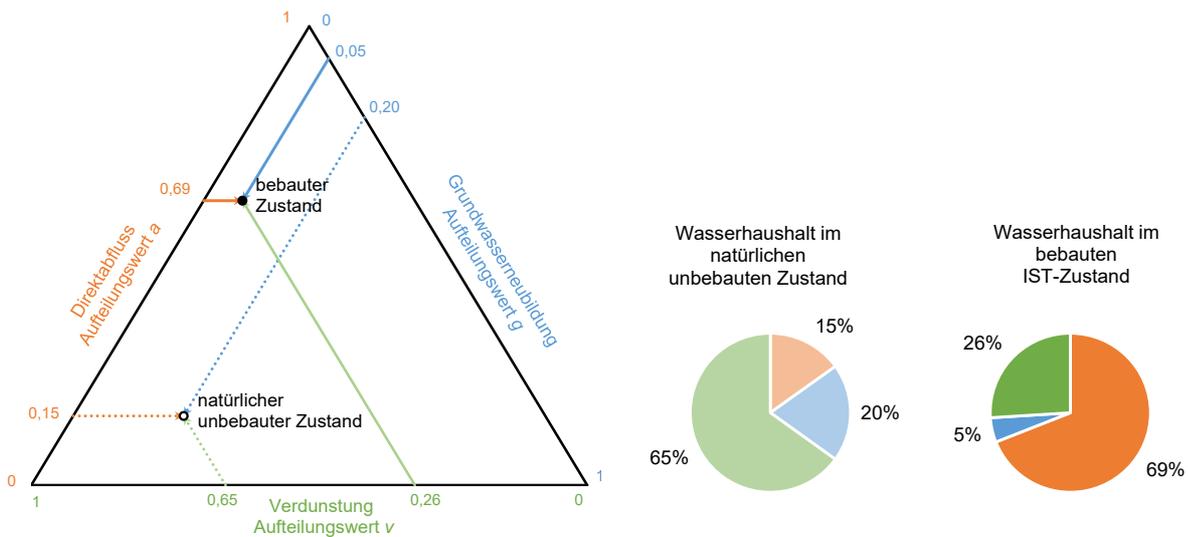


Abbildung 5 Jährliche Regenwasserbilanz für das Gewerbegebiet: Prozentuale Anteile der Wasserhaushaltskomponenten (Direktabfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung) im Vergleich zum natürlichen Referenzwasserhaushalt. Ermittelt nach DWA M-102.

Ein Großteil des jährlich aufkommenden Regenwassers fließt direkt über die großen Dachflächen der Gewerbegebäude (vor allem Hallen und große Bürogebäude) in die Kanalisation. Die auf den Dachflächen anfallenden Regenmengen bilden ein großes ungenutztes Potenzial. Bei einer mittleren jährlichen Niederschlagsmenge von 784 mm könnten im Gewerbegebiet derzeit ca. 156.945 m³ Regenwasser von den Dächern (ca. 23 ha) abgeleitet und gespeichert werden. Im gesamten Projektgebiet beträgt der potenziell speicherbarer Dachablauf ca. 264.234 m³ Regenwasser, bei einer Gesamt-Dachfläche von ca. 38,3 ha. Bei einem täglichen Wasserverbrauch von 120 Liter pro Person, könnten mit dieser Menge 5.500 Menschen ein Jahr lang mit Trinkwasser versorgt werden.

2.3 Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen im Gewerbegebiet

Der Abwasserhaushalt eines Gebiets setzt sich hauptsächlich aus zwei wesentlichen Komponenten zusammen: dem Schmutzwasser und dem Niederschlagsabwasser. Das Schmutzwasser resultiert primär aus dem Bezug von Trinkwasser und umfasst das von Haushalten, Gewerbe und Industrie genutzte und anschließend in die Kanalisation eingeleitete Wasser. Es entspricht weitgehend dem Trinkwasserverbrauch, abzüglich geringer Mengen, die etwa für Bewässerung verwendet werden oder bei Produktionsprozessen verdunsten. Demgegenüber entsteht Niederschlagsabwasser durch den Oberflächenabfluss von Regenwasser, von versiegelten Flächen wie Dächern und Einfahrten und ist damit neben der Intensität der Niederschläge in erster Linie von dem Grad der Flächenversiegelung abhängig (vgl. Kapitel 2.2). Das Schmutzwasser hingegen fällt im Jahresverlauf in der Regel konstant an und kann in Abhängigkeit von der gewerblichen Nutzung eine hohe Belastung aufweisen. Demgegenüber variiert das Niederschlagsabwasser in zeitlicher und räumlicher Hinsicht, wobei davon auszugehen ist, dass es in der Regel eine geringere Belastung aufweist.

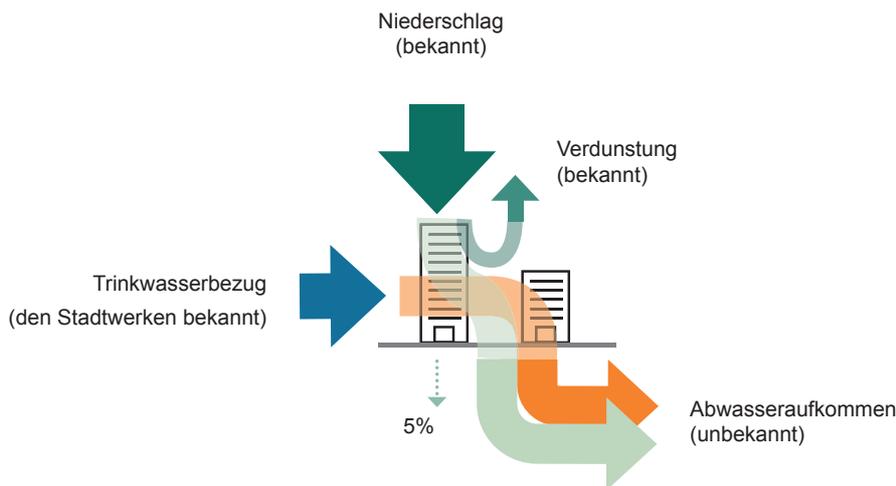


Abbildung 6 Wasserteilströme im Untersuchungsgebiet

Vorgehen

Die quantitative Grundlage zur Bilanzierung des gewerblichen Gesamtabwasser und nachfolgenden Typisierung nach Branchenzugehörigkeit, sind die Abflussmengen aus der Regenwasserbilanz (vgl. Kapitel 2.2) und die realen Trinkwasserbezugsdaten, die über die Stadtwerke Fellbach für die Jahre 2018 bis 2022 bezogen wurden.

Sensible unternehmensbezogene Trinkwasserdaten wurden im Rahmen der Analysen innerhalb der jeweiligen Branche anonymisiert, so dass keine Rückschlüsse auf einzelne Unternehmen, Adressen oder Personen möglich sind. Darüber hinaus wurden nur Branchen dargestellt, sofern mind. drei Einheiten aggregiert werden konnten.

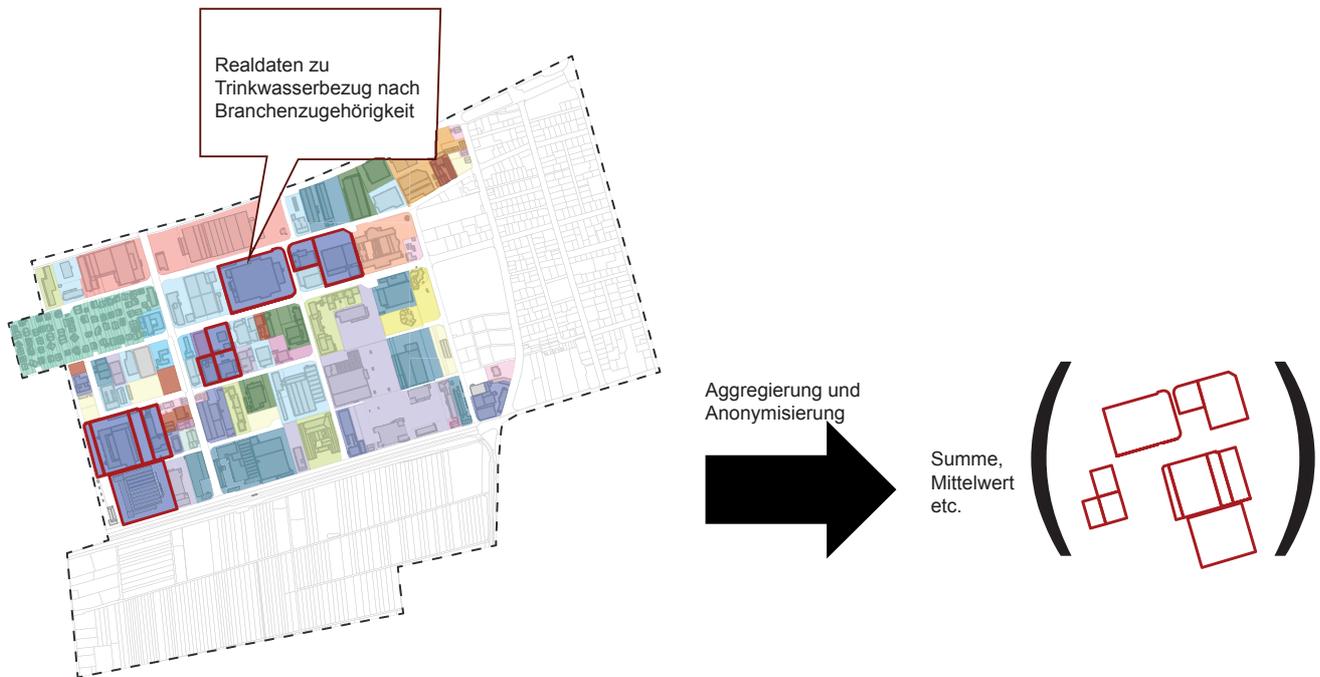


Abbildung 7 Aggregation und Anonymisierung der Realdaten zum Trinkwasserbezug zur branchen-spezifischen Werten und Zusammenfassung in gemittelten Werten.

Die branchenspezifischen Trinkwasserbedarfe wurden auf Basis der ermittelten Bruttogeschossflächen der Gebäude innerhalb einer Branche bestimmt. Damit konnten teilweise fehlenden Realdaten von Adressen für die Gesamtabwasserbilanz ausgeglichen werden.

Ergebnisse

Der Großteil (83 %) des Gesamtabwassers im Gewerbegebiet speist sich aus dem über die versiegelten Flächen und Dächer abgeleiteten Regens, wohingegen nur geringe Mengen Schmutzwasser aus dem jährlichen Trinkwasserbezug stammen (vgl. Abbildung 8).

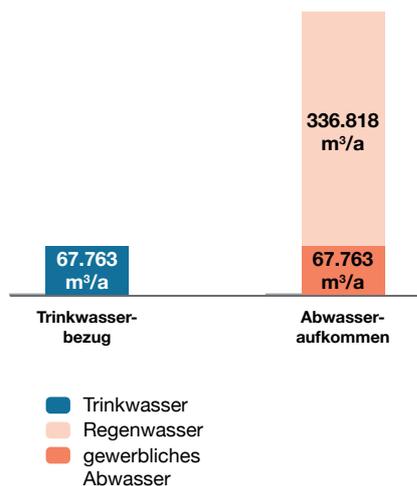


Abbildung 8 Abwasseraufkommen im Gewerbegebiet in Kubikmeter pro Jahr, resultierend aus dem Gesamt-Trinkwasserbezug und Gesamt-Niederschlagsabfluss.

Die Trinkwasserbezüge unterscheiden sich teilweise stark zwischen den unterschiedlichen gewerblichen Nutzungen (vgl. Abbildung 9). Autowaschanlagen weisen aufgrund ihrer intensiven Wassernutzung die höchsten spezifischen Trinkwasserbedarfe von 1,71 m³/m² (BGF), gefolgt von dem Gastgewerbe und den öffentlichen Einrichtungen mit ca. 0,6 m³/m² (BGF) und der Metallerzeugung und -verarbeitung mit 0,29 m³/m² (BGF) auf. Die anderen Branchen weisen vergleichbar geringe Trinkwasserbedarfswerte von ca. 0,17 m³/m² (BGF) für den Einzelhandel, sowie KFZ Handel und Reparaturservice und 0,8 bis 0,11 m³/m² (BGF) für den Fahrzeugbau, Großhandel, Logistik, Maschinenbau und sonstigen Dienstleistungen auf.

Rückschlüsse auf die erhöhten Bedarfe im Gastgewerbe können auf die gegenüber den anderen Branchen ausgedehnten Öffnungszeiten und damit auch höheren Wassernutzungszeiten zurückzuführen sein. Darüber hinaus werden Sanitäranlagen (Toilettenspülung, Händewaschen) und nicht zu vernachlässigen die gewerblichen Spülmaschinen intensiv genutzt. Dahingegen arbeiten beispielsweise im Großhandel und der Logistik weniger Personen auf mehr Fläche, die damit entsprechend weniger Wasser während eines Arbeitsalltags verbrauchen. Der Einzelhandel nimmt hier eine Sonderstellung dahingehend ein, als dass alleine die hohe Frequentierung von Personen, nicht immer in erhöhtem Wasserverbrauch für Sanitäranlagen resultieren. Bei einigen Branchen ist davon auszugehen, dass auch die gewerblichen Prozesse, neben der Mitarbeiternutzung der Sanitäranlagen Wasser verbrauchen, wie bspw. für die Kalibrierung von Messgeräten, wie uns von einem Hersteller für Regelungstechnik mitgeteilt wurde.

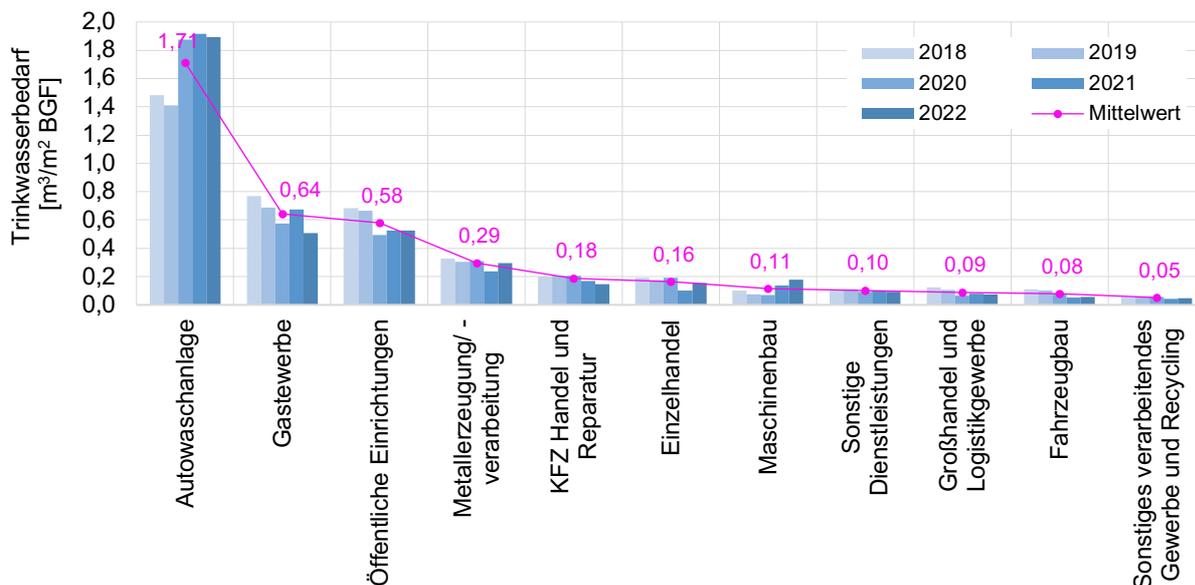


Abbildung 9 Jährlicher branchenspezifischer Trinkwasserbedarf in m³/m² (BGF) Die Datengrundlage bilden die im Fellbacher Gewerbegebiet von den Stadtwerken erfassten Trinkwasserbezugs-mengen der Jahre 2018 bis 2022.

Insgesamt zeigt die Gesamtabwasserbilanz allerdings, dass ein Potenzial zur Weiternutzung des Abwassers rein mengen-technisch auf Seiten der Regenwassernutzung liegt (83 % des Gesamtabwassers, vgl. Abbildung 8). Was darüber hinaus auch vor dem Hintergrund einer notwendigen Aufbereitung von Schmutzwasser einen Vorteil darstellt.

2.4 Abwassergebühren im Gewerbegebiet

In Fellbach setzen sich die Abwassergebühren hauptsächlich aus zwei Komponenten zusammen: der Schmutzwassergebühr und der Niederschlagswassergebühr. Die Schmutzwassergebühr in Fellbach beträgt 1,76 EUR (Stand: November 2024) pro Kubikmeter Frischwasser und basiert auf dem tatsächlichen Frischwasserverbrauch eines Haushalts oder Unternehmens. Sie deckt die Kosten für die Ableitung und Reinigung des genutzten Wassers. Die Niederschlagswassergebühr hingegen wird für die Ableitung von Regenwasser von versiegelten Flächen wie Dächern oder Einfahrten erhoben. Die Niederschlagswassergebühr wird fällig, sofern das auf dem eigenen Grundstück anfallende Regenwasser nicht auf dem Grundstück selbst versickern oder verdunsten kann und folglich über die öffentliche Kanalisation abgeleitet werden muss. Diese zweite Komponente berücksichtigt die Belastung des Abwassersystems durch Regenwasser und trägt zur Finanzierung der entsprechenden Infrastruktur bei.

Niederschlagsabwassergebühren im Gewerbegebiet.

Gemäß Abwassersatzung (AbwS) der Stadt Fellbach (AbwS Fellbach, 2022) bemisst sich der jährliche Beitrag auf 0,3 € pro Quadratmeter wasserundurchlässiger Grundstücksfläche. Maßstab für die Gebührenberechnung sind die Anteile voll-versiegelter (Faktor 1,0) und teil-versiegelter (Faktor 0,5) Oberflächen.

Die privaten Grundstücke im Gewerbegebiet sind zu fast 80 % asphaltiert oder weisen andere voll-versiegelt Beläge auf Boden und Dächern auf. Lediglich ca. 5 % der Flächen sind mit teilweise wasserdurchlässigen Oberflächenbelägen wie Rasengittersteinen oder begrünten Dachflächen ausgestattet. Daraus ergeben sich in Summe folgende jährliche Niederschlagsabwassergebühren für das Gewerbegebiet und der Mittelwert pro Hektar Nettobauland:

153.184,35 € / a

3.023,62 € / (ha*a)

davon fällt folgender Anteil für die Dachflächen an:

66.520,38 € / a

2.884,66 € / (ha*a)

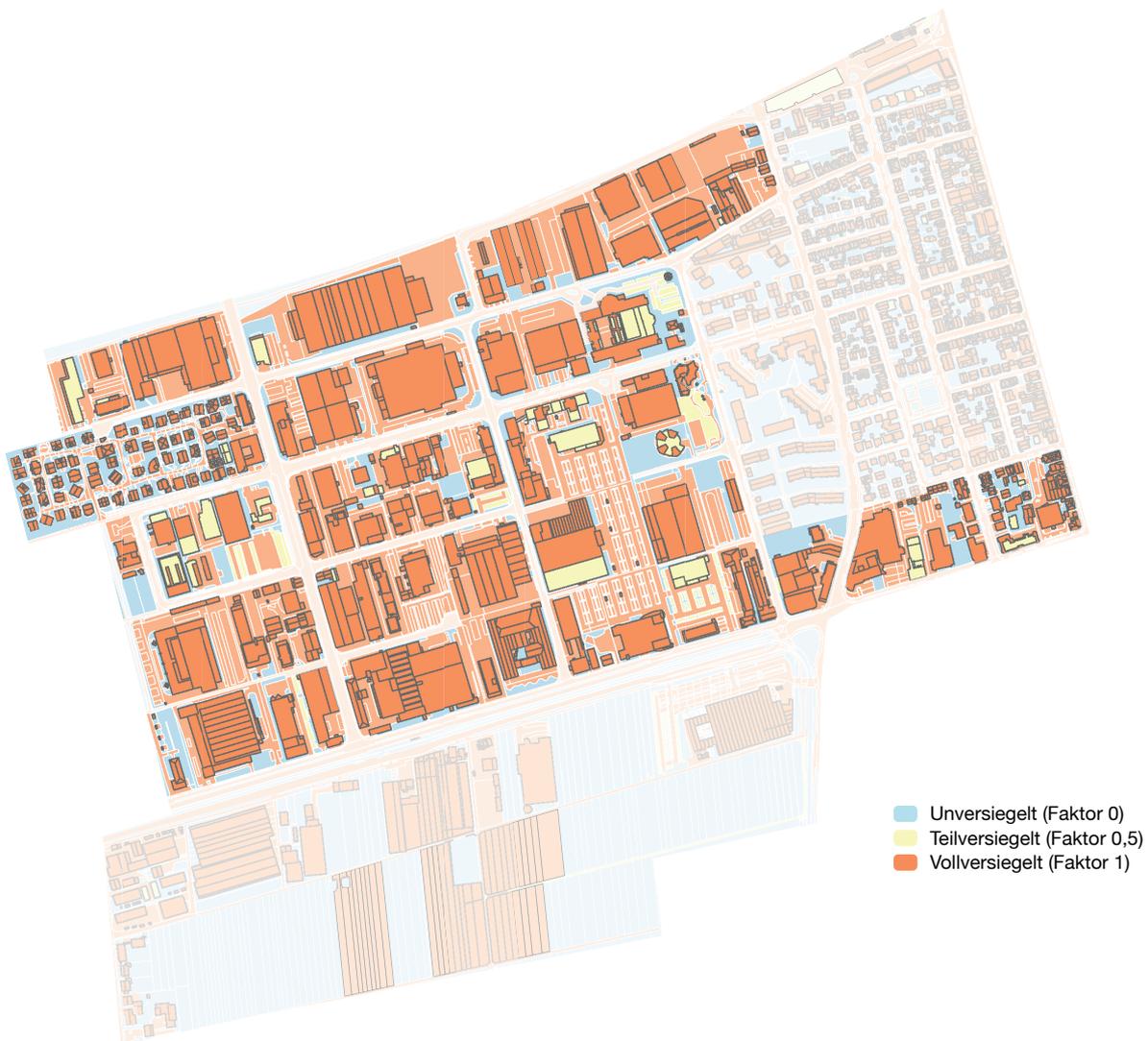


Abbildung 10 Versiegelungsklassen nach Abwassersatzung der Stadt Fellbach.

Die Gesamtabwasserkosten betragen 272.447,73 € pro Jahr und setzen sich zusammen aus der Schmutzwassergebühr (gewerbliches Abwasser) in Höhe von 119.263 € pro Jahr und den Kosten für die Ableitung des Regenwassers in Höhe von 153.184 € pro Jahr (vgl. Abbildung 11).

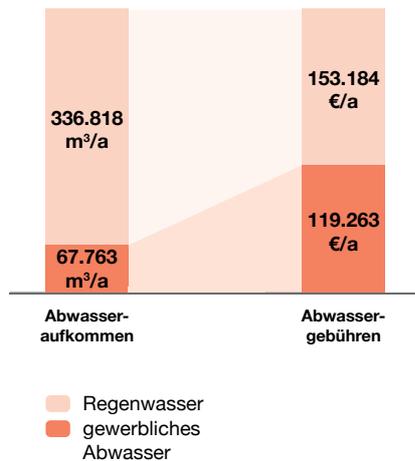


Abbildung 11 Jährliches Abwasseraufkommen im Gewerbegebiet und resultierende Abwasserkosten.

2.5 Wasserbedarfe in der Landwirtschaft

In den vorangegangenen Kapiteln erfolgte zunächst die Ermittlung der Wasserpotenzialmengen hinsichtlich des Niederschlags sowie des Abwassers im Gewerbegebiet. Die entsprechenden Ergebnisse sind in den Kapiteln 2.2 und 2.3 dargestellt.

Im Folgenden erfolgt die Ermittlung der Wasserbedarfe auf landwirtschaftlicher Seite. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Größen sind die Wasserbedarfe in der Landwirtschaft neben den spezifischen Charakteristika der jeweiligen Anbauart in erheblichem Maße von weiteren meteorologischen Bedingungen abhängig. Zu den maßgeblichen Einflussgrößen zählen die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit sowie der Niederschlag auf den Pflanzen.

Die landwirtschaftlichen Flächen erstrecken sich südlich der Stuttgarter Straße. Im Bereich des Freilandanbaus ist der Gemüsebauer Welz der maßgeblich involvierte Akteur mit einer Fläche von circa 25 ha, die für den Anbau von Rucola genutzt wird. Des Weiteren sind auf dem Gelände circa 3 ha Gewächshäuser vorhanden, von denen die Hälfte unter Folie in Tunnelgewächshäusern liegt. Laut eigener Aussage liegt in den Gewächshäusern ein eigener autarker Wasserkreislauf vor, welcher von den nachfolgenden Analysen ausgenommen wird. Als zweiter Akteur neben dem Landwirt Welz ist die Gärtnerei Schwarzkopf zu nennen, die Schnittrosen in Gewächshäusern anbaut.

Im Rahmen der nachfolgenden Bedarfsanalysen, welche insbesondere zukünftige Wetterbedingungen und Niederschlagsmuster berücksichtigen, wurde zunächst der Freilandanbau von Rucola (25 ha) betrachtet. Als Mittelwert wurde uns von Herrn Welz ein über die vergangenen Jahre beobachteter Bewässerungsbedarf von 100 Litern pro Quadratmeter und Jahr für den Freilandanbau mitgeteilt.

Vorgehen

Die Ermittlung der monatlichen Bewässerungsbedarfe erfolgte unter Zuhilfenahme der von der Food and Agriculture Organization (FAO) entwickelten Software CROPWAT 8.0 (FAO, 2024). Im Rahmen der Ermittlung wurden verschiedene, kulturartspezifische Parameter für spezifische Wachstumsstadien von Rucola berücksichtigt (vgl. Allen et al., 1998). Der Zeitraum von der Pflanzung bis zur Ernte wurde in vier Stufen unterteilt. Die initiale Phase ist gekennzeichnet durch einen niedrigen Wasserbedarf und eine geringe Wurzeltiefe. In der darauffolgenden Entwicklungsphase steigt der Bedarf an Wasser und die Wurzeltiefe an, bis die mittlere Wachstumsphase erreicht wird. In dieser Phase bleiben der Wasserbedarf und die Wurzeltiefe konstant. Die letzte Phase ist durch ein leichtes Absinken des Wasserbedarfs bis zur Ernte gekennzeichnet, während die Wurzeltiefe konstant bleibt. Die durchgeführten Analysen umfassen die Berechnung des Bewässerungsbedarfs für parallellaufende Anbauzyklen über den Zeitraum von April bis

September. In Bezug auf das Bewässerungssystem wurde eine Effizienz von 70 % angenommen. Bei höheren Annahmen fallen die notwendigen Bewässerungsmengen geringer aus.

Zusätzlich wurden die Bodeneigenschaften am Standort Fellbach berücksichtigt. Dies erfolgte auf Basis der Bodenübersichtskarte (BÜK1000) der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Die notwendigen Wetterdaten, wie Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung und Windgeschwindigkeit, wurden über das Landwirtschaftliche Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg (Station Nr. 94, Fellbach) für die Jahre 2013 bis 2020 sowie für die mittleren Wetterbedingungen von 2011 bis 2023 bezogen.

Ergebnisse

Die Abbildung 12 veranschaulicht exemplarisch den Zusammenhang zwischen den herabregnenden Niederschlagsmengen, der mittleren Lufttemperatur und dem ermittelten Bewässerungsbedarf eines Rucola Anbaus in Fellbach über ein Jahr hinweg. Die monatlichen Bewässerungsbedarfsmengen wurden auf die Tage des Monats heruntergerechnet.

Die Ergebnisse der Simulation verdeutlichen, dass bei hohem Niederschlagsaufkommen, wie es beispielsweise im Juni 2020 zu beobachten war (vgl. Abbildung 12), kein weiterer Bedarf an zusätzlicher Bewässerung besteht. Gleichzeitig lässt sich ein Anstieg des Bewässerungsbedarfs in trockenen Perioden beobachten, wie beispielsweise im April bis Ende Mai und Juli 2020.

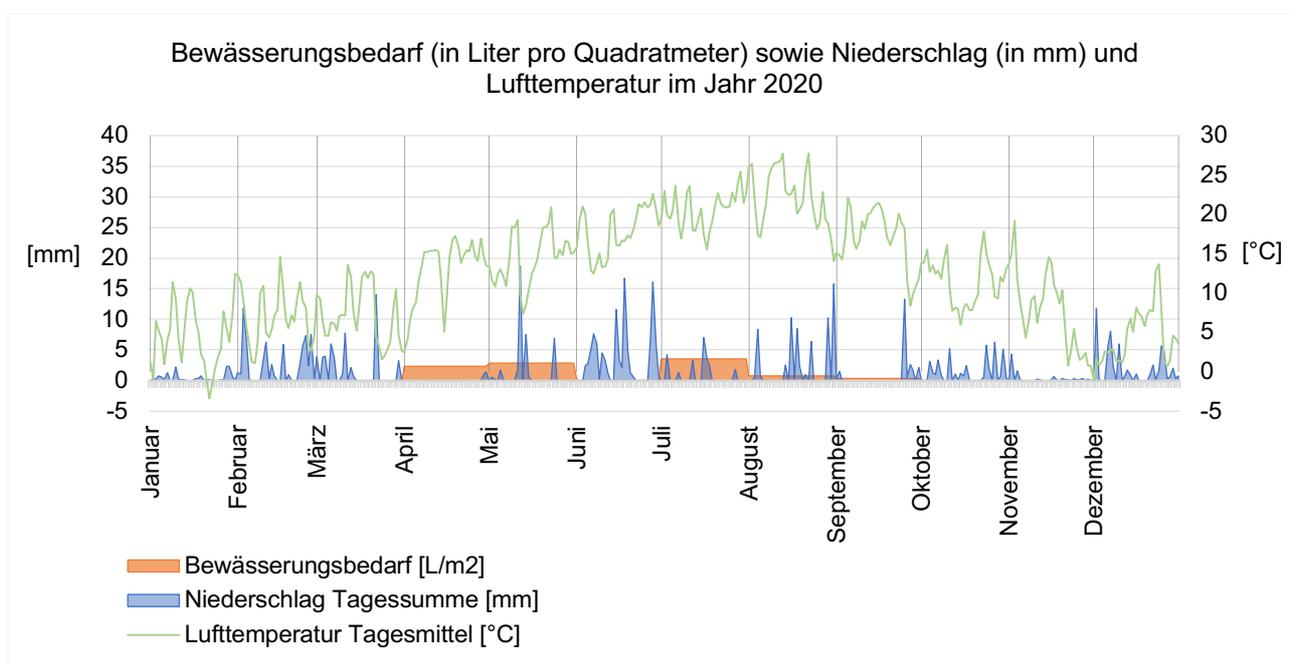
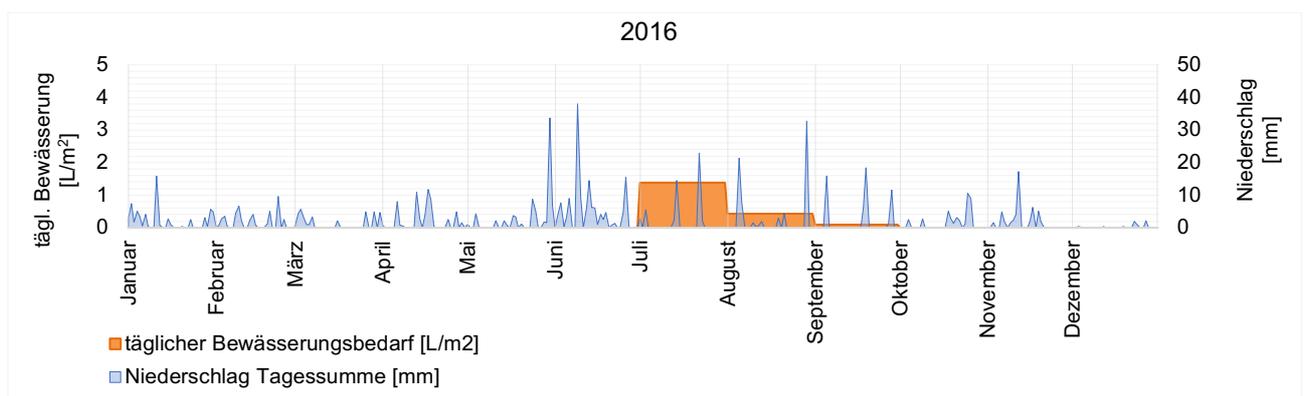
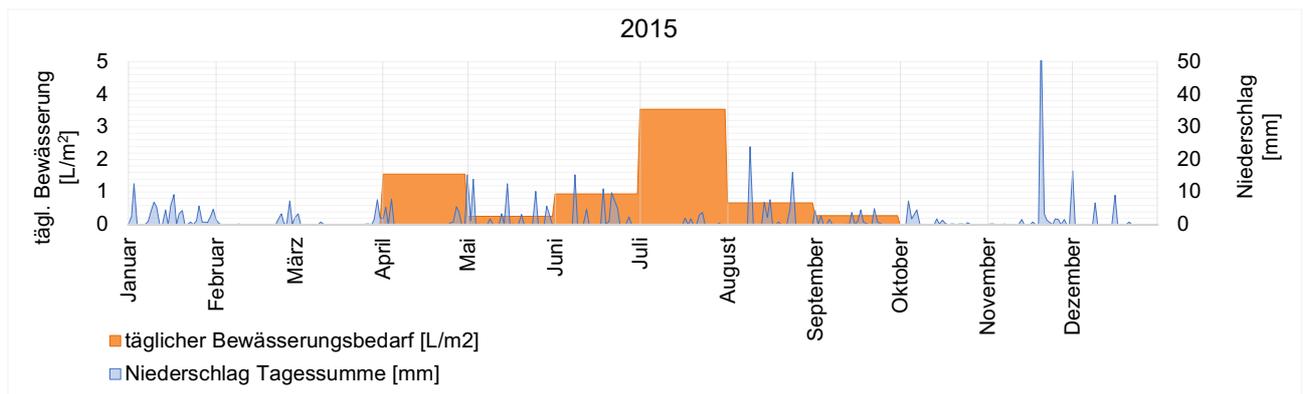
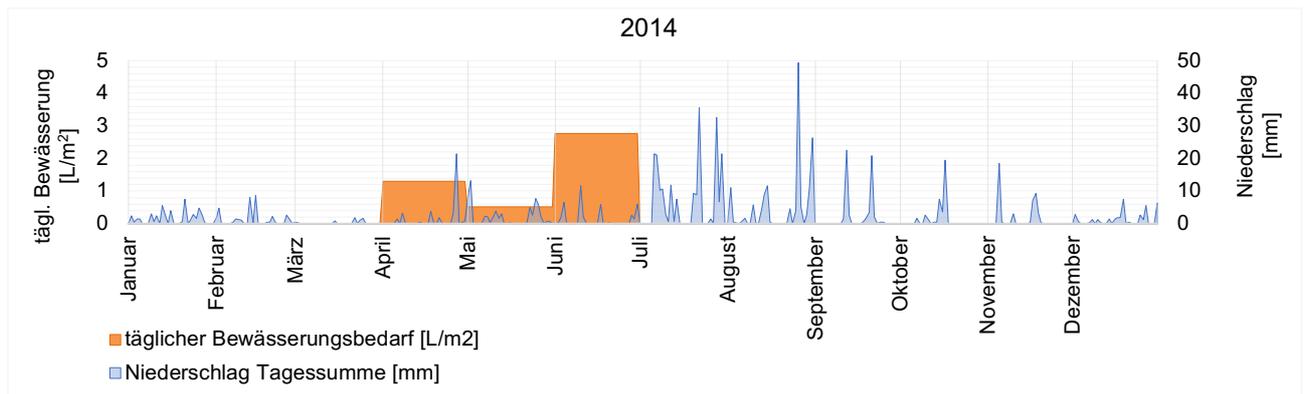
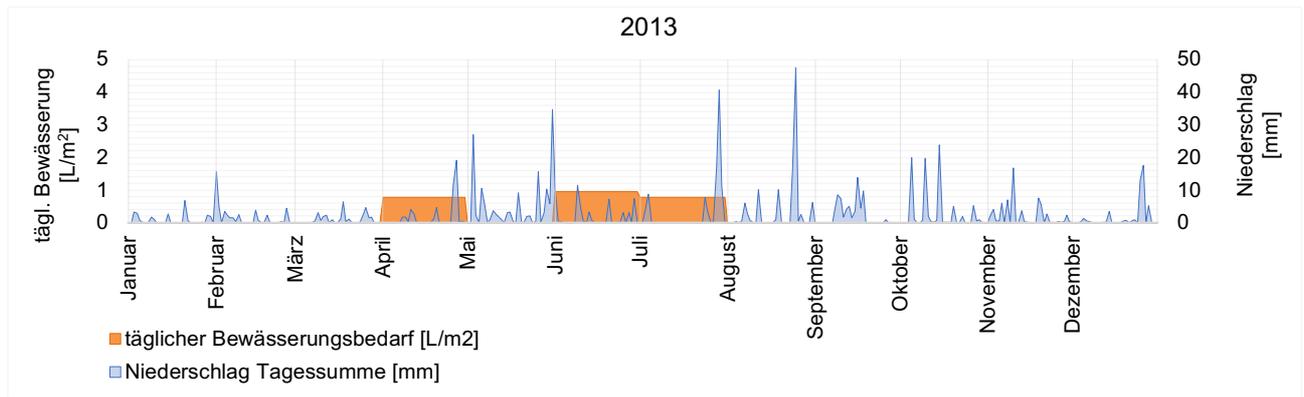


Abbildung 12 Der Bewässerungsbedarf eines Rucola Anbaus in Fellbach im Jahr 2020, ermittelt mit der Software CROPWAT 8.0 und die in Fellbach gemessenen Niederschlags- und der Lufttemperaturwerte.

Nachfolgend sind die errechneten Bewässerungsbedarfe für den Rucola-Anbau in verschiedenen Jahren in Beziehung zum gemessenen Niederschlag dargestellt. Da die täglichen Niederschlagsmengen in einigen Fällen die Bewässerungsbedarfe deutlich übersteigen, wurden beide Größen in zwei separaten Achsen mit der gleichen Einheit (mm = Liter pro Quadratmeter) dargestellt.

Errechneter Bewässerungsbedarf und gemessener Niederschlag für ausgewählte Jahre



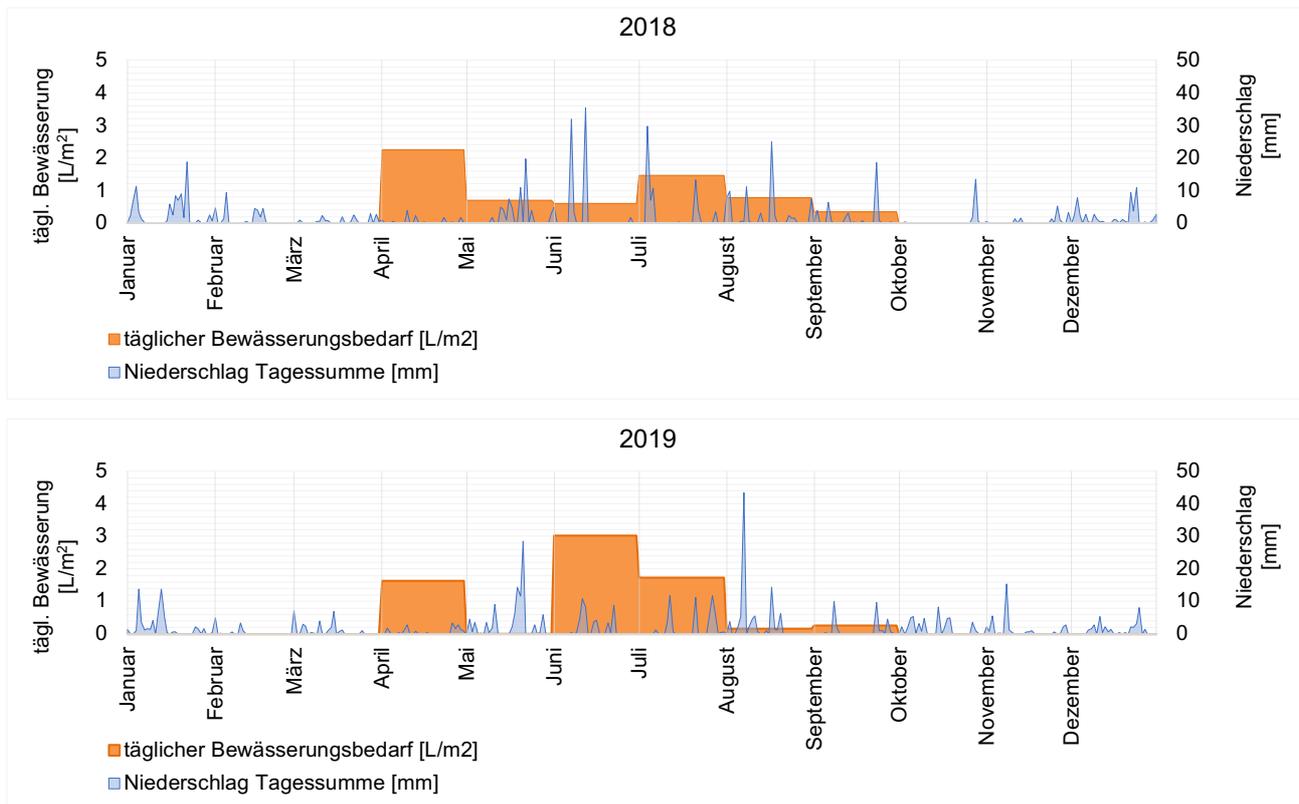


Abbildung 13 Errechneter Bewässerungsbedarf und gemessene tägliche Niederschlagsmengen für ausgewählte Jahre. Zur besseren Lesbarkeit sind beide Größen auf zwei getrennten Achsen aufgetragen, wobei die gleiche Einheit [$\text{mm} = \text{L/m}^2$] verwendet wird.

Die Ergebnisse legen nahe, dass sich über die vergangenen Jahre kein typisches, mittleres Bedarfsprofil feststellen lässt (vgl. Abbildung 13). Die Höhe des monatlichen Bewässerungsbedarfs für den landwirtschaftlichen Anbau ist von den vorherrschenden Niederschlagsmustern abhängig. Daher ist es erforderlich, die variierenden Niederschlagsmuster und die daraus resultierenden Bedarfsmuster auch bei potenziellen zukünftigen Dimensionierungen von Wasserspeichern zu berücksichtigen (siehe Kapitel 3.2). Aus den Untersuchungen zum Wasserbedarf für die zusätzliche Bewässerung in Abhängigkeit zu unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten, lassen sich Typjahre bilden, welche im Rahmen einer Dimensionierung von Bewässerungssystemen herangezogen werden kann. Eine erste Einteilung hierzu ist in der Zusammenfassung in Tabelle 2 (S.33) beschrieben.

Tabelle 1 Zusammenfassung zu den Wirkungsweisen in den untersuchten Jahren zwischen Klima und Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft

		Trockenes Jahr	Trockenes Jahr	Trockenes Jahr	Normales Jahr	Normales Jahr	Normales Jahr	Mittelwert	Vieljähriges Mittel
Auswirkung auf die Landwirtschaft		Lange Trockenperioden im Apr + Mai und Jun+ Jul	Mittellange Trockenperioden im Mai und Jun + Jul	Kaum Niederschlag im Mär bis Mitte Mai; Ab Mitte Mai bis August einzelne stärkere Niederschläge mit großen Lücken	Gleichmäßige moderate Niederschläge mit kleineren Lücken, regenreicher Jun + Jul	Regelmäßige ergiebige Niederschläge im Mai und den weiteren Anbau-monaten; ergiebige Niederschläge in den Wintermonaten	Apr bis Jun regelmäßige ergiebige Niederschläge; Ab Juli bis August trockenere Zeiten mit einzelnen starken Regenereignissen		
Jahr		2020	2015	2018	2014	2013	2016	2011 - 2023	1991 - 2020
Summe jährlichen Niederschlags	[mm]	496	493	548	748	794	699	617	701
(in Anbauperiode)	[mm]	257	254	331	544	507	457	376	413
Abweichung vom vieljährigen Mittel (1991 – 2020: 700,6 mm)		-29%	-30%	-22%	7%	13%	0%	-12%	0%
Verhältnis Regenwasserpotenzial (im Gewerbegebiet) zu Bewässerungsbedarf (in der Landwirtschaft – 25 Ha)		1,27	1,73	2,28	4,23	8,15	9,17	4,188	
Zusätzlicher (externer) Bewässerungsbedarf (Rucola-Anbau) - spezifisch	[l / m2]	305	222	187	138	76	59	116	
absolut (25 ha)	[m³]	76.313	55.447	46.742	34.474	18.987	14.710	28.923	

3 Konzepte und Strategien zu nachhaltigen Wasserkreisläufen in produktiven Räumen

Die vorangegangenen Potenzial- und Bedarfsanalysen haben gezeigt, dass enorme Mengen an Regenwasser im Gewerbegebiet anfallen und bisher „klassisch“ über eine Ableitung zur Kläranlage bewirtschaftet werden. Der resultierende Wasserhaushalt unterscheidet sich dabei maßgeblich dem einem natürlichen. Im Zuge des Klimawandels ist hierdurch mit einer Verschärfung der mikroklimatischen Situation im Gebiet zu rechnen. Längere Trocken- und Hitzeperioden können hierbei zu einer starken Beeinträchtigung in den Freiräumen des Gebietes führen. Gleichzeitig können die bisher selten überlasteten Abwassersysteme der Stadt Fellbach öfter an deren Kapazitätsgrenzen kommen. Im Ergebnis könnten hier lokale unkontrollierte Wasserableitungen Personen und Besitz gefährden. Aus diesem Grund wurden in einem ersten Abschnitt Begrünungsszenarien entwickelt und deren Auswirkungen auf den gebietsinternen Wasserhaushalt analysiert.

Aus den ebenfalls vorangegangenen Bedarfsanalysen der angrenzenden Landwirtschaft wurde zudem deutlich, dass je nach Anbauart große Mengen an Wasser zur Bewässerung anfallen können. Gerade die lokale Produktion bestimmter Salate erfordert eine zusätzliche Bewässerung. Da nun auf der einen Seite enorme Mengen an Regenwasser zumindest theoretisch zur Verfügung stehen, auf der anderen Seite eine große Nachfrage an Gießwasser besteht, liegt es nahe mögliche Synergien zwischen beiden Teilräumen zu bilden und das Wasser für die Landwirtschaft nutzbar zu machen. Aus diesem Grund wurde in einem zweiten Schritt Anforderungen und Möglichkeiten eines Regenwassertransfers untersucht.

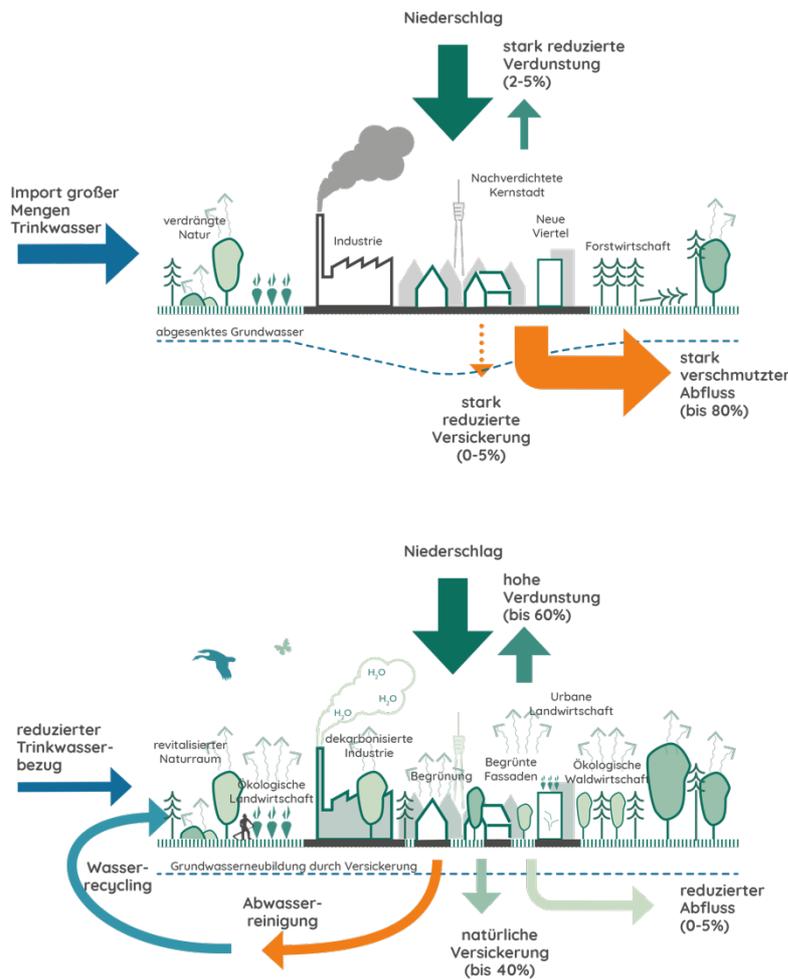


Abbildung 14 Bisheriger (oben) und nachhaltiger (unten) Wasserhaushalt in der Stadt

3.1 Klimaanpassungsszenarien im Gewerbegebiet

Die Wasserbilanz des Gewerbegebietes (Kapitel 2.2) kann durch gezielte Maßnahmen, wie der Begrünung von Flachdächern und der Entsiegelung und Begrünung der asphaltierten Flächen, verbessert werden. Dabei erfolgte eine Untersuchung des Gewerbegebietes als Ganzes sowie eine Betrachtung jedes einzelnen Grundstücks der Gewerbetreibenden (siehe dazu auch Kapitel 4).

In zahlreichen Szenarien wurde analysiert, wie sich eine schrittweise Erhöhung des Anteils an Dachbegrünungen von 0 bis 100 % auswirkt. Dabei wurde zwischen einer extensiven Moos-Sedum-Begrünung (Substratschicht von 80 mm Höhe) und einer intensiven Wildstauden-Gehölz-Begrünung (Substratschicht von 400 mm Höhe) unterschieden. Zudem wurde die Entsiegelung und Begrünung vollversiegelter Flächen von 0 bis 30 % im privaten und öffentlichen Bereich (Straßenraum) berücksichtigt.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die hohe bauliche Dichte sowie das Fehlen von Grünflächen im Gewerbegebiet bedingen zum einen die stark herabgesetzten Verdunstungsraten, welche dem Mikroklima im Gebiet zugutekommen würden, jedoch auch die deutlich erhöhten Abflussraten, welche nicht nur im Starkregenfall das Kanalnetz überlasten können (vgl. Kapitel 2.2).

Die durchgeführten Analysen legen dar, dass eine Erhöhung des Anteils an Gründächern in Kombination mit einer gleichzeitigen Flächenentsiegelung im öffentlichen und privaten Raum zu einer Reduktion der Abflussrate auf 53 % (-16 %) sowie zu einer Steigerung der Verdunstungsrate auf 40 % (-14 %) führt (vgl. Abbildung 15). Bei Annahme einer intensiven Dachbegrünung werden leicht höhere maximale Abweichungen erreicht. Die Analysen zeigen jedoch auch, dass die Grundwasserneubildung lediglich um zwei bis drei Prozent ansteigt, sofern maximal 30 % der privaten und öffentlichen Flächen begrünt werden. Bei der Einschätzung des Entsiegelungspotenzials wurde bewusst eine realistische Grundlage gewählt, welche sich auf die gegenwärtige Nutzungsstruktur stützt. Daher wurden keine höheren Anteile über 30% gewählt.

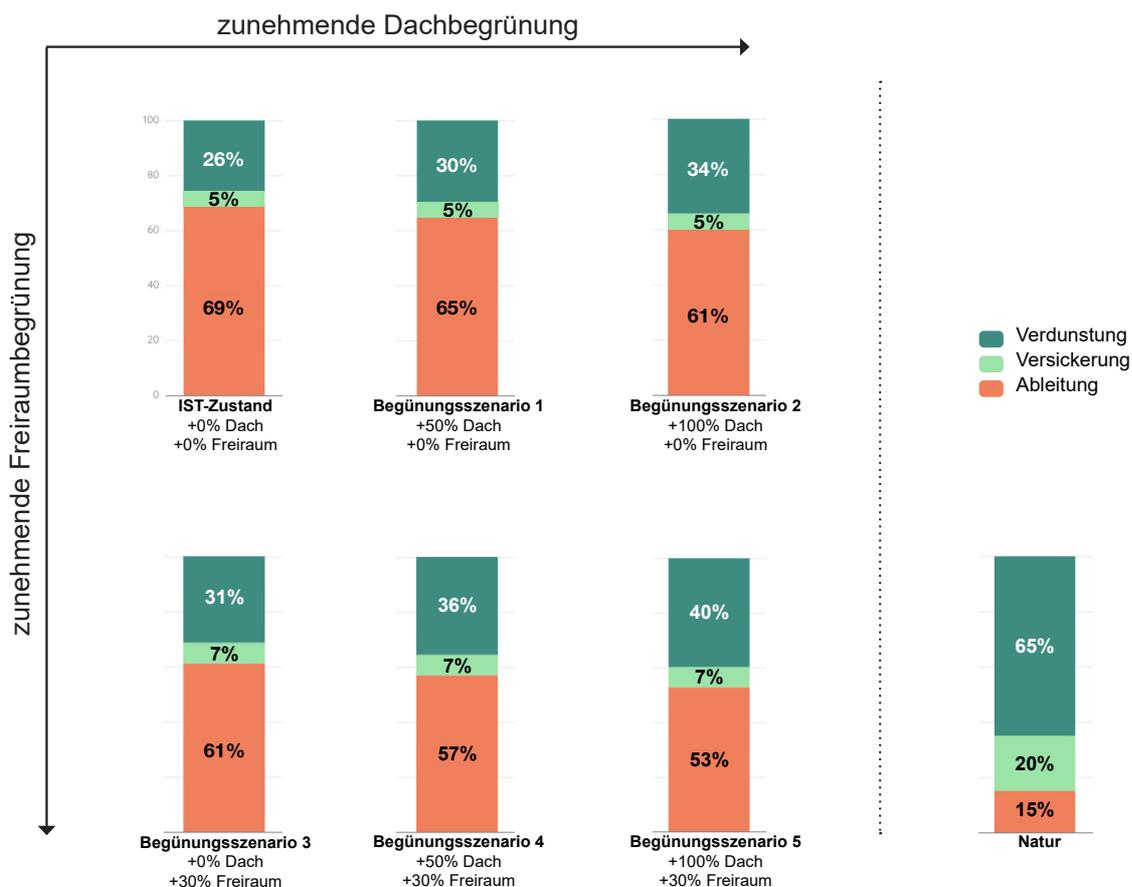


Abbildung 15 Darstellung ausgewählter Klimaanpassungsszenarien und deren Auswirkungen auf den Regenwasserhaushalt für das Gewerbegebiet.

Die untersuchten Szenarien zeigen, dass durch die Implementierung gezielter Entsiegelungs- und Begrünungsmaßnahmen eine positive Modifikation des Wasserhaushalts, insbesondere eine Steigerung der Verdunstungsmengen und damit Reduktion des Direktabflusses, erzielt und eine Verbesserung des Status quo erreicht werden kann. Durch die Schaffung weiterer Retentionsräume könnten diese positiven Effekte noch verstärkt werden, wobei die derzeitigen Nutzungen im Quartier eine großflächigere Entsiegelung der asphaltierten Straßen- und Logistikflächen derzeit nicht zulassen. Die Untersuchung zeigt auch, dass eine Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt zwar stattfindet, die Abweichungen in der Verdunstung, Grundwasserneubildung und dem Direktabfluss jedoch immer noch deutlich über der 10% Zielmarke liegen.

Somit sind neben Maßnahmen zur Entsiegelung und Begrünung weitere Retentionsmaßnahmen zu ergreifen. Typische Maßnahmen sind die Errichtung von Regenrückhaltebecken, Retentionsmulden, Mulden-Rigolen-Systemen oder Sickerschächte. Die Systeme unterscheiden sich dabei grundlegend hinsichtlich Konstruktion und Wirkungsweise im Wasserhaushalt. Während nach unten abgeschlossene Rückhaltebecken primär der Verzögerung der Ableitung sowie punktueller Verdunstung dienen, erhöhen die weiteren Systeme auch den Anteil einer Versickerung anfallenden Regenwassers. Die Mulden, bzw. Mulden-Rigolen-Systeme stellen dabei durch ihre Begrünung sowohl klimatisch, als auch ökologisch die beste Lösung dar. Die belebte Bodenzone reinigt dabei das Regenwasser umfassend von Verunreinigungen und erhöht die Verdunstungs- und Versickerungsleistung gleichermaßen. Versickerungsschächte hingegen zielen rein auf die Versickerung von Wasser. Eine Verdunstung findet nicht statt.

Die vorliegenden Untersuchungen haben in vereinfachter Weise auch Auswirkungen von Retentionsmulden als Ergänzung zu den zuvor beschriebenen Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen untersucht. Als Methode wurde hierfür die vereinfachten Bemessungsverfahren gemäß DWA-M-102-4 verwendet. Diese berechnen die Auswirkungen einer Einleitung des gesammelten und zur Ableitung bestimmten Regenwasseranteils (exklusive Anteil der Verdunstung und Versickerung) und errechnet die weiteren Anteile einer Verdunstung, Versickerung und finalen Ableitung aus typischen Muldensystemen. Die hierbei wiederum anfallenden weiteren Anteile einer Verdunstung und Versickerung werden den in der Direktbilanz ermittelten Werte aufgeschlagen.

Die Koppelung von Gründächern und entsiegelten Freiflächen mit Retentionsmulden führt zu einer deutlichen Verbesserung des Wasserhaushalts in Richtung „natürlicher Zustand“. Wie Abbildung 16 zu entnehmen ist, wirken sich gekoppelte Retentionssysteme in beiden untersuchten Szenarien („nur Dachbegrünung“ und „Dachbegrünung + Freiraumentsigelung“) signifikant aus. Bei systematischer Dachbegrünung und anteiliger Entsiegelung der privaten und öffentlichen Freiflächen in Kombination mit Retentionsmulden kann eine Verdunstung von 50 % des jährlich anfallenden Regenwassers erzielt werden. Die Verdunstungsleistung wird hierbei gegenüber dem IST-Zustand fast verdoppelt, die Ableitung hingegen fast halbiert.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich generell auch in hochverdichteten und fast vollständig versiegelten Gewerbegebieten durch die Implementierung umfassender Regenwassersysteme eine signifikante Verbesserung des Wasserhaushaltes in Richtung des natürlichen Zustandes möglich ist. Ob die beschriebenen Maßnahmen sich wirtschaftlich und aufgrund spezifischer lokaler Gegebenheiten (z.B. Statik der bestehenden Dachtragwerke, Altlasten im Boden, Unterirdische Medien, etc.) umsetzen lassen, konnte im Rahmen dieser Analyse nicht beantwortet werden. Dennoch zeigen die Untersuchungen den übergeordneten Handlungsspielraum hinsichtlich lokaler Klimaanpassungsmaßnahmen.

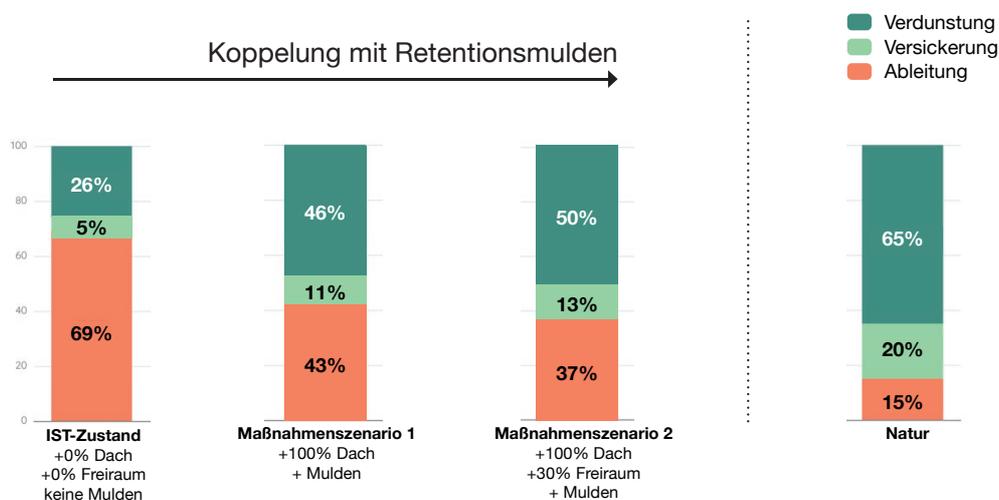


Abbildung 16 Darstellung der Auswirkung gekoppelter Regenwassermaßnahmen (Gründächer und Entsiegelung + Retentionsmulden) auf den Regenwasserhaushalt für das Gewerbegebiet.

Reduzierte Abwassermengen bedeuten auch reduzierte Abwasserkosten

Die zuvor beschriebenen Veränderungen des Regenwasserhaushalts durch Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen führen zu einer Reduktion einer notwendigen Ableitung des anfallenden Regenwassers. Dadurch wiederum sinken die Gebühren zur Ableitung des Regenwassers. Durch umfassende Begrünung können die jährlichen Kosten für die Ableitung von Regenwasser im gesamten Gewerbegebiet im Vergleich zum IST-Zustand um 18 % Prozent (bei Begrünungsszenario 5) und damit um rund 49.719 Euro gesenkt werden.

Somit können Gründächer, wasserdurchlässige Beläge oder Zisternen die zu leistenden Abwassergebühren erheblich reduzieren.

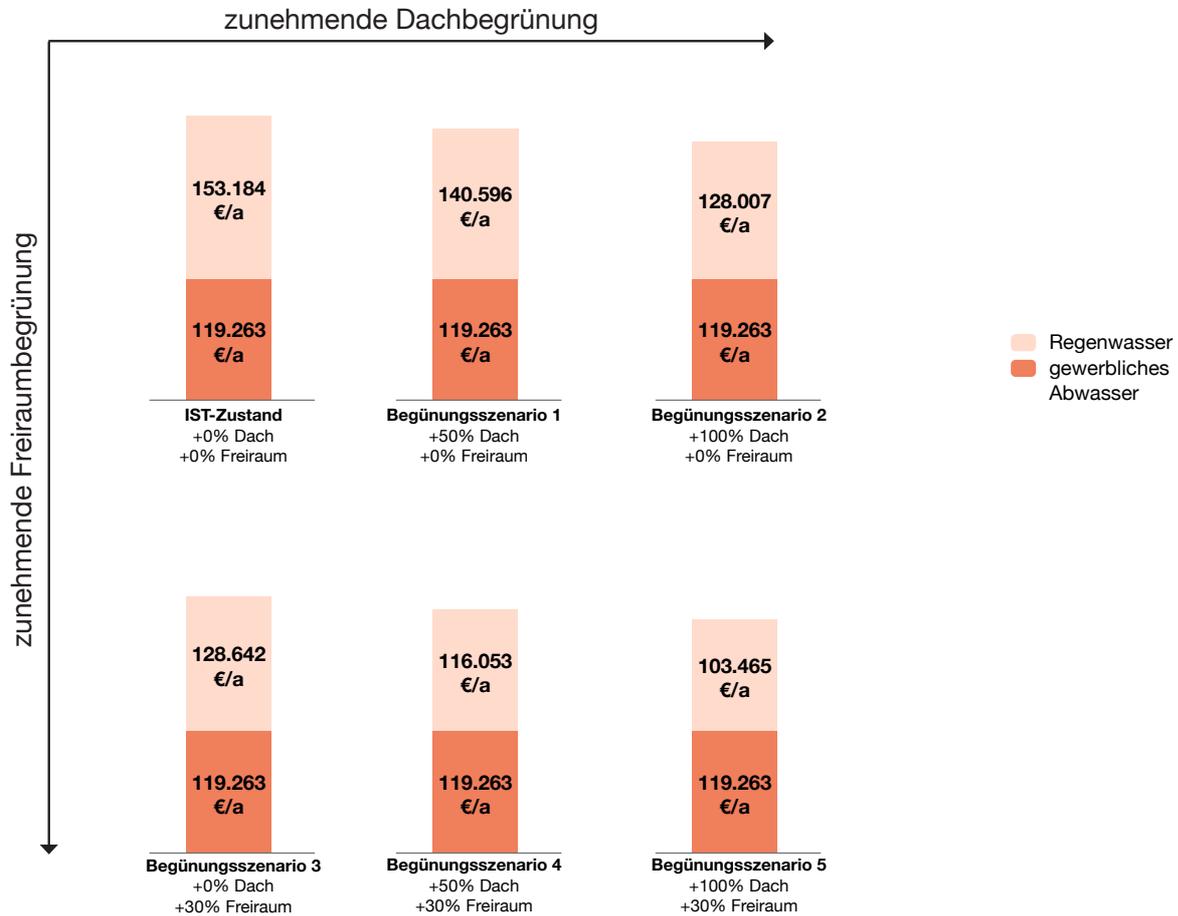


Abbildung 17 Darstellung der Kostenreduktionen zu anfallenden Ableitungsgebühren nach Begrünungs- und Entsiegelungsszenario

3.2 Wassertransfer und Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft

In den vorangehenden Kapiteln wurden das Wasserdargebot sowie die Bedarfe im Gewerbegebiet und in der Landwirtschaft bestimmt. Im Folgenden soll eine Verbindung und ein Zusammendenken der beiden produktiven Räume auf Wasserebene erfolgen. Zu diesem Zweck wurde eine umfassende quantitative Analyse durchgeführt, deren primäres Ziel die Untersuchung des Wassertransfers zwischen Gewerbe und Landwirtschaft sowie die Deckung der Bedarfe der Landwirtschaft mit den Regen- und Grauwasserpotenzialen der gewerblichen Seite ist.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird ein von seiner technischen Ausgestaltung nicht näher definierter Wasserspeicher betrachtet, der über zwei mögliche Zuflüsse verfügt. Einerseits ist dies der Regenwasserabfluss von den gewerblichen Dachflächen, der sich in der Regenwasserbilanz als ungenutztes Potenzial herausgestellt hat (vgl. Kapitel 2.2), andererseits ein kontinuierlich auftretender Grauwasserzufluss (vgl. Kapitel 2.3). Die Entnahme erfolgt zunächst ausschließlich von der landwirtschaftlichen Seite, entsprechend der notwendigen Bewässerungsbedarfe (vgl. Kapitel 2.5).

Vorgehen

Das erstellte Speichermodell berechnet in Abhängigkeit von den Niederschlagsmengen und damit dem Regenwasserzufluss von den Dachflächen, dem Grauwasserzufluss, dem Bewässerungsbedarf, dem Speichervolumen und damit dem Speicherfüllstand vor der Entnahme, der Entnahmemenge und dem Speicherfüllstand nach der Entnahme die Fehlmenge, bis zur vollständigen Deckung des Bedarfs (Deckungsgrad) sowie die Überlaufmenge in täglicher Auflösung für ein Jahr. Zu diesem Zweck wurden die monatlichen landwirtschaftlichen Bedarfe (vgl. Kapitel 2.5) und das jährliche bilanzierte Grauwasseraufkommen (vgl. Kapitel 2.3) auf Tageswerte heruntergebrochen und die täglichen Abflussmengen von den Potenzialflächen (gewerbliche Dachflächen) berechnet.

Die signifikante Korrelation zwischen landwirtschaftlichen Bedarfsmengen und den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen, insbesondere der Niederschlagsverteilung und -menge, hat einen entscheidenden Einfluss auf den zusätzlichen Bewässerungsbedarf (Kapitel 2.5). Dies macht die Definition von Typjahren erforderlich, um die spezifischen Charakteristika der jeweiligen Jahre adäquat zu erfassen. Als Referenzjahre dienen einerseits das Jahr 2013, welches hohe Niederschlagssummen mit 794 mm pro Jahr und 509 mm im Bewirtschaftungszeitraum (April bis September) aufweist. Als zweites Referenzjahr wurde das Jahr 2020 herangezogen, welches ein deutlich vom vieljährigen Mittel abweichendes und mit dem Klimawandel häufiger auftretendes Extremjahr darstellt. Es weist signifikant reduzierte Niederschlagssummen mit 496 mm pro Jahr und 256 mm im Bewirtschaftungszeitraum auf. Hinzu kommen lange Trockenperioden von bis zu 19 Tagen ohne Niederschläge in der Anbauperiode.

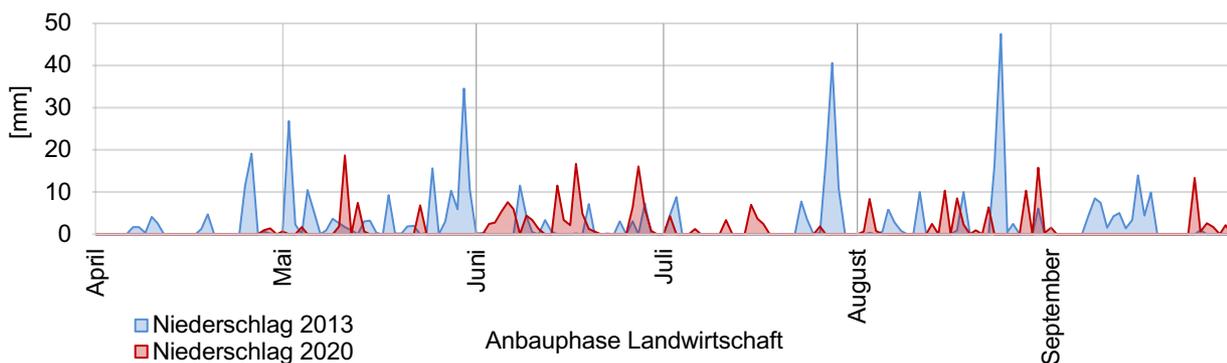


Abbildung 18 Im Vergleich die Niederschlagsverteilung der Jahre 2013 und 2020 in den Monaten April bis September.

Im Rahmen der Modellierung wurden diverse Szenarien mit unterschiedlichen Speichervolumina in den beiden Typjahren hinsichtlich ihres Bedarfsdeckungsgrads analysiert. Dabei wurde zunächst lediglich der Regenwasserzufluss sowie bei unzureichender Deckung auch der Grauwasserzufluss (Annahme: 30 % des Gesamtabwassers) und ein möglicher Gesamtabwasserzufluss betrachtet.

Ergebnisse

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt die Abhängigkeit des Speichervolumens in unterschiedlich regenreichen Jahren von der maximal möglichen landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche bei einer 100-prozentigen Bedarfsdeckung. Dabei wurde der vollständige Anschluss aller Dächer des Gewerbegebiets angenommen. Eine Erhöhung des Speichervolumens zeigt, dass im niederschlagsreicheren Jahr (Referenzjahr 2013) bei einem Speichervolumen von 3.900 m³ der Bewässerungsbedarf der gesamten landwirtschaftlichen Bedarfsfläche von 25 ha zu 100 % mit dem Dachflächenabfluss aus dem Gewerbegebiet gedeckt werden kann. Bei steigendem Speichervolumen steigt die mögliche Bewässerungsfläche weiter an, insofern eine vollständige Speicherfüllung zu Beginn des Jahres angenommen wird. (vgl. Abbildung 19).

Im trockenen Bezugsjahr (2020) muss der Speicher dagegen ein Mindestvolumen von 36.000 m³ aufweisen und zu Jahresbeginn vollständig gefüllt sein, um den Bedarf der 25 ha großen Rucola-Anbaufläche zu decken. Ein Vergleich des in 2013 ausreichenden Speichervolumens zeigt, dass damit lediglich eine Bewässerung von 5 ha Anbaufläche mit dieser Speichergröße möglich ist (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 21). Der Bedarfsdeckungsgrad liegt bei 38% des gesamten Bewässerungsbedarfs der 25 ha.

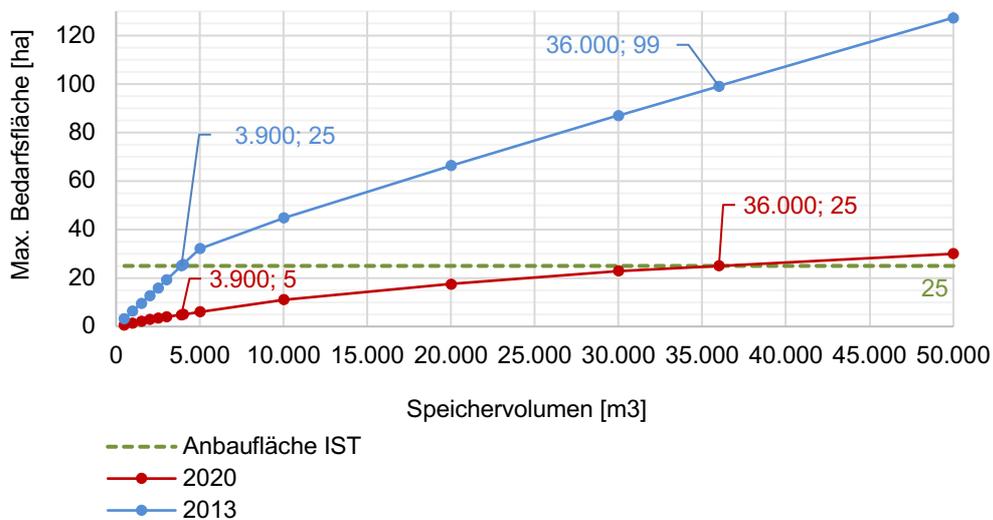


Abbildung 19 Abhängig des Speichervolumens von der maximal möglichen landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche bei einer 100 % Bedarfsdeckung und bei Anschluss aller Dachflächen des Gewerbegebiets an den Speicher.

Allerdings ist bei der Bewertung der Speicherleistung ein möglicher Überlauf zu berücksichtigen. Bei einem Speichervolumen von 3.900 m³ liegt im Referenzjahr 2013 die Überlaufmenge bei ca. 135.777 m³. Dies entspricht einer etwa sieben Mal höheren Menge im Vergleich zur Entnahmemenge von ca. 18.986 m³. Auch in trockenen Jahren (Referenzjahr 2020), in denen der Bedarf nicht vollständig gedeckt und große Fehlmengen in trockenen Zeiten auftreten, kommt es zu einem Überlauf. Der Überlauf von ca. 67.811 m³ ist jedoch lediglich 2,3-mal so hoch wie die Entnahmemenge von ca. 28.875 m³. Ein Speicherüberlauf kann dabei nicht nur in den niederschlagsreicheren Wintermonaten, sondern auch innerhalb des Bewirtschaftungszeitraums auftreten.

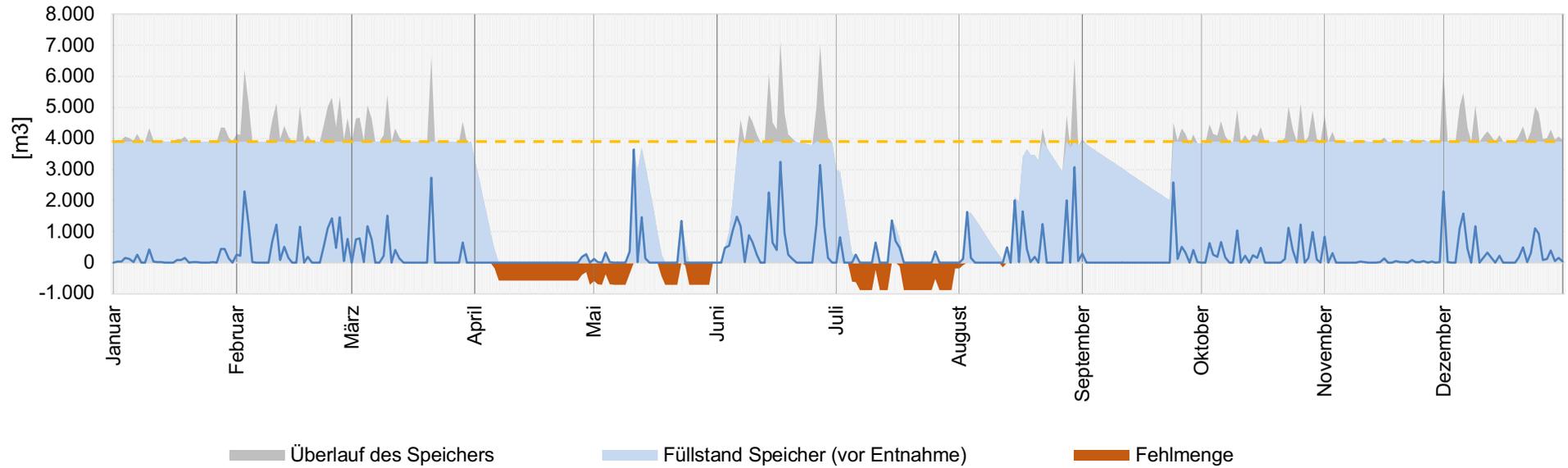


Abbildung 20 Speichermodell mit täglichen Kennlinien für den aus Niederschlägen resultierenden Dachabfluss, den Speicherfüllstand, die Fehlmenge im Speicher und den Überlauf für ein trockenes Jahr (Referenzjahr 2020) bei Anschluss aller Dächer des Gewerbegebiets an den Speicher und einer landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche von 25 ha.

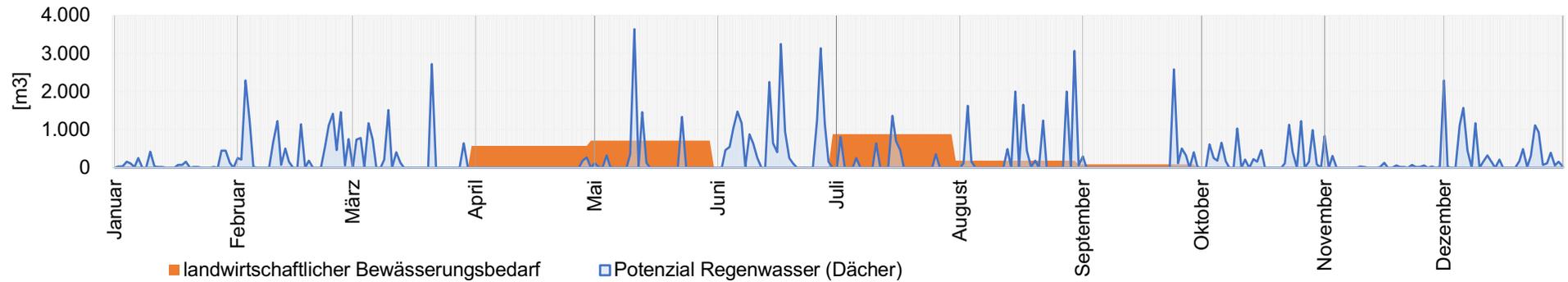


Abbildung 21 Landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarf und das Regenwasserpotenzial aus dem Dachflächenabfluss im Gewerbegebiet für ein trockenes Jahr (Referenzjahr 2020), bei Anschluss aller Dächer des Gewerbegebiets und einer landwirtschaftlichen Bewässerungsfläche von 25 ha.

Zusammenfassung

Tabelle 2 Zusammenfassung zu resultierenden Speicherbedarfen in den unterschiedlichen Jahren

		Trockenes Jahr	Trockenes Jahr	Trockenes Jahr	Normales Jahr	Normales Jahr	Normales Jahr	Mittelwert	Vieljähriges Mittel
Auswirkung auf die Landwirtschaft		Lange Trockenperioden im Apr + Mai und Jun+ Jul	Mittellange Trockenperioden im Mai und Jun + Jul	Kaum Niederschlag im Mär bis Mitte Mai; Ab Mitte Mai bis August einzelne stärkere Niederschläge mit großen Lücken	Gleichmäßige moderate Niederschläge mit kleineren Lücken, regenreicher Jun + Jul	Regelmäßige ergiebige Niederschläge im Mai und den weiteren Anbau-monaten; ergiebige Niederschläge in den Wintermonaten	Apr bis Jun regelmäßige ergiebige Niederschläge; Ab Juli bis August trockenere Zeiten mit einzelnen starken Regenereignissen		
Jahr		2020	2015	2018	2014	2013	2016	2011 - 2023	1991 - 2020
Summe jährlichen Niederschlags	[mm]	496	493	548	748	794	699	617	701
(in Anbauperiode)	[mm]	257	254	331	544	507	457	376	413
Abweichung vom vieljährigen Mittel (1991 – 2020: 700,6 mm)		-29%	-30%	-22%	7%	13%	0%	-12%	0%
Verhältnis Regenwasserpotenzial (im Gewerbegebiet) zu Bewässerungsbedarf (in der Landwirtschaft – 25 Ha)		1,27	1,73	2,28	4,23	8,15	9,17	4,188	
Zusätzlicher (externer) Bewässerungsbedarf (Rucola-Anbau) - spezifisch	[l / m ²]	305	222	187	138	76	59	116	
absolut (25 ha)	[m ³]	76.313	55.447	46.742	34.474	18.987	14.710	28.923	
Resultierende notwendige Speicher (zur vollständigen Deckung des landwirtschaftlichen Bedarfs)	[m ³]	36.000	28.000	16.400	14.200	3.900	3.600	3.930	

Option: „Grauwassernutzung

In Jahren mit trockenen Wetterbedingungen ist eine vollständige Deckung des Bewässerungsbedarfs folglich erst bei einer Speichergröße von 36.000 m³ möglich. Daher wurde in die Untersuchung zudem die Möglichkeit der Einspeisung von Grauwasser (30 % des Gesamtabwassers) mit einbezogen. Der Vorteil einer Nutzung von Grauwasser bzw. Abwasser gegenüber einer reinen Regenwassernutzung besteht in der zeitlichen Unabhängigkeit. Die kontinuierliche Verfügbarkeit von Abwasser über das gesamte Jahr kann bei entsprechend ausreichender Menge einen Vorteil gegenüber der reinen Regenwassernutzung darstellen.

Im trockenen Referenzjahr 2020 liegt das jährliche Verhältnis von Grauwasserpotenzial zu Bedarf bei 0,26. Die Betrachtung eines einzelnen Tages, beispielsweise des Julis, an dem der Bedarf vergleichsweise hoch ist, zeigt ein deutlich geringeres Verhältnis von 0,06. Dies entspricht einem täglichen Grauwasseraufkommen von 53,78 m³ bei einem Bedarf von 885,6 m³ (vgl. Abbildung 22).

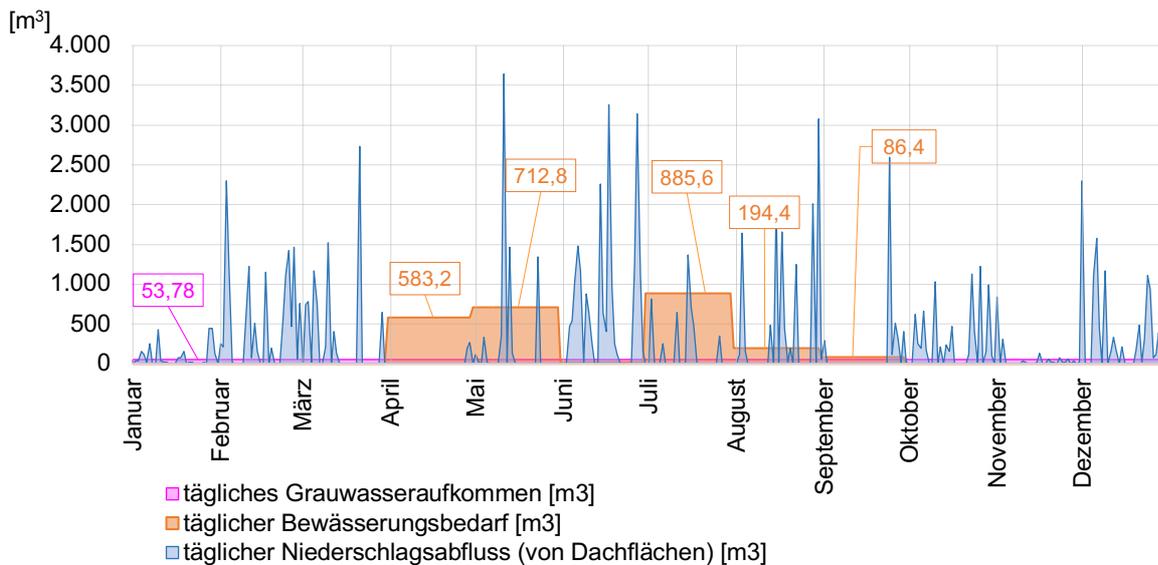


Abbildung 22 Verhältnis von Bewässerungsbedarf (im Jahr 2020) und der Grauwasserpotenzialmenge vom gesamten Gewerbegebiet, sowie der Niederschlagspotenzialmenge, als Abfluss von den Dächern im Gewerbegebiet.

Bei einem 3.900 m³ Speicher kann der Bedarfsdeckungsgrad durch die Nutzung von Grauwasser um 7 % erhöht werden. Dies entspricht einem Deckungsgrad von 45 %. Für eine 100-prozentige Bedarfsdeckung ist allerdings ein Speichervolumen von 28.900 m³ erforderlich.

Unter Berücksichtigung des gesamten Abwassers als zusätzlicher Speicherzulauf und potenziell nutzbare Bewässerungsmenge lässt sich ein Deckungsgrad von 59 % bei einem 3.900 m³ Speicher und damit eine Steigerung um 21 % erreichen.

Die durchgeführten Analysen lassen den Schluss zu, dass der gesamte Bewässerungsbedarf in Jahren mit extremen Wetterbedingungen (Referenzjahr 2020), deren Auftreten in Zukunft mit einer höheren Häufigkeit prognostiziert wird, nur bei Vorhandensein großer Speichervolumina gedeckt werden kann. Dies trifft auch auf die gleichzeitige Einspeisung von Grau- bzw. Abwasser zu.

3.3 Fazit und Empfehlungen zur Transformation des Fellbacher Wasserhaushalts

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass im Fellbacher Gewerbegebiet erhebliche Mengen an Niederschlagswasser anfallen, die bewirtschaftet werden müssen. Derzeit werden diese gemeinsam mit gewerblichen Abwässern zur städtischen Kläranlage geleitet, dort gereinigt und anschließend in die lokalen Vorfluter eingeleitet. Eine lokalklimatische Bewirtschaftung des Regenwassers, etwa durch Verdunstung oder Versickerung vor Ort, findet bislang nicht statt.

Nach Angaben der Fellbacher Entsorger stoßen die bestehenden Systeme zur gemischten Ableitung von Regen- und gewerblichen Abwässern derzeit noch nicht an ihre Kapazitätsgrenzen. Ob und in welchem Umfang die Leistungsfähigkeit dieser Systeme unter den Bedingungen des Klimawandels auch in Zukunft gewährleistet bleibt, war jedoch nicht Gegenstand dieses Projekts. Weiterführende Studien könnten hier genauere Erkenntnisse liefern und mögliche Anpassungserfordernisse aufzeigen.

Mit Blick auf die Folgen des Klimawandels ist davon auszugehen, dass zunehmende Starkregenereignisse die Kapazitäten der Entwässerungssysteme in Fellbach künftig stärker beanspruchen werden. In vielen Kommunen stoßen bestehende Systeme bereits heute bei intensiven Regenfällen an ihre Belastungsgrenzen. Die Folge ist häufig eine unbehandelte Einleitung von Abwasser in die Vorfluter, um Rückstau im System und ein oberflächliches Austreten von Wasser zu vermeiden.

3.3.1 Ziel / Lösung: lokale Klimaanpassungsmaßnahmen

Der erste herausgearbeitete Lösungsansatz besteht in der systematischen Umsetzung von Begrünungs-, Entsiegelungs- und Retentionsmaßnahmen. Hierdurch kann der Abfluss reduziert und die Verdunstung sowie Versickerung im Gewerbegebiet erhöht werden.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass allein eine Begrünung der vorhandenen Dächer nur geringe Auswirkungen auf den Wasserhaushalt hat. Für signifikante Verbesserungen sind auch Begrünungen und Entsiegelungen im Freiraum notwendig, idealerweise kombiniert mit offenen, natürlichen Retentionssystemen wie Mulden oder Becken. Diese tragen durch Verzögerung des Abflusses und erhöhte Verdunstung wesentlich zur Optimierung des Wasserhaushalts bei.

Eine systematische Begrünung und die Schaffung von Retentionsvolumen könnten den Anteil des abgeleiteten Regenwassers von derzeit 69 % auf 37 % reduzieren (Verminderung um 32 %). Dadurch würde sich der Wasserhaushalt des Gebiets dem natürlichen Zustand von 15 % deutlich annähern (vgl. Abbildung 16).

Hemmnisse bei der Umsetzung von lokalen Klimaanpassungsmaßnahmen

Generell ist eine systematische Versickerung von Regenwasser über offenporige Flächen in älteren „gewachsenen“ Gewerbegebieten nicht immer möglich. Gerade in älteren Gewerbegebieten können lokale Kontaminationen des Bodens nicht von vornherein ausgeschlossen werden. In der Vergangenheit wurden insbesondere flüssige Abfallstoffe nicht immer umweltschonend entsorgt. Gerade Öle und Brennstoffe können jedoch bei Eindringen in das Grundwasser dieses kontaminieren. Deshalb wird eine umfassende Entsiegelung in vielen bestehenden Gebieten kritisch betrachtet.

Auch zum Schutz des Untergrundes werden derzeit Unternehmen je nach Art des Gewerbes umfassende Vorgaben zur Abkopplung der Freiflächen vom Untergrund auferlegt. Dies betrifft vor allem produzierendes Gewerbe, Logistik- und Recyclingunternehmen. Hierdurch sollen Schadeinträge aus deren Produktion in den Untergrund von vornherein vermieden werden.

Zwischenfazit / Empfehlungen zur Umsetzung

Trotz beschriebener Hemmnisse bei einer systematischen Entsiegelung und Begrünung in Gewerbegebieten wird empfohlen auch kleinere Maßnahmen hierbei umzusetzen. Auch wenn der Gesamteffekt einzelner Maßnahmen potenziell gering ausfallen kann, können bei der Begrünung von Dächern oder Freiflächen Kosten eingespart werden. So reduzieren sich die Ableitungsgebühren um beträchtliche Mengen, wenn zum Beispiel große Dachflächen, Freiflächen begrünt, oder Zisternen, beziehungsweise weitere Retentionsmaßnahmen umgesetzt werden. Kleine Begrünungsmaßnahmen können zudem kleinräumig Verbesserungen des Mikroklimas befördern, indem z.B. verschattete Bereiche mit höherer Aufenthaltsqualität geschaffen werden.

Zusätzlich zu dezentralen Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen sollten auf jeden Fall eine getrennte Ableitung von Regen- und Schmutzwasser langfristig in Fellbach umgesetzt werden. Hierdurch würde der Betrieb der Kläranlage im „Trockenfall“ erfolgen und das Abwassersystem wäre geringeren Pegelschwankungen unterlegen. Die Ableitung sollte dabei dem natürlichen Gefälle nach erfolgen, um den Energieaufwand zu beschränken. Im Falle des Fellbacher Gewerbegebietes würde eine Ableitung in Richtung Nord-Osten, parallel zu den bestehenden Abwasserkanälen erfolgen.

Das durch die Trennung zum Abwasser sauber gehaltene Regenwasser könnte anschließend auf unterschiedlichste Weise bewirtschaftet werden. So könnte es einer umfassenden Versickerung und Grundwasserneubildung zugeführt werden. Über offene stehende Gewässer (z.B. See) können neue ökologische Nischen geschaffen werden, welche die Biodiversität erhöhen und durch Verdunstung das lokale Klima verbessern. Solch ein System kann sukzessive wachsen und statt einer vollständigen Einleitung in den Vorfluter (hier: Schüttelgraben) auch entlang des Kanals bewirtschaftet werden.

3.3.2 Ziel / Lösung: Regenwassertransfer

Der zweite herausgearbeitete Lösungsansatz basiert auf der getrennten Sammlung und Ableitung von Regen- und Abwasser im Gewerbegebiet über Trennsysteme. Dies wurde im Rahmen der Untersuchungen zum Regenwassertransfer näher betrachtet. Für das Projektgebiet wurde die Nutzung des gesammelten Regenwassers in der angrenzenden Landwirtschaft in hoher zeitlicher Auflösung (Tageswerte) untersucht. In der Gesamtbilanz stellen die im Gewerbegebiet anfallenden Regenwassermengen im Jahresverlauf ein erhebliches Potenzial für die Nutzung in der Landwirtschaft dar. Allerdings zeigte sich, dass das zeitlich variable Angebot und der ebenso variable Bedarf der Landwirtschaft nicht synchron verlaufen. In Trocken- und Hitzeperioden, wenn der Bedarf zur Bewässerung steigt, fällt das Angebot an Regenwasser besonders gering aus. Die Möglichkeiten einer Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen mit gesammeltem Regenwasser des Gewerbegebiets hängt von der Art der Pflanzungen, der Bewässerungsmethode und dem spezifischen jährlichem Klima (Niederschlagsmengen, Strahlungsintensitäten, Lufttemperaturen und Luftfeuchtigkeit) ab. Die Auswirkungen des Klimas lassen sich exemplarisch an den Beispieljahren 2013 und 2020 erläutern. Im konkreten Beispiel in Fellbach müssen zum Anbau der dort kultivierten Salate (vorwiegend: Rucola) in „normalen“ Jahren (Beispieljahr: 2013) rund 18.987 m³ Wasser zur Bewässerung zugekauft werden. In trockenen Jahren (Beispieljahr: 2020) hingegen müssen 76.313 m³ Bewässerungswasser zugekauft werden. Anhand dieser Spreizung erkennt man unschwer den Einfluss des Klimas auf den Bewässerungsbedarf der Fellbacher Landwirtschaft (vgl. Tabelle 2).

Ferner zeigen die Untersuchungen, dass bei einer Simulation mit hoher zeitlicher Auflösung Deckungslücken in der Verfügbarkeit von gesammeltem Regenwasser auftreten. Hierfür sind umfassende Speicherkapazitäten erforderlich. Die weiteren Untersuchungen haben daher auf Auswirkungen unterschiedlicher Speichervolumen auf die Nutzbarkeit des anfallenden Regenwassers fokussiert. Hierfür wurden aus Fellbacher Klimadatensätzen der letzten Jahre einzelne, im Temperatur- und Regenverlauf sich stark voneinander unterscheidende „typische“ Jahre gewählt. Diese Typjahre lassen sich grob in „trockenes Jahr“ (z.B. Jahr 2020, 2015 und 2018) und „normales Jahr“ (z.B. 2014, 2013 und 2016) unterteilen. Weniger entscheidend hierbei ist die Gesamtsumme des jährlichen Niederschlags. Vielmehr wirken sich längere Trockenperioden in Kombination mit hohen Lufttemperaturen speziell in den Anbauzeiten (April bis Oktober) signifikant auf den zusätzlichen Bewässerungsbedarf der Kulturpflanzen aus.

Hemmnisse bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Regenwassertransfer

In „normalen Jahren“ (z.B. 2013) ist eine Abdeckung des Bewässerungsbedarfs der angrenzenden Landwirtschaft mit moderaten Speichervolumen von ca. 3.900 m³ gut möglich. Im Gegensatz dazu sind in „trockenen Jahren“ deutlich größere Speicher nötig. So wären zur Deckung des Bewässerungsbedarf ein Speichervolumen von 16.400 m³ (2018), 28.000 m³ (2015) und 36.000 m³ (2020) nötig, um den Bewässerungsbedarf dieser Jahre vollständig zu decken.

Hieran wird deutlich, dass bei extremeren und längeren Trockenzeiten Speicher überproportional (Faktor 9 in 2020) größer werden müssten. Speichergrößen in diesen Dimensionen sind in der Realität wirtschaftlich, räumlich, baulich und technisch nicht, bzw. nur schwer umsetzbar. Eine Lösung könnten Speicherseen darstellen. Diese sind, anders als bauliche Speicher, einfacher zu errichten und können somit einfacher große Volumina bereitstellen. Speicherseen verlieren jedoch anteilig Wasser über Verdunstung und bei Undichtigkeit auch über Versickerung des gespeicherten Wassers. Auch kann es bei offenen, stehenden Gewässern zu Belastungen durch organische Stoffe (z.B. Ausscheidungen von Tieren, Versetzung von Biomasse, etc.) kommen, weshalb unter Umständen eine Vorbehandlung des Wassers vor Einsatz in der Bewässerung notwendig werden kann. Zudem kann einem als Ökosystem ausgelegten Sees immer nur anteilig Wasser entnommen werden. Je größer die Schwankungen, desto steiler müssten Böschungen

konstruiert werden, um die unterschiedlichen Volumina sinnvoll zu fassen. Je Größer die Entnahme, desto schwieriger wird somit eine qualitative und ökologisch wertvolle Ufergestaltung.

Ein weiteres Hemmnis bei der Umsetzung eines Umfassenden Regenwassertransfers wird auch in den notwendigen hohen Investitionskosten liegen. Das Konsortium von Diem Baker hatte im Rahmen ihrer „Regenwassertransferstudie“ (Eisenberg et al., 2024) Investitionskosten von 5,6 Mio. Euro für die Errichtung eines Systems mit getrennter Sammlung, Ableitung und Speicherung errechnet. Zur Sammlung von gesammeltem Regenwasser fallen Investitionskosten zur Errichtung von Trennsystemen im Bereich der Grundstücksbesitzer*innen an. Systeme zur Ableitung des gesammelten Wassers müssen in den Bestand integriert werden und an teilweise beengte räumliche Situationen angepasst werden. Im von Diem Baker entwickelten Konzept ist zudem eine oberirdische Druckleitung nötig, um das Wasser an seinen Bestimmungsort in höherer Höhenlage zu transportieren. Hierfür sind Pumpen nötig. Im weiteren Verlauf müssen Speicher errichtet werden, welche je nach Speichertypus (vgl. Anhang A6) weitere Investitionskosten nach sich ziehen.

Zwischenfazit / Empfehlung zum Regenwassertransfer

Ein Regenwassertransfersystem mit Synergiebildung zur Landwirtschaft kann generell einen erheblichen Anteil notwendigen Bewässerungswasser bereitstellen. In normalen Jahren kann dieses mit entsprechenden Speichern einen umfassenden Beitrag zur Einsparung von wertvollem Trinkwasser leisten. In trockenen Jahren hingegen wird ein Transfersystem mit moderaten Speichern in längeren warmen Trockenperioden (ab vier bis sechs Wochen) ausfallen und keinen Beitrag zur Bedarfsdeckung einer landwirtschaftlichen Bewässerung leisten können. Betreiber*innen und Landwirten muss bewusst sein, dass in diesen Zeiten Wasser anderweitig (z.B. über Trinkwasser und/oder Brunnen zu beziehen ist. Somit eignet sich das System in der bisherigen Konfiguration nicht um zukünftig klimawandelbedingte höhere Wasserbedarfe in der Landwirtschaft zu decken. Alternativ zu einem Bezug von Regenwasser aus dem tiefen liegenden Gewerbegebiet könnten Regenwasserquellen oberhalb identifiziert werden. Im Süden des Gebietes befinden sich mehrere Regenrückhaltebecken im Entwässerungssystem der dort verorteten Weinberge. Zu prüfen wäre, ob eine Entnahme von Regenwasser aus diesen Systemen zur Weiterleitung in die landwirtschaftlichen Flächen des Untersuchungsgebietes möglich wäre. Grundsätzlich könnte eine Weiterleitung im Freigefälle passieren.

Generell sollte eine Trennung des anfallenden Regenwassers im Gewerbegebiet aus Gründen der Nachhaltigkeit und des Ressourcenschutzes immer umgesetzt werden (vgl. Zwischenfazit unter 3.3.1). Durch die empfohlene Freigefälleleitungen würden allerdings nicht die landwirtschaftlichen Flächen im Projektgebiet beliefert werden können. Primär würden sich aber auf dem Weg andere Formen der Bewirtschaftung anbieten.

3.3.3 Ziel / Lösung: Regen- und Grauwassertransfer

Nachdem die Untersuchungen zum Transfer von Regenwasser die Notwendigkeit großer Speichervolumen und deren Grenzen aufgezeigt haben, wurden als weiteres mögliches Wasserpotenzial das gewerbliche Abwasser eingehender untersucht. Aus den vorliegenden Daten zu Trinkwasserbezugsmengen konnten somit plausible Quantitäten zu anfallendem Abwasser im Gewerbegebiet ermittelt werden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass an trockenen Tagen bei einem geschätzten Grauwasseranteil von 30 % insgesamt 54 m³ Grauwasser im Gewerbegebiet anfallen. Bei einer theoretischen vollständigen Reinigung aller anfallenden Abwässer könnten sogar 179 m³ Wasser bereitgestellt werden.

Demgegenüber stehen jedoch tägliche Bewässerungsbedarfe (beispielhaft im Jahr 2020) der Landwirtschaft von 583 m³ pro Tag im Monat April und bis zu 886 m³ im Monat Juli. Anhand dieser Zahlen lässt sich schnell erkennen, dass eine Nutzung von behandeltem Grau-, beziehungsweise Abwasser nicht ausreicht die täglichen hohen Wasserbedarfe in Trockenzeiten zu decken. Dennoch könnte (zumindest theoretisch) behandeltes Abwasser einen „Sockel“ in Trockenzeiten bilden.

Hemmnisse bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Regen- und Grauwassertransfer

Neben den bereits beschriebenen Hemmnissen zur Umsetzung eines Regenwassertransfers (vgl. 3.3.2), bestehen bei der Trennung von schwach und stark belasteten Abwässern ebenfalls weitere Hemmnisse.

Die Entkoppelung von Grauwasser aus dem Abwassersystem der einzelnen bestehenden Gewerbenutzungen stellt einen erheblichen technischen und wirtschaftlichen Aufwand dar. Vor einer Einspeisung des Grauwassers in ein neues eigenes Regenwassernetz ist das Wasser entsprechend zu behandeln und zu reinigen. Hierfür sind entsprechende Systeme (z.B. Membrane) notwendig, welche im Einbau und im Betrieb Kosten verursachen. Gleichzeitig stellt eine Reinigung von Abwasser auf

„Regenwasserniveau“ eine technische Herausforderung dar. Das Wasser ist auf eine für den Anbau von Lebensmitteln notwendige Hygienestufe zu reinigen. Die üblichen marktgängigen Grauwasserbehandlungsanlagen hingegen reinigen anfallendes Grauwasser üblicherweise „fit-for-purpose“ (z.B. für die Nutzung als WC-Spülwasser, zur Nutzung in Waschmaschinen). Im weiteren Verlauf sind Verkeimungen zu vermeiden und Qualitäten mittels Prüfverfahren sicher zu stellen. All diese Maßnahmen ziehen zudem einen erheblichen Überwachungs- und Kontrollaufwand nach sich.

Zwischenfazit / Empfehlungen zum Regen- und Grauwassertransfer

Aufgrund der hohen Anforderungen an die Hygiene von Grauwasser wird eine (anteilige) Mitnutzung von Grauwasser zur Bewässerung der Landwirtschaft in der bisher geplanten Kombination eines Transfers direkt aus dem Gewerbegebiet in die Landwirtschaft nicht empfohlen. Zudem haben die Untersuchungen gezeigt, dass die anteilige Einspeisung von Grauwasser die Angebotslücken in trockenen Monaten nicht füllen können und weiterhin ein hoher Bedarf an anderweitig zu beziehenden Bewässerungswasser erforderlich ist.

Generell jedoch sollten ortsansässige Unternehmen prüfen, ob eine interne Grauwassernutzung (z.B. zur Toilettenspülung, zu Kühlprozessen, bzw. zur Bewässerung der eigenen Grünräume ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll sein kann. Hierfür liegen erprobte Systeme vor, welche eine Einsparung von Trink- und Abwasser und daraus resultierende doppelte Kosteneinsparungen führen kann.

Die Stadt Fellbach sollte zudem prüfen, ob langfristig eine Wiederverwendung des in der Kläranlage gereinigten Abwassers als Betriebswasser möglich ist. Hierbei könnte neben dem bestehenden Trinkwassernetz auch ein Betriebswassernetz errichtet werden, welches Wasser für weniger sensible Nutzungen (z.B. zur Bewässerung von Straßengrün, teilweise Nutzung in der Landwirtschaft, in Reinigungsprozessen (z.B. Autowaschanlage, etc.) bereitstellen könnte. Hierdurch könnte wertvolles Trinkwasser substituiert werden.

4 Urban Water Potentials, interaktives, digitales und partizipatives Tool



Abbildung 23 Logo des digitalen Tools

Die umfassenden Analysen zu alternativen und nachhaltigen Wasserkreisläufen haben zahlreiche Entwicklungspotenziale für das Projektgebiet in Fellbach aufgezeigt. Eine mögliche Umsetzung kann jedoch aufgrund der spezifischen Eigentümerstruktur des Gebietes nicht zentral gesteuert werden. Vielmehr bedarf es der Beteiligung und Aktivierung der lokalen Eigentümer*innen und Gewerbetreibenden.

Zu diesem Zweck wurde im Rahmen des Projekts das interaktive, digitale und partizipative Tool urban-water-potentials.de entwickelt. Es bietet einen didaktisch und kommunikativ aufbereiteten Extrakt aus den Analysedaten und ermöglicht, verschiedene Klimaanpassungsszenarien online zu simulieren. Dabei werden die jeweiligen Auswirkungen auf den lokalen Wasserhaushalt (Verdunstung, Ableitung, Versickerung) sowie die damit verbundenen Kosten und Einsparpotenziale sichtbar gemacht. Neben den Regenwasserströmen berücksichtigt das Tool auch Aussagen zu Trink- und Abwassermengen – differenziert nach Branchenstruktur.

Bei der Berliner „Woche der Umwelt“ 2024 fand das Tool besonders bei Vertreterinnen von Kommunen großen Anklang. In der Praxis ist es oft die Aufgabe der Kommunen, Grundstückseigentümerinnen von notwendigen Klimaanpassungsmaßnahmen zu überzeugen. Durch die Aufzeigung von Einsparpotenzialen könnten Investitionen langfristig als sinnvoll erachtet werden.

Das digitale Tool besteht aus den Hauptkomponenten einer „Landing Page“ und einer „Analyseseite“.

Die „Landing Page“ dient dazu die Grundzüge und -ziele des Projektes kurz und kompakt zu beschreiben. Hierbei stehen einleitende Themen zum urbanen und natürlichen Regenwasserhaushalt im Mittelpunkt.

Die „Analyseseite“ ermöglicht es den Nutzern, die Daten mit interaktiven Karten detailliert zu analysieren. Hierfür stellt es detaillierte Inhalte und Informationen zum untersuchten Projektgebiet in Fellbach bereit. Ziel hierbei ist es mittels einfacher Navigation, hochgradig interaktiver Diagramme und responsiver Designelemente eine gute Benutzererfahrung zu ermöglichen.

Die gezeigten Karten basieren auf ArcGIS Tile-Layern und zeigen, wie Industrie- und Landwirtschaftsflächen zusammenwirken, besonders im Hinblick auf das Wassermanagement. Die beschriebenen interaktiven Diagramme basieren auf Vorlagen der Apache Echarts und werden vorallem zur Visualisierung zentraler Klima- und Wassermanagementdaten verwendet.

Die Plattform bietet interaktive Simulationen für die Berechnung von Wasserbilanzen und Abwasserkosten, um die finanziellen und ökologischen Auswirkungen verschiedener Wassermanagementstrategien zu bewerten.

4.1 Struktur, Aufbau und Programmierung der „Landing Page“

Die „Landing Page“ ist die zentrale Einstiegsseite des Vorhabens www.urban-water-potentials.de. Dort sind einleitende Themen zu den Abhängigkeiten zwischen Landnutzung und resultierenden lokalen Wasserhaushalt einfach und kompakt beschrieben.

Ziel hierbei ist es Zusammenhänge und Einflüsse von städtischen und industriellen Aktivitäten auf den Wasserhaushalt visuell und textlich zu veranschaulichen und den Nutzer*innen den für die anschließenden Interaktionen auf der „Analyseseiten“ notwendigen Wissensstand zur Verfügung zu stellen. In einem geschichtlichen Abriss über die zunehmende Landnutzung werden deren Auswirkungen auf den lokalen Wasserhaushalt beschrieben. Zum Ende dieser Einleitung wird ein qualitativer Ausblick zu einer „wassersensiblen Stadt der Zukunft“ gegeben. Hierbei werden notwendige Maßnahmen für einen naturnahen Regenwasserhaushalt sowie weiteren Wassereinsparmaßnahmen (z.B. Wasserrecycling, etc.) benannt. Über einen „Call-to-Action“-Button (CTA) am Ende der Landing Page gelangen die Nutzer*innen auf die Analyseseite.

Die Seite wurde mit HTML, CSS und JavaScript Elementen entwickelt und enthält zudem verschiedene Optimierungen, um eine schnelle Ladezeit zu ermöglichen. Insgesamt wurde auf eine responsive Gestaltung

geachtet, um Inhalte und insbesondere den CTA-Button auf Desktop und Mobilgeräten gut zugänglich zu halten.

Die integrierten Grafiken wurden in einem einheitlichen Stil zur einfachen und nachvollziehbaren Erläuterung der beschriebenen Inhalte entwickelt und als jpg Elemente in die Webseite integriert.

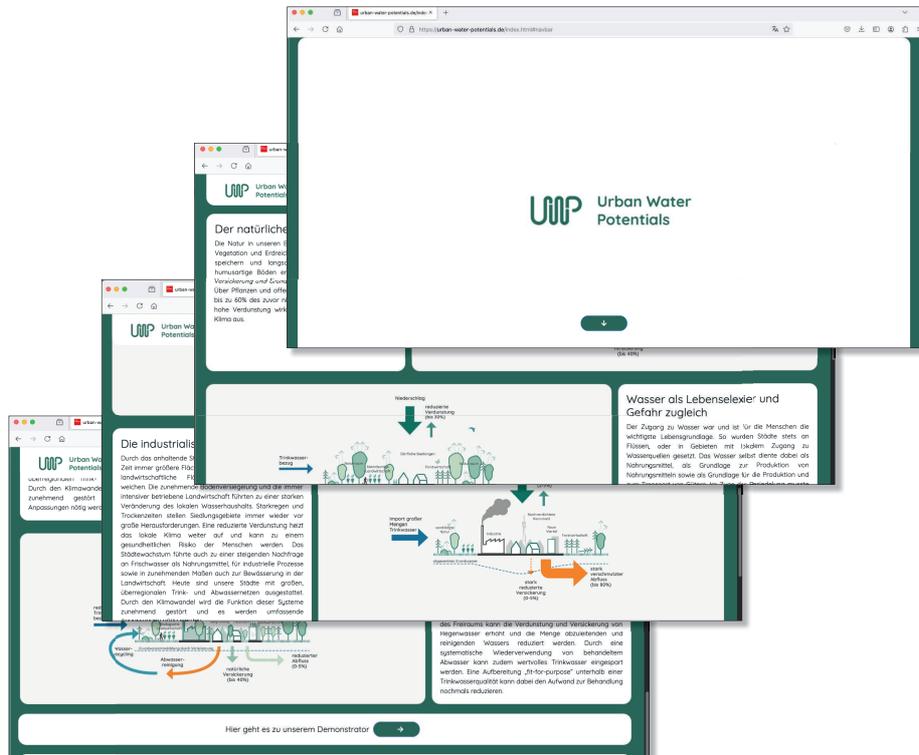


Abbildung 24 Übersicht zu den Informationen und Darstellungen der UWP-Landing Page

4.2 Aufbau der „Analyseseite“

Die interaktive „Analyseseite“ stellt den Kern dar. Hier werden Echtzeit-Analysen von Geodaten, Wasserbilanzen und Abwasserkostenberechnungen durchgeführt. Die Seite wurde so konzipiert, dass sie einfach, übersichtlich und intuitiv auch durch nicht „Wasserexpert*innen“ bedient werden kann.

Im Mittelpunkt rechts steht ein ca. 2/3 des Bildschirms füllender Ausschnitt, welcher als Fenster zum hinterlegten 3D Modell dient. Hier kann virtuell über das Gebiet geflogen werden.

Auf der linken Seite befindet sich eine Menüleiste, welche neben Auswahlreglern auch Informationen, textliche Beschreibungen und visualisierte Ergebnisse bereithält. Durch das Menü kann „gescrollt“ werden. Im Folgenden werden die einzelnen Themenblöcke und Abschnitte des Menüs beschrieben:

Infos zum Gebiet

In einem ersten Abschnitt finden sich grundlegende Informationen zum Projektgebiet, darunter

- die **Verteilung der drei Hauptnutzungen** (vgl. Abbildung 3 in Kapitel 2.1),
- die **Verteilung der privaten und öffentlichen Flächen** (vgl. Abbildung 3 in Kapitel 2.1),
- die **Branchenverteilung** (vgl. Kapitel 2.1 und die Karte in Anhang A3),
- die **Einteilung der Oberflächenbeläge** nach Merkblatt DWA M-102-4 (vgl. Anhang A5), die von stark versiegelten Asphaltflächen bis hin zu (teil-)permeablen Oberflächen wie Rasengittersteinen oder Grünfläche reicht und auch die Gewerbedächer nach Neigung und Oberflächenbelag einteilt, und

- die **Einteilung der Fläche in die drei Versiegelungsklassen** nach Fellbacher Abwassersatzung (vgl. Abbildung 10 in Kapitel 2.4), was Aufschluss über den Oberflächenabfluss gibt und für die Berechnung der Abwasserkosten relevant sind.

Neben kurzen textlichen Erläuterungen und Kreisdiagrammen zu den Inhalten können die Karten auch über einen Auswahlfilter als Textur im 3D Modell angezeigt werden. Die Geodaten wurden in ArcGIS Pro verarbeitet und als ArcGIS Tile Layers in die Webplattform integriert. Dies ermöglicht den Nutzern Funktionen wie das Ein- und Ausblenden von Datenschichten, Zoomen und die Detailansicht in nahezu Echtzeit.

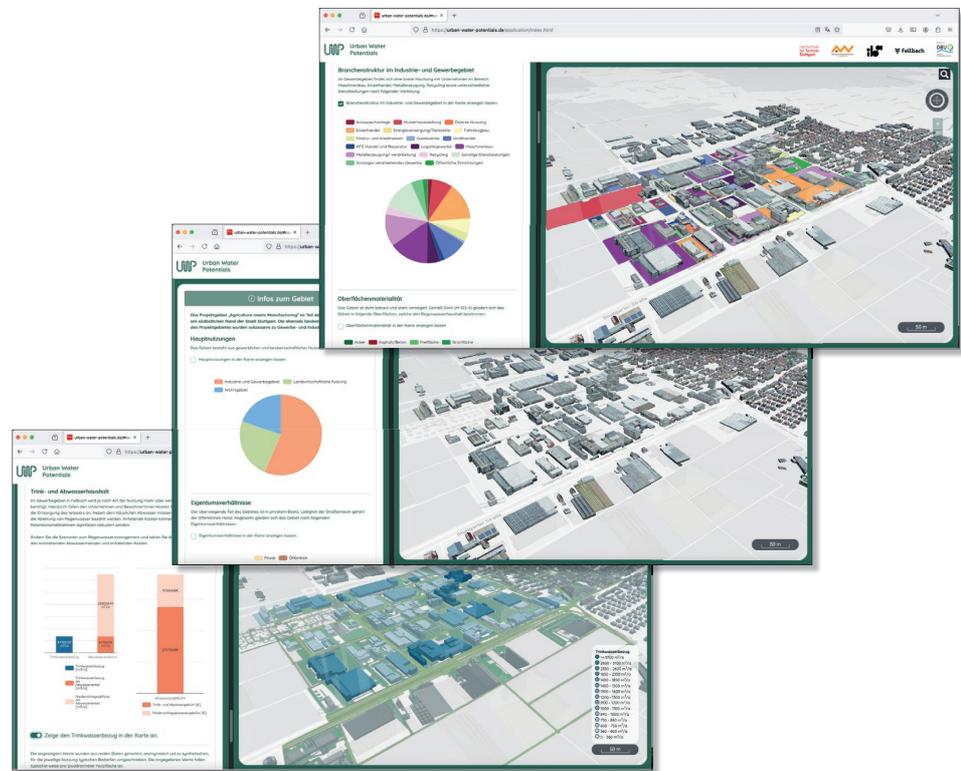


Abbildung 25 Übersicht zur den Ein- und Ausgabebereichen des Themenblocks „Infos zum Gebiet“

Auswirkungen des Klimawandels

Im zweiten Abschnitt werden Informationen zu bisherigen monatlichen Niederschlagsmengen im Projektgebiet zu Fellbach von 1963 bis 2023 sowie zu künftigen Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenereignisse.

Visualisiert werden die Daten zu bisherigen Regenereignissen über ein interaktives Diagramm, basierend auf angepasstem HTML-Code. Dieses ermöglicht es Nutzern, über eine Schieberegler-Funktion unterschiedliche Zeitspannen zu durchlaufen und die Niederschlagsdaten für Fellbach zu betrachten. Die Daten basieren auf frei verfügbaren Daten des DWD.

Neben dem beschriebenen Rückblick zu vergangenen Regenereignissen beschreibt ein weiterer Subabschnitt Prognosen zu künftigen Niederschlägen. Hierfür werden Projektionen des IPCC (IPCC AR6 Working Group I, 2023) herangezogen. Die Hochrechnungen zeigen unterschiedliche Szenarien und prognostizierte Veränderungen der monatlichen Niederschlagsmengen. Die Prognosen sind mit monatlichen Werten der Jahre 2022 und 2023 überlagert. Diese beiden Jahre waren jeweils von längeren Trockenperioden gezeichnet.



Abbildung 26 Interaktives Chart zum bisherigen Regenwasserhaushalt im Projektgebiet (links) und Prognosen des IPCC für den Standort in Fellbach (rechts)

Wasserhaushalt

Der dritte und zentrale Abschnitt fokussiert auf Auswirkungen von Begrünungsszenarien auf den lokalen Wasserhaushalt sowie auf resultierende Ableitungskosten.

Über einfache interaktive Menüs können Nutzer*innen unterschiedliche Begrünungsszenarien (Dachbegrünung, Begrünung des privaten Freiraums sowie Begrünungen des öffentlichen Freiraums) in unterschiedlichen Gradienten wählen. Das Tool gibt dabei ein direktes Feedback über Balkendiagramme und Karten. Hieran lassen sich Änderungen an Variablen wie dem Anteil von Gründächern, der Entsiegelung von öffentlichen und privaten Flächen und der Oberflächenpermeabilität auf den urbanen Wasserkreislauf einfach nachvollziehen.

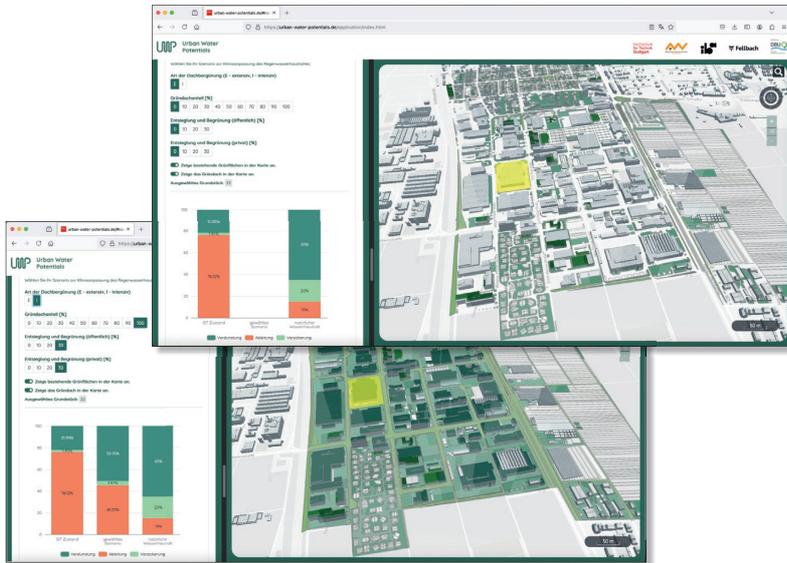


Abbildung 27 Übersicht zur den Ein- und Ausgabebereichen des Themenblocks „Wasserhaushalt“

Technische und interaktive Funktionen:

Das interaktive System der „Analyseseite“ basiert auf einer HTML-Programmierung für die dynamischen Diagramme und Karten. Apache ECharts dienten als Vorlage für das Diagramm-Design und die Visualisierungen, während die Implementierung und Anpassung mit HTML und JavaScript erfolgten. Eine umfangreiche Backend-Datenbank speichert die Werte für jede mögliche Kombination von Eingaben.

4.3 Zwischenfazit zum digitalen Tool

Der Prototyp des Tools wurde erstmals Anfang Juni 2024 bei der »Woche der Umwelt« im Berliner Schloss Bellevue präsentiert, als eines von insgesamt 190 Projekten. Die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt kuratierte Ausstellung am Sitz des Bundespräsidenten ehrte die innovativsten Ideen zu zentralen Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen. Das Projektteam der HFT, OTH, IBA'27 und der Stadt Fellbach nutzte die Gelegenheit, das Tool interessierten Besucher*innen vorzustellen und die Funktionsweise im Detail zu erläutern.

Besonders großes Interesse zeigte sich bei Vertreterinnen von Kommunen, für die das Tool eine wertvolle Unterstützung bei der Überzeugungsarbeit gegenüber Grundstückseigentümerinnen für notwendige Klimaanpassungsmaßnahmen sein kann. Durch die Aufzeigung von Einsparpotenzialen kann das Tool Investitionen in langfristige Anpassungsmaßnahmen als sinnvoll verdeutlichen.



Abbildung 28 Fotocollage von der Woche der Umwelt (04.06. bis 05.06.2024 im Schloss Bellevue, Berlin)

Mit der Stadt Fellbach wurde zudem vereinbart, das Tool auf weiteren Veranstaltungen im Rahmen des IBA'27-Projektgebiets einzusetzen und so die Sensibilisierung für Klimaanpassungsmaßnahmen weiter zu fördern. Durch die grafische Oberfläche und die vereinfachte Eingabe von Begrünungsszenarien wurde die Barriere zur Nutzung des digitalen Tools auch durch „fachfremde“ Personen reduziert.

5 Übertragbarkeitskonzept und Ausblick

5.1 Übertragbarkeit: Nachhaltiger Wasserhaushalt und Synergien zwischen Gewerbegebieten und der Landwirtschaft

Die Untersuchungen zu Wasserpotenzialen in Gewerbegebieten am Beispiel des Fellbacher IBA'27 Projektgebietes haben gezeigt, dass gerade „gewachsene“ Gebiete aller Voraussicht nach größere mikroklimatische Probleme wie die Überhitzung sowie Gefahren durch Starkregenereignisse unter dem Einfluss des Klimawandels ausgesetzt sein können. Dies liegt in typischen Gewerbegebieten an deren hoher baulicher Dichte und des hohen Versiegelungsgrads.

Die Flächenanalysen zum Beispiel in Fellbach haben gezeigt, dass in bestehenden Gewerbegebieten Versiegelungsgrade von weit über 67% und mehr des Nettobaulandes vorliegen können. Hierdurch entsteht ein völlig „unnatürlicher“ Regenwasserhaushalt. Wie auch das Fellbacher Untersuchungsgebiet, weisen auch andere Gewerbegebiete in der Regel niedrige Verdunstungs- und Versickerungsraten bei hohen Ableitungen von anfallendem Regenwasser auf. Durch die reduzierte Verdunstung und die resultierende fehlende adiabate Kühlung, kann gerade die sommerliche Temperatur in Gewerbegebieten deutlich höher liegen, als in Bereichen mit höherem Grünanteil. Auch sind hoch versiegelte Gewerbegebiete Gefahren durch Starkregen stärker ausgesetzt, als Gebiete mit größeren Retentionsmöglichkeiten.

Eine Veränderung dieser klimatisch ungünstigen Wasserhaushalte sind hinsichtlich der prognostizierten Herausforderungen des Klimawandels dringend nötig. Somit unterliegen viele der bestehenden Gewerbegebiete in Deutschland einem klimatischen Anpassungsdruck.

5.1.1 Übertragbarkeit: Klimaanpassung bestehender Gewerbegebiete

Im Fellbacher Gebiet, wie auch in anderen Gewerbegebieten, sind dementsprechend Maßnahmen zur Entsiegelung und zur Begrünung vorzunehmen. Dies kann durch dezentrale und voneinander unabhängig umzusetzende Maßnahmen geschehen. Dies betrifft Maßnahmen im Einflussbereich der privaten Grundstücksbesitzer*innen und der jeweiligen Kommunen.

Maßnahmen privater Grundbesitzer*innen

Private Grundbesitzer*innen können unabhängig voneinander kleinere und größere Maßnahmen zur Begrünung und Entsiegelung umsetzen. So können Kiesdächer nachträglich begrünt werden, Regenwasser in dezentralen Mulden, Mulden-Rigolen, beziehungsweise anderen Retentionssystemen zurückgehalten werden. Hierdurch können signifikante Kostenersparnisse im Bereich fälliger Abwassergebühren erzielt werden. Weitere Lösungen liegen in der Nutzung von gesammeltem Regenwasser für interne Zwecke (z.B. WC-Spülung, Grünraumbewässerung, etc.). Begrünungsmaßnahmen können neben Kosten- und Klimaeffekten auch positive Auswirkungen auf lokale Aufenthaltsqualitäten (z.B. durch Schatten, Verdunstungskühlung, etc.) haben. Auch können die Begrünungsmaßnahmen in den fortschreitenden, oftmals zwingend zu tätigen Zertifizierungssystemen der Unternehmen positive Benefits bringen.

Welche der Maßnahmen konkret im jeweiligen Fall umgesetzt werden kann, hängt von unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Tragkonstruktion des Daches, Untergrundbeschaffenheit, betriebliche Anforderungen an die Freiflächen, Gefahren zum Eintrag von Verschmutzungen in das Erdreich, etc.) ab.

Maßnahmen der Kommunen

Die Kommunen können wiederum mit eigenen Maßnahmen zur Entsiegelung und Begrünung im öffentlichen Freiraum aktiv werden. Hier können Baumpflanzungen, Mulden, Rigolen in Einklang mit verkehrlichen Belangen umgesetzt werden. Als ersten Schritt sollte zudem trotz potenziell hoher Investitionskosten die Errichtung von Trennsystemen in Erwägung gezogen werden. In der Regel ist hierfür die Errichtung eines eigenen Regenwasserkanals nötig. Diesen in den bestehenden Straßenquerschnitt zu integrieren, kann aufgrund der vorhandenen Medien herausfordernd sein. Je nach Flächenpotenzial im jeweiligen Quartier könnten jedoch auch oberflächige Entwässerungssysteme (z.B. Rinnen, Ableitungsmulden, etc.) zum Einsatz kommen.

Zudem können Kommunen dezidierte Öffentlichkeitsarbeit zu Maßnahmen auf privaten Flächen machen. Mit entsprechenden Kommunikations- und Sensibilisierungsmaßnahmen kann verstärkt auf die Umsetzung von Maßnahmen eingewirkt werden.

Einsatz digitaler Tools

Digitale Werkzeuge wie das im Rahmen dieses Projektes entwickelte partizipative Tool „Urban Water Potentials“ (vgl. Kapitel 4) bieten eine Möglichkeit, die klimatischen und monetären Vorteile von Begrünungsmaßnahmen verständlich und ansprechend darzustellen. Die im Projekt entwickelte Methodik der „Gamification“ hat gezeigt, dass selbst komplexe Sachverhalte spielerisch und niederschwellig an Bauherr*innen und Eigentümer*innen von Gewerbeimmobilien vermittelt werden können.

Eine Übertragbarkeit auf andere Gebiete, auch nicht gewerblich genutzte Baulandflächen, ließe sich leicht umsetzen. Hierfür müssten lediglich Schnittstellen zu vorliegenden (Geo-)Daten ausgebaut werden, um eine automatisierte Berechnung des jeweiligen Wasserhaushaltes zu erlauben. Zudem müssten die bisher integrierten Szenarien erweitert und hinsichtlich einer einfachen Ergonomie angepasst werden.

Die in der vorliegenden Studie durchgeführten Analysen zu Wasserbedarfen in der Landwirtschaft lassen sich ferner Übertragbarkeiten auf andere Regionen übertragen. Wasserbedarfe in der Landwirtschaft sind insbesondere von der jeweiligen Anbauart sowie von den meteorologischen Bedingungen abhängig. Insofern kann die gewählte Methodik zur Kalkulation von Bewässerungsbedarfen in der Landwirtschaft auf andere Regionen leicht übertragen werden, sofern die benötigten Parameter hinsichtlich des Klimas, Boden und der Anbauart bekannt sind. Die eingesetzte Open-Source-Software CROPWAT kann hier Hilfestellung leisten.

5.1.2 Synergetische Nutzung von gewerblichen Regen- und Grauwasser

In Fällen, in denen eine dezentrale Bewirtschaftung des Regenwassers (Rückhalt, Verdunstung, Versickerung) nicht oder nur punktuell möglich ist, sollte die oben beschriebene Umstellung auf Trennsysteme mit separater Regenwassersammlung und -ableitung geprüft werden. Durch die Trennung wird anschließend ausschließlich nur noch verschmutztes Abwasser durch die bestehende Kanalisation geleitet. Bei dieser Auskoppelung erfolgt die Ableitung des verbleibenden Abwassers im sogenannten „Trockenwetterfall“. Die Kläranlage kann dadurch auf die resultierende, konstantere Abwassermenge optimiert werden, was ihre Reinigungsleistung verbessert und sie vor Überlastung durch große Abwassermengen schützt. Eine ungereinigte Notableitung, wie sie bislang bei Starkregenereignissen erforderlich war, entfällt. Dies kommt auch den lokalen Gewässersystemen zugute, die häufig als Vorfluter für Kläranlagen dienen und vor Verunreinigungen bewahrt werden.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass das Regenwasser in der gleichen Reinheitsstufe wie bei der Einleitung in den Regenwasserkanal verbleibt. Es ist jedoch sicherzustellen, dass das Regenwasser stets durch eine belebte Bodenzone, bzw. Filtersysteme geleitet wird, um Verunreinigungen (z. B. durch Luftschadstoffe oder Reifenabrieb) zu vermeiden. Im Rahmen der getrennten Ableitung des sauberen Regenwassers kann dieses entweder direkt in den Vorfluter geleitet oder für andere Zwecke genutzt werden. Dazu gehören zentrale Maßnahmen wie Versickerung und Verdunstung oder eben die Verwendung in der Landwirtschaft.

Übertragbarkeit: Synergiebildung mit der Landwirtschaft

Die Untersuchungen im Projektgebiet Fellbach haben gezeigt, dass eine Verwendung zur Bewässerung in der Landwirtschaft im Beispielprojekt in Fellbach an systemtechnische Grenzen stoßen kann. Für das Fellbacher Gewerbegebiet wird dementsprechend keine Empfehlung zur Umsetzung eines Regenwassertransferkonzeptes ausgesprochen.

Dies liegt im vorliegenden Fall zum einen an der ungünstigen Topografie: Eine Ableitung von Regenwasser über einen eigenen Trennkanal sollte stets der bestehenden Topografie folgen und parallel zu den bestehenden Freigefälleleitungen des Abwasserkanals verlaufen. Auf dem Wege kann optional eine Entnahme und Nutzung zum Beispiel zur Bewässerung in der Landwirtschaft erfolgen. Im Projekt in Fellbach müsste gesammeltes Regenwasser über eine Druckleitung in die höher gelegene Landwirtschaft gepumpt werden. Hierfür würde wiederum der Einsatz von Energie erforderlich. In anderen Gewerbegebieten könnte jedoch im weiteren Freigefälle eine Bewirtschaftung auch in der Landwirtschaft erfolgen.

Ein weiterer begrenzender Faktor bei der Nutzung von gesammeltem Regenwasser aus Gewerbegebieten in der Landwirtschaft stellen die nötigen Speicher dar. Die Untersuchungen am Beispiel Fellbach zeigen, dass selbst große Speicher die je nach Wetterlage hohen Bewässerungsbedarfe nicht zwangsläufig decken können. Speziell unter den Bedingungen des Klimawandels kann die Nutzung von Regenwasser nur einen begrenzten Beitrag leisten. Angebot und Nachfrage verlaufen dissynchron. Das bedeutet, dass einerseits in regenreichen Zeiten der natürliche Niederschlag meist ausreicht, um den Wasserbedarf der Pflanzen zu decken. In trockenen, heißen Perioden hingegen, wenn der Bewässerungsbedarf besonders hoch ist, ist das Angebot an Regenwasser gering oder gar nicht vorhanden.

Diese zeitliche „Dissynchronität“ kann folglich nur durch umfangreiche Speicherkapazitäten teilweise ausgeglichen werden. Große Speicher ermöglichen es Wasser aus Zeiten mit hohem Angebot für Zeiten mit hoher Nachfrage vorzuhalten. Für die Speicherung von Regenwasser aus typischen Gewerbegebieten – wie dem Projektgebiet in Fellbach – zeigt sich jedoch, dass bauliche Speicherlösungen aufgrund des großen benötigten Speichervolumens kaum realisierbar sind. Eine Lösung könnten hierbei Speicherseen darstellen. Diese könnten an geeigneten Orten Aufgaben einer Retention, einer Versickerung und einer Rückhaltung von Regenwasser für Bewässerungszwecke leisten und sind idealerweise entlang des natürlichen Gefälles des hierfür erforderlichen Regenwassertrennkanales verortet.

Vor einer systematischen Verwendung gesammelten Regenwassers sollte jedoch auch die bisherige Bedarfsseite kritisch hinsichtlich möglicher Einsparpotenziale analysiert werden. Am Beispiel Fellbach führen unter anderem die großen Bewässerungsbedarfe der dort angebauten, „wasserintensiven“ Pflanzen (z. B. Rucola) zu den hohen Speichervolumen. Hier könnte ein erster „Hebel“ darin liegen, den Wasserbedarf durch alternative, wassereffiziente Bewässerungssysteme zu reduzieren. Eine Tröpfchenbewässerung hat beispielsweise gegenüber der Beregnung einen um 30 % bis 40 % geringeren Wasserbedarf (vgl. Umweltbundesamt, 2020). Dadurch würde sich auch der Bedarf an zusätzlichem Wasser entsprechend reduzieren. Darüber hinaus könnte die Bewässerungsmenge punktuell an die Verfügbarkeit von Regenwasser angepasst werden. So könnte eine moderate Reduktion der Bewässerungsmengen zwar ein langsames Pflanzenwachstum („Sommerschlaf“) bewirken, gleichzeitig ließen sich aber weitere Einsparungen bei der zusätzlichen Bewässerung erzielen.

Alternativ sollte an Standorten mit ungünstigen Bedingungen zur Grundwasserneubildung (z.B. topografische Kamm- / Plateaulage, Böden mit geringer Versickerungsfähigkeit, etc.) im Zuge des Klimawandels auch über alternative Pflanzungen nachgedacht werden.

Insgesamt ist davon auszugehen, dass ein ausschließlicher Einsatz von Regenwasser im Rahmen eines Transferkonzeptes auch in anderen Gewerbegebieten ähnliche Speicheranforderungen mit sich bringen würde, wie die Analysen zum Fellbacher Projekt aufgezeigt haben. Sofern in anderen Gewerbegebieten aufgrund der Topografie und vorhanden Fläche die Errichtung eines Speichersees zwischen Gewerbe und der Landwirtschaft jedoch möglich ist, könnte eine Umsetzung gelingen. Hierbei sollte der See jedoch primär als ökologische Fläche und weniger als technisches Speicherbauwerk betrachtet werden, da die Höhe der Wasserpegelschwankung zur Aufrechterhaltung der ökologischen Funktionalität begrenzt ist.

Eine Lösung zur Deckung möglicher „Trockenheitslücken“ könnte in der zusätzlichen Nutzung von Grauwasser liegen. Dieses schwach belastete Wasser fällt in Fellbach aufgrund der spezifischen Branchenstruktur lokaler Unternehmen nur in geringen Mengen an. In anderen Gewerbegebieten mit „wasserintensiveren“ Unternehmen könnte jedoch deutlich mehr leicht zu reinigendes Grauwasser zur Verfügung stehen. Dadurch könnten gerade in Trockenzeiten die Wasserbedarfe umfassender gedeckt werden, als dies in Fellbach möglich ist. Die Nutzbarkeit von Grauwasser erfordert jedoch eine detailliertere Einzelfalluntersuchung.

5.2 Weiterführende Forschungsfragen

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse haben zentrale Forschungsfragen aufgeworfen, die für eine umfassende Weiterentwicklung von Klimaanpassungsstrategien in Gewerbegebieten sowie Konzepten zu Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft relevant sind.

5.2.1 Forschungsfeld: Klimaanpassungsmaßnahmen in Gewerbegebieten

Bei der Modellierung der Fellbacher Regen- und Abwasserpotenziale wurden ganz unterschiedliche Annahmen hinterlegt, so auch zu Abschätzungen möglicher Begrünungsmöglichkeiten. Teilweise wurde hier auch auf bestehende Untersuchungen zu Transformationsmöglichkeiten im Fellbacher Gewerbequartier zurückgegriffen. Für eine weitere Konkretisierung zu typischen Umsetzungsmaßnahmen an anderer Stelle ist jedoch eine detaillierte Kenntnis zu individuellen Begrünungs- und Entsiegelungsoptionen erforderlich.

Eine allgemeine Einschätzung, wie weit bestehende Gewerbegebiete begrünt und entsiegelt werden können, erfordert auch Kenntnis zur jeweiligen Untergrundbeschaffenheit. Hierzu zählen auch Informationen zu Verunreinigungen und Auflagen zum Schutz des Bodens vor dem Eindringen von Schadstoffen, welche einer Entsiegelung generell entgegenstehen können. Im Zuge des Fellbacher Gewerbegebietes wurde immer wieder auf unklare Kenntnis zu vergangenen Kontaminationen von Teilflächen im Gebiet

hingewiesen. Gerade in älteren Gewerbegebieten können bisher unerkannte Altlasten eine Entsiegelung und Begrünung erschweren. Generell wäre es ratsam bestehende Kontaminationen zu identifizieren und Lösungen zu entwickeln diese zu sanieren. Hier können auch neue Ansätze wie eine Phytosanierung umgesetzt werden.

Dazu zählen insbesondere:

- Typisierung von Gewerbedächern hinsichtlich einer zu erwartbaren Tragfähigkeit in Folge von Begrünungen
- Typisierung von Gewerbefreiflächen hinsichtlich deren Entsiegelungs- und Begrünungspotenziale unter Berücksichtigung von Anforderungen des gewerblichen Betriebs betrieblichen Ablauf (Logistik, Lager, etc.)
- Untersuchung der Bodenbeschaffenheit hinsichtlich Versickerungsfähigkeit und möglicher Restriktionen bei der Entsiegelung

Resultierende Forschungsfragen im Themenfeld von Klimaanpassungen in Gewerbegebieten:

- Welche Begrünungssysteme (Dach- und Fassadenbegrünungen) sind für Gewerbedächer mit begrenzter Tragfähigkeit am besten geeignet?
- Wie lassen sich betriebliche Anforderungen an Freiflächen mit ökologischen Zielen vereinen, insbesondere hinsichtlich logistischer und sicherheitsrelevanter Anforderungen?
- Inwieweit können Phytosanierungsmaßnahmen zur Dekontamination versiegelter Böden genutzt werden, um gleichzeitig Retentions- und Versickerungsflächen zu schaffen?
- Welche innovativen Speichersysteme können in Gewerbegebieten zur Verbesserung der Regenwasserbewirtschaftung beitragen?
- Welche Anreize (z. B. finanzielle oder regulatorische) sind erforderlich, um Gewerbetreibende zur Umsetzung von Begrünungs- und Entsiegelungsmaßnahmen zu bewegen?
- Welche rechtlichen Rahmenbedingungen müssten angepasst werden, um Klimaanpassungsmaßnahmen in Gewerbegebieten zu erleichtern?

5.2.2 Forschungsfeld: Einsatz digitaler Tools

Nach erstem Einsatz des digitalen Tools „Urban-Water-Potentials“ wird eine Weiterentwicklung dieser Werkzeuge zur Sensibilisierung von Gewerbetreibenden und Liegenschaftsbesitzer*innen als ebenfalls vielversprechend angesehen. Insbesondere Methoden zur einfachen Bemessung von Regenereignissen auf Grundstücksebene könnten durch KI-gestützte Bilderkennung ergänzt werden, um großflächige Analysen zu ermöglichen. Auch könnten neben einer Wasserbilanz auch klimatische Effekte wie eine Veränderung der Temperaturen durch erhöhte Verdunstungskühlung in weiterentwickelte Regen- und Klimamodelle integriert werden. Denkbar ist es auch, dass das „Urban-Water-Potentials“ Tool zu einem öffentlich zugänglichen 3D-Regenwasserkataster weiterentwickelt wird.

Forschungsfragen zum digitalen Tool „Urban Water Potentials“:

Erweiterung der Analysefunktionen

- Wie können KI-gestützte Bilderkennungsverfahren zur besseren Identifikation und Kategorisierung von Versiegelungs- und Begrünungsflächen in das Tool integriert werden?
- Inwiefern kann eine automatisierte Datenerfassung zur Verbesserung der Modellgenauigkeit beitragen?

Integration klimatischer Effekte

- Welche Möglichkeiten bestehen, um neben dem Wasserhaushalt auch klimatische Effekte wie Verdunstungskühlung und Temperaturveränderungen in das Tool zu integrieren?
- Wie können bestehende Klimamodelle mit den Wasserhaushaltsdaten des Tools verknüpft werden?

Optimierung der Benutzerfreundlichkeit und Akzeptanz

- Welche Interaktionsmethoden könnten die Nutzung durch nicht-fachkundige Personen weiter erleichtern?
- Wie kann das Tool in bestehende kommunale Planungsprozesse eingebunden werden, um Anreize für die Umsetzung von Begrünungsmaßnahmen zu schaffen?

Übertragbarkeit und Skalierung

- Welche technischen und datentechnischen Anpassungen sind erforderlich, um das Tool auf andere Gewerbegebiete oder sogar Wohn- und Mischgebiete auszuweiten?
- Wie kann das Tool als öffentlich zugängliches 3D-Regenwasserkataster weiterentwickelt werden?

5.2.3 Forschungsfeld: Synergien zwischen Gewerbestrukturen und Landwirtschaft sowie Wasserbedarfe in der Landwirtschaft

Im Rahmen der Modulierung des dynamischen Modells zur Bilanz von Bewässerungsbedarfen der Landwirtschaft und Wasserpotenzialen des Gewerbegebietes wurden bestehende Modelle (Cropwat) sowie frei verfügbare Klimadatensätze verwendet. In den Methoden wurden zahlreiche Faktoren identifiziert, welche signifikante Auswirkungen auf die jeweilige Gesamtbilanz haben können. Insbesondere im Bereich der Simulation von Bewässerungsbedarfen werden große Variablen hinsichtlich des Gesamtbedarfes gesehen. So kann durch eine leicht verringerte Wassergabe das Wachstum gedrosselt, die grundsätzliche Vitalität dennoch aufrechterhalten werden. Darüber hinaus könnten weitere zahlreiche Wassersparmaßnahmen (andere Bewässerung, andere Tageszeiten der Bewässerung, etc.) sowie vielfältige Themen der Bodenverbesserung (z.B. Humusaufbau) zu einer Reduktion des Wasserbedarfs führen. Um eine tagesgenaue Simulation von Angebot und Bedarf auch in anderen Gebieten und landwirtschaftlichen Anbausituationen durchzuführen, sind folglich weitergehende Untersuchungen zum Wasserbedarf der Landwirtschaft mit ihren spezifischen Anbaukulturen nötig. Hierbei sollten neben der Nachbildung bestehender Kulturen auch alternative Kulturformen untersucht werden, welche zu einer Reduktion des Bewässerungsbedarfs führen können.

Resultierende Forschungsfragen zu Synergien zwischen Gewerbe und Landwirtschaft:

- In welchen Gewerbegebieten mit angrenzender Landwirtschaft bestehen Synergiepotenziale, die durch gezielte Wasserbewirtschaftung optimiert werden könnten?
- Welche Speichersysteme sind technisch und wirtschaftlich am besten geeignet, um Regenwasser für landwirtschaftliche Zwecke bereitzustellen?
- Wie können saisonale Schwankungen im Wasserangebot und -bedarf besser aufeinander abgestimmt werden, um die Effizienz eines Regenwassertransfers zu erhöhen?
- Welche gewerblichen wasserintensiven Nutzungen bieten besondere Potenziale einer Nutzung von Grauwasser zur Deckung landwirtschaftlicher Bewässerungsbedarfe?
- Welche Vorbehandlungen sind erforderlich, um Grauwasser sicher für die landwirtschaftliche Nutzung einsetzen zu können?
- Wie wirken sich verschiedene Bewässerungstechniken (z. B. Tröpfchenbewässerung, angepasste Anbauzeiten, trockenresistente Kulturen) auf den Wasserbedarf der Landwirtschaft aus?
- Welche regulatorischen oder hygienischen Anforderungen sind erforderlich, um Wassertransfersysteme zwischen Gewerbe und Landwirtschaft rechtlich abzusichern?

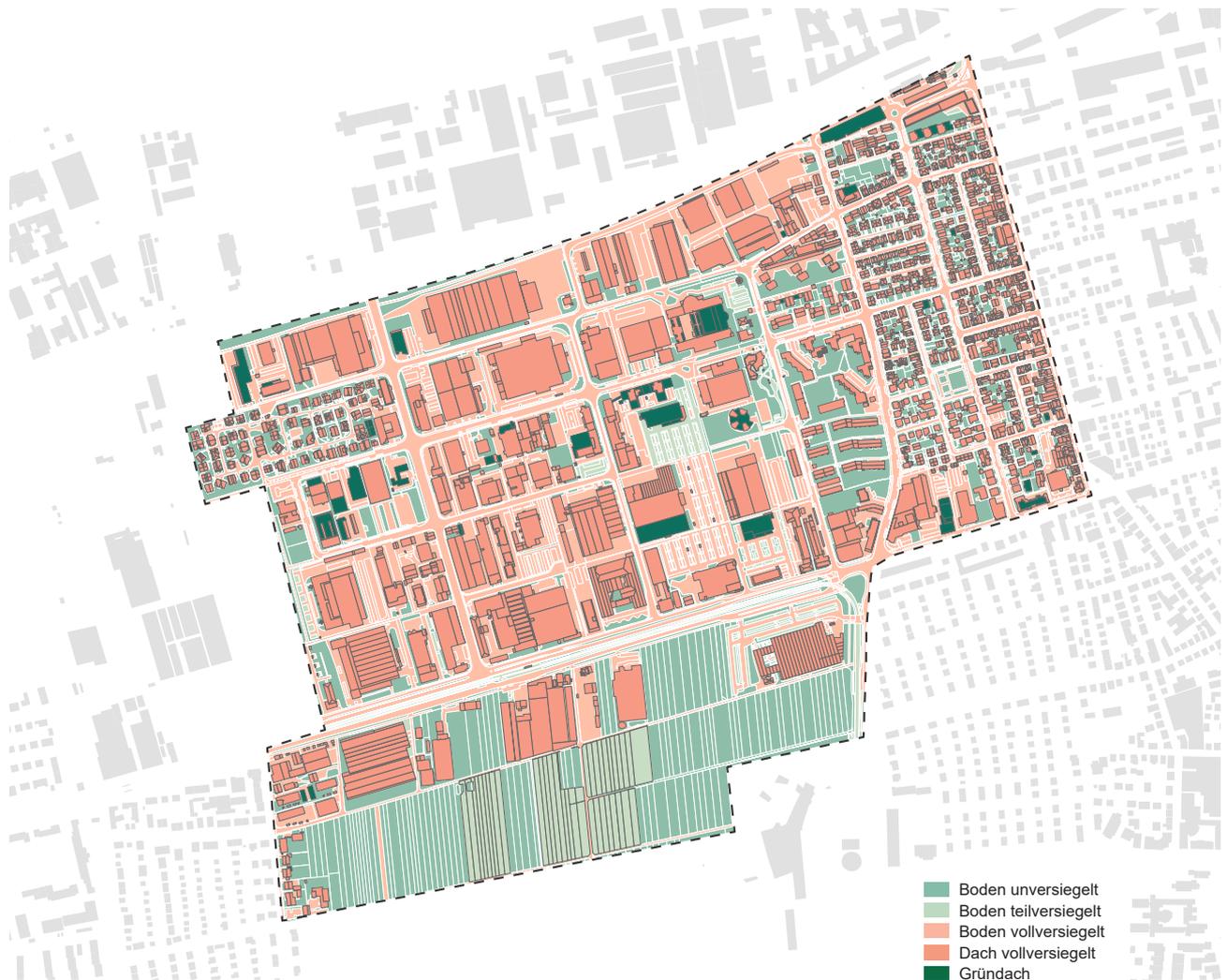
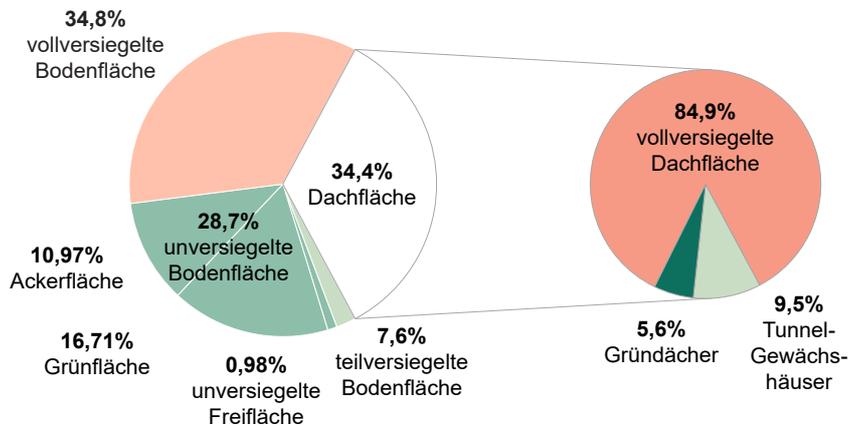
Literaturverzeichnis

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.). (2025). *Geoportal der BfG: Hydrologischer Atlas Deutschland (HAD)*. <https://geoportal.bafg.de/>
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2022). *Merkblatt DWA-M 102-4/BWK-M 3-4, Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Teil 4, Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers* (1. Auflage). *BWK-Regelwerk. Merkblatt*. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.
- Eisenberg, B., Diem, A., Meinerling, D., Rist, L. & Rauchecker, M. (2024). *Machbarkeitsstudie „Regenwassertransfer Gewerbe – Landwirtschaft“*.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *CropWat: Land & Water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- IPCC AR6 Working Group I. (2023). Future Global Climate: Scenario-based Projections and Near-term Information. In I. P. o. C. Change (Hrsg.), *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (S. 553–672). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
- Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (Hrsg.). (2025). *Agrarmeteorologie Baden-Württemberg*. <https://www.wetter-bw.de/>
- Maffettone, R. & Gawlik, B. (2022). *Technical Guidance Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC129596Luxembourg>
- Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (1991).
- Abwassersatzung - Satzung über die öffentliche Abwasserbeseitigung der Stadt Fellbach vom 27.03.2012 zuletzt geändert am 14.12.2021 1 (2022). <https://www.fellbach.de/de/Rathaus/Stadtrecht>
- Statistisches Bundesamt. (2021). *Statistischer Bericht: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei - Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. Fachserie 3: Reihe 5.1*. Statistisches Bundesamt (Destatis). <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/>
- Umweltbundesamt. (2020). *Effiziente Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft*. <https://www.umweltbundesamt.de/effiziente-bewaesserungssysteme-in-der-0#erweiterte-bewertung-der-massnahme>
- Verordnung (EU) 2020/741 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Mai 2020 über Mindestanforderungen an die Wasserwiederverwendung (2020). <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahU-KEwiW7r6C9omEAXUQhP0HHfZEBK8QFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Feur-lex.europa.eu%2Flegal-content%2FDE%2FTXT%2FPDF%2F%3Furi%3DCELEX%3A32020R0741&usq=AOvVaw2mko6aqck3l4dih8q6grLg&opi=89978449>
- Wasserhaushaltsgesetz (2009 & i.d.F.v. 22. Dezember 2023). https://www.gesetze-im-internet.de/whg_2009/BJNR258510009.html

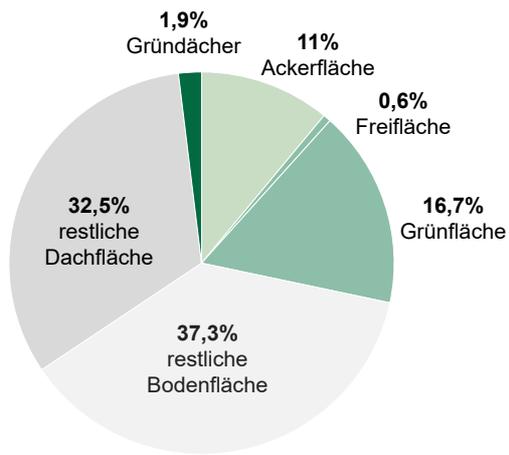
Anhang

A1. Versiegelung im öffentlichen und privaten Freiraum.....	52
A2. Verteilung der Grünflächen im öffentlichen und privaten Freiraum.....	53
A3. Branchenverteilung im Gewerbegebiet.....	54
A4. Logistik, Verkehrsflächen, Parken.....	55
A5. Verteilung Oberflächenbeschaffenheit.....	56
A6. Übersicht: Wasserspeicher.....	57

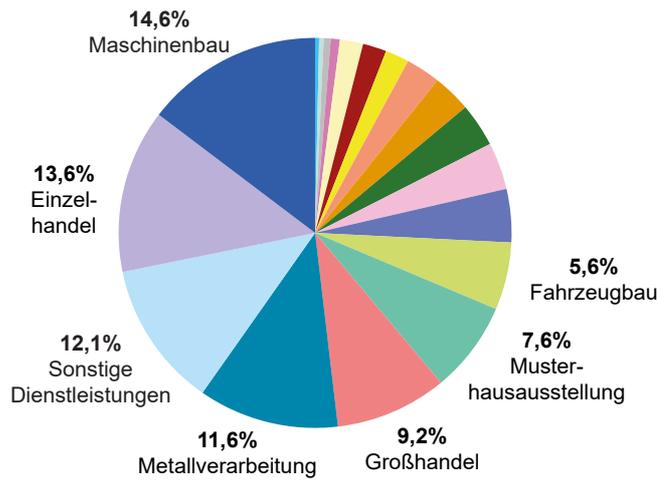
A1. Versiegelung im öffentlichen und privaten Freiraum



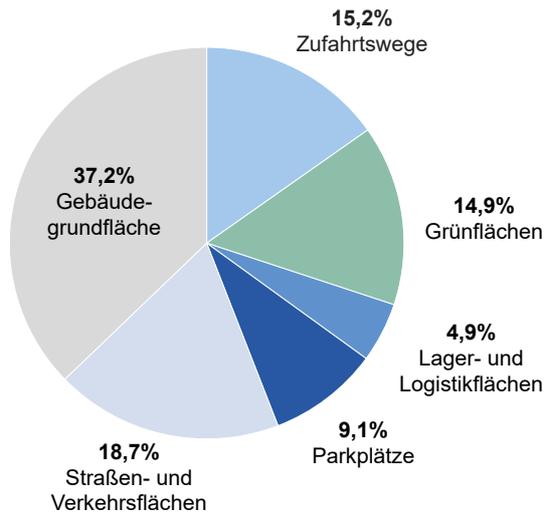
A2. Verteilung der Grünflächen im öffentlichen und privaten Freiraum



A3. Branchenverteilung im Gewerbegebiet



A4. Logistik, Verkehrsflächen, Parken



A5. Verteilung Oberflächenbeschaffenheit



Tabelle 3 Flächenbilanz für das Projektgebiet und die drei Teilgebiete (Gewerbe, Landwirtschaft, Wohnen). Oberflächenkategorien für die Bilanzierung des Regenwasserhaushalts nach DWA 102-4.

Flächenkategorie	Gesamtgebiet [m2]	Teilgebiet Gewerbe [m2]	Teilgebiet Landwirtschaft [m2]	Teilgebiet Wohnen [m2]
Asphalt, fugenloser Beton	387.711,07	272.694,14	32.920,40	82.096,52
öffentlich	158.940,74	95.175,54	13.827,37	49.937,83
privat	228.770,32	177.518,60	19.093,03	32.158,69
Teildurchlässige Flächenbeläge (Fugenanteil 2 % bis 5 %)	11.475,86	8.516,57	2.822,55	136,74
Teildurchlässige Flächenbeläge (Fugenanteil 6 % bis 10 %)	2.935,01	2.935,01	0,00	0,00
Garten, Grünflächen etc.	308.242,05	92.181,02	149.093,06	66.967,97
Grünflächen	186.092,14	92.181,02	26.943,14	66.967,97
Acker	122.149,91	0,00	122.149,91	0,00
Rasengittersteine	2.829,75	1.346,32	1.230,13	253,30
Poren- und Sickersteine, Schotterrasen, Kies	17.016,61	11.057,01	3.282,21	2.677,40
Kies	6.798,95	5.162,08	1.479,75	157,11
Schotter	2.890,38	2.890,38	0,00	0,00
Sandkasten	123,62	0,00	0,00	123,62
Freifläche (unversiegelt)	7.203,66	3.004,55	1.802,45	2.396,66
Steildach (alle Materialien)	175.731,25	45.021,16	78.435,42	52.274,66
Dach_geneigt	112.192,94	45.021,16	14.897,12	52.274,66
Gewächshaus	31.155,17	0,00	31.155,17	0,00
Gewächshaus (Tunnel)	32.383,13	0,00	32.383,13	0,00
Flachdach (rau)	54.853,58	46.811,20	715,17	7.327,22
Flachdach (glatt)	131.181,10	121.036,73	1.889,80	8.254,58
Gründach extensiv	21.395,68	17.731,03	326,29	3.338,35

A6. Übersicht: Wasserspeicher

In der Bewirtschaftung von Wasser werden seit jeher Speicher unterschiedlichster Größen und Bauarten eingesetzt. Diese Speicher unterscheiden sich nicht nur nach Typus, sondern auch in ihren Konstruktionsdetails und Größenordnungen. Es gibt eine Vielzahl von Speichertypen, die jeweils für spezifische Anforderungen und Einsatzgebiete konzipiert sind, von kleinen Zisternen bis hin zu großflächigen Speicherseen. Insgesamt lassen sich Speicher in folgende Typen gliedern:

Zisternen

Zisternen sind Behälter, die zur Sammlung und Speicherung von Regenwasser genutzt werden. Sie werden vor allem in landwirtschaftlichen Betrieben oder privaten Haushalten zur Nutzung von Regenwasser für Bewässerung oder andere Zwecke eingesetzt.

- **Typische Speichergrößen:** von wenigen Kubikmetern (z. B. 1–10 m³) bis zu etwa 100 m³.
- **Einsatzgebiete:** Private Haushalte, landwirtschaftliche Betriebe, kleine Gewerbe.
- **Konstruktionsweise:** Zisternen können freistehend oder unterirdisch angelegt werden, häufig aus Beton, Stahl oder Kunststoff gefertigt.

Wassertürme

Wassertürme werden regelmäßig in der Wasserversorgung von Bahnhöfen oder Städten konzipiert. Sie dienen der Zwischenspeicherung von Wasser und ermöglichen durch ihre Höhenlage die Schaffung eines konstanten Drucks im Versorgungsnetz.

- **Typische Speichergrößen:** von 800 m³ bis 1.500 m³.
- **Einsatzgebiete:** Historische Wasserversorgungssysteme, industrielle Anwendungen.
- **Konstruktionsweise:** Häufig aus Stahl oder Beton gefertigt, hohe turmartige Bauten.

Hochspeicher

Hochspeicher sind große Behälter zur Wasserspeicherung, die in der Regel Teil eines Wasserversorgungssystems sind. Sie regulieren den täglichen Wasserverbrauch und decken Spitzenlasten ab.

- **Typische Speichergrößen:** von 1.000 m³ bis zu mehreren 10.000 m³, z. B. 10.000–25.000 m³.
- **Einsatzgebiete:** Trinkwasserversorgung.
- **Konstruktionsweise:** Meist oberirdisch, bzw. teileingegraben aus Beton oder Stahl gebaut, um eine stabile Wasserversorgung aufrechtzuerhalten. Hochbehälter werden oftmals an höheren Standorten errichtet, um (wie Wassertürme) den notwendigen Leitungsdruck bereitzustellen.

Speicherseen

Speicherseen sind große Wasserreservoirs, die durch Talsperren oder Staudämme oder künstliche Seen errichtet werden. Diese Seen dienen einer Vielzahl von Zwecken, darunter Wasserversorgung, Energieerzeugung, Hochwasserschutz und Freizeitnutzung.

- **Typische Speichergrößen:** von mehreren Hunderttausend Kubikmetern (z. B. 500.000 m³) bis zu mehreren Millionen Kubikmetern (z. B. 12–14 Millionen m³).
- **Einsatzgebiete:** Regionale Wasserbewirtschaftung, Hochwasserschutz, Stromerzeugung, Freizeit und Tourismus.
- **Konstruktionsweise:** Durch Talsperren oder Dämme aufgestaute Seen, meist aus Beton oder Erdschüttung, die eine langfristige Speicherung und Regulierung des Wasserhaushalts ermöglichen.

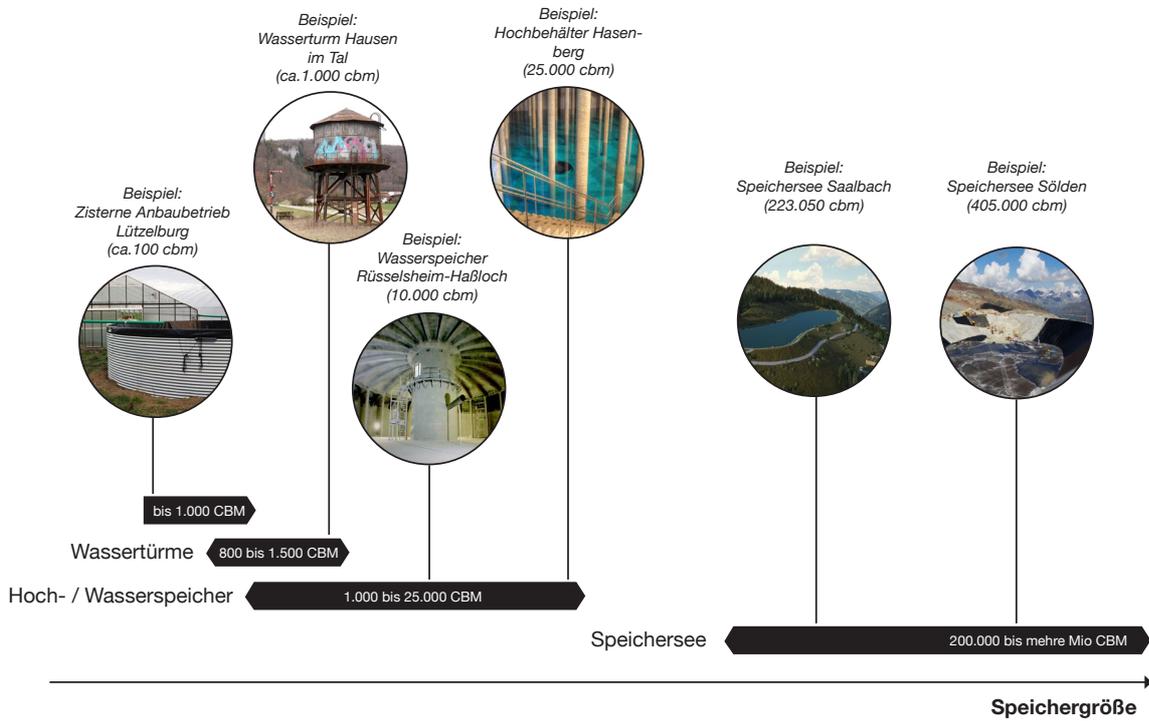


Abbildung 29 Größenbereiche unterschiedlicher typischer Wasserspeicher