

**Optimierung von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen  
hinsichtlich der Treibhausgasbindung/-freisetzung und  
Überprüfung von Möglichkeiten zur Implementierung in  
Bewertungssystematiken der naturschutzrechtlichen  
Eingriffsregelung**

**Kurztitel: Kompensation & Klimaschutz (K&K)**

**Abschlussbericht**

**DBU-AZ 28479**

**August 2015**

**uventus GmbH  
Am Wiesenbusch 2  
45966 Gladbeck  
[www.uventus.de](http://www.uventus.de)**

**in Zusammenarbeit mit:**

**Thünen-Institut für Agrarklimaschutz  
Bundesallee 50  
38102 Braunschweig  
[www.ti.bund.de](http://www.ti.bund.de)**

## **Bearbeiter**

### **uventus GmbH**

Bertram Oles

Christian Bußfeld

### **Thünen-Institut für Agrarklimaschutz**

Dr. Axel Don

Sarah Rensner

Dr. Annette Freibauer

## Danksagung

Das Projektteam bedankt sich bei allen Partnern, die das Projekt finanziell, durch die Bereitstellung von Daten oder die Unterstützung bei der Datenrecherche sowie mit zahlreichen Anregungen ermöglicht haben.

Finanziell gefördert wurde das Vorhaben durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und die Emschergenossenschaft.

Durch die Bereitstellung von detaillierten Daten zu Kompensationsmaßnahmen, Standorteigenschaften und Flächenpools haben uns im Laufe des Projektes folgende Partner hervorragend beratend unterstützt:

### Nordrhein-Westfalen

- Regionalverband Ruhr (RVR)
- RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
- Stadtwerke Duisburg AG
- Emschergenossenschaft

### Schleswig-Holstein

- Ausgleichsagentur Schleswig-Holstein GmbH

### Brandenburg

- Flächenagentur Brandenburg GmbH

Informationen über regionale Kompensationsmaßnahmen haben folgende Maßnahmenträger bereitgestellt:

### Brandenburg

- ~ Flächenagentur Brandenburg GmbH
- ~ GASCADE Gastransport GmbH

### Nordrhein-Westfalen

- ~ Stadt Gelsenkirchen
- ~ Stadt Köln
- ~ Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen
- ~ Landkreis Olpe
- ~ Landkreis Soest
- ~ Landkreis Wesel

### Schleswig-Holstein

~ Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

Für den Abschlussworkshop konnten Räumlichkeiten der Emschergenossenschaft in Essen genutzt werden.

Herzlichen Dank auch an die Landesämter für Landwirtschaft, Umwelt und Ländliche Räume Schleswig-Holstein sowie für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen und an die Teilnehmer des Abschlussworkshops für die rege Diskussion und die weiteren Anregungen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>BEARBEITER</b> .....	<b>1</b>
<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>2</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>6</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>7</b>
<b>ANHANG</b> .....	<b>8</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>2 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG</b> .....	<b>13</b>
<b>3 BEGRIFFSDEFINITIONEN UND GRUNDSÄTZLICHE ERLÄUTERUNGEN ZUR BEDEUTUNG VON LANDNUTZUNGSÄNDERUNGEN FÜR DEN KLIMASCHUTZ</b> .....	<b>15</b>
3.1 ANTHROPOGENE TREIBHAUSGASE .....	15
3.2 ANTHROPOGENE TREIBHAUSGASEMISSIONEN AUS LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT .....	16
3.3 RECHTLICHE VERANKERUNG DES KLIMASCHUTZES.....	17
3.4 KLIMASCHUTZMAßNAHMEN.....	19
3.5 SYSTEMGRENZEN UND LEAKAGE-EFFEKT VON KLIMASCHUTZMAßNAHMEN .....	19
3.6 KLIMAZERTIFIKATE.....	20
<b>4 ARBEITSSCHRITTE UND METHODIK</b> .....	<b>22</b>
4.1 FESTLEGUNG VON SYSTEMGRENZEN .....	22
4.2 BIOTOPTYPENKATALOG UND MAßNAHMENTYPEN .....	23
4.3 FLÄCHENAUSWAHL .....	23
4.4 FLÄCHENDATENERHEBUNG .....	25
4.5 REPRÄSENTATIVITÄT DER BETRACHTETEN MAßNAHMENTYPEN .....	29
4.6 TREIBHAUSGASBILANZBERECHNUNG.....	30
4.6.1 <i>Arbeitsschritte</i> .....	30
4.6.2 <i>Daten und Methoden</i> .....	31
<b>5 ERGEBNISSE</b> .....	<b>42</b>
5.1 FESTLEGUNG VON SYSTEMGRENZEN .....	42
5.2 BIOTOPTYPENKATALOG UND MAßNAHMENTYPEN .....	42
5.2.1 <i>Landwirtschaftliche Flächen</i> .....	43

5.2.2	<i>Wald</i> .....	44
5.2.3	<i>Sonstige Gehölzbiotope</i> .....	46
5.3	FLÄCHENAUSWAHL .....	49
5.3.1	<i>Brandenburg</i> .....	49
5.3.2	<i>Nordrhein-Westfalen</i> .....	52
5.3.3	<i>Schleswig-Holstein</i> .....	54
5.4	REPRÄSENTATIVITÄT DER BETRACHTETEN MAßNAHMENTYPEN .....	56
5.4.1	<i>Vergleichsmaßnahmen in Brandenburg</i> .....	58
5.4.2	<i>Vergleichsmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen</i> .....	59
5.4.3	<i>Vergleichsmaßnahmen in Schleswig-Holstein</i> .....	60
5.4.4	<i>Vergleichende Statistik</i> .....	61
5.5	KLIMAWIRKSAMKEIT AUSGEWÄHLTER AUSGLEICHS- UND ERSATZMAßNAHMEN.....	65
5.5.1	<i>Einflussfaktoren für die Berechnung der Klimaschutzwirkung</i> .....	65
5.5.2	<i>Referenzflächen</i> .....	66
5.5.3	<i>Hochwasserrückhaltebecken Dortmund-Mengede</i> .....	67
5.5.4	<i>Treibhausgasbilanzen ausgewählter Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein</i> .....	73
5.5.5	<i>Synergien zwischen Naturschutz und Klimaschutz</i> .....	74
5.5.6	<i>Unterschiede zwischen den Detailgraden der Treibhausgasberechnungen</i> .....	76
<b>6</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>78</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>82</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arbeitsschritte	22
Abb. 2: Bewirtschaftungsformen von Grünland nach ELLENBERG (1996)	33
Abb. 3: Schematische Darstellung des Biomasseaufwuchses und Mahdrhythmus für intensiv genutzte Wiesen im Jahresverlauf	33
Abb. 4: Schematische Darstellung des Biomasseaufwuchses und Mahdrhythmus für extensiv genutzte Wiesen im Jahresverlauf	34
Abb. 5: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse im Ausgangszustand in drei Detailgraden	36
Abb. 6: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse im Zielzustand in drei Detailgraden	37
Abb. 7: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Boden. Ausgangszustand in drei Detailgraden	38
Abb. 8: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Boden im Zielzustand in drei Detailgraden	38
Abb. 9: Verfahren zur Berechnung der N <sub>2</sub> O-Flüsse in drei Detailgraden	41
Abb. 10: Flächen- und Maßnahmenpool <i>Lebuser Platte - Krumpfuhl-Kuhluch</i>	50
Abb. 11: Flächen- und Maßnahmenpool <i>Schmergow</i>	51
Abb. 12: Flächen- und Maßnahmenpool <i>Zempow</i>	52
Abb. 13: Hochwasserrückhaltebecken Mengede	54
Abb. 14: Typisches Bild vom Flächen- und Maßnahmenpool <i>Olendieksau</i>	54
Abb. 15: Flächen- und Maßnahmenpool Predigerau	55
Abb. 16: Flächen- und Maßnahmenpool Winderatter See	56
Abb. 17: Anzahl der Projektflächen nach Zielbiotoptypen	57
Abb. 18: Größen der Projektflächen nach Zielbiotoptypen in m <sup>2</sup>	58
Abb. 19: Nach Maßnahmentypen differenzierte Anzahl der Vergleichsmaßnahmen in Brandenburg	59
Abb. 20: Nach Maßnahmentypen differenzierte Anzahl der Vergleichsmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen	59
Abb. 21: Nach Maßnahmentypen differenzierte Anzahl der Vergleichsmaßnahmen in Schleswig-Holstein	60

- Abb. 22: Prozentualer Vergleich von Maßnahmentypen der ausgewählten Träger  
und des K&K-Projektes 62
- Abb. 23: Prozentualer Vergleich von Maßnahmentypen der ausgewählten Träger  
und des K&K-Projektes ohne Flächen des Landesbetriebs Straßenbau  
Nordrhein-Westfalen 63
- Abb. 24: Vergleich der bewertbaren zusammengefassten Länder- und Projektmaß-  
nahmen mit Flächen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen 64
- Abb. 25: Hochwasserrückhaltebecken Mengede 68
- Abb. 26: Ausgangsbiotopgrößen der Becken B, C und D in m<sup>2</sup> 69
- Abb. 27: Flächenentwicklung in Dortmund-Mengede 70
- Abb. 28: Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung pro Hektar über einen  
Zeitraum von 20 Jahren 72
- Abb. 29: Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung über 20 Jahre als Mittelwerte  
über alle Einzelflächen nach Maßnahmen 74
- Abb. 30: Treibhausgasbilanzen und Biotopwertzuwächse nach LANUV (2008) beim  
Ausgangszustand Intensivacker 75
- Abb. 31: THG-Bilanzen und maximal mögliche Biotopwertzuwächse nach LANUV (2008)  
für Ausgangszustand Grünland 76
- Abb. 32: Unterschied zwischen den Detailgraden 1 und 3 (T1 und T3) 77

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Berücksichtigte Daten und Art der Erhebung 26
- Tab. 2: Steuergrößen für die Treibhausgasbilanzberechnung 66
- Tab. 3: Durchschnittliche Treibhausgasbindung und -freisetzung der Referenzflächen,  
angegeben werden Mittelwerte mit Standardfehlern 67
- Tab. 4: Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung pro Hektar und  
gesamt für alle Teilflächen des HRB 72

## Anhang

- Anh. 1: Biooptypenkatalog mit landesspezifischen Codierungen
- Anh. 2: Biooptypenkatalog mit länderspezifischen Bewirtschaftungshinweisen
- Anh. 3: Karten der Projektflächen (Druckversion mit Übersichtskarten, elektronische Version mit Übersichts- und Detailkarten)
- Anh. 4: Landwirtschaftlicher Betriebsfragebogen
- Anh. 5: Projektflächen und Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung

## 1 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund der Neubeanspruchung von Flächen für Bauvorhaben in einer Größenordnung von derzeit rund 80 ha pro Tag (angestrebt sind maximal 30 ha pro Tag bis zum Jahr 2020) und dem daraus resultierenden Kompensationsbedarf ergibt sich ein erhebliches Potenzial, das Schutzgut Klima im Sinne der Treibhausgaswirkung stärker im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung zu berücksichtigen. Bisher gibt es jedoch keine Möglichkeit, die Treibhausgaswirkung sowohl von durch Bauvorhaben beeinträchtigten Biotopen als auch von resultierenden Kompensationsflächen zu bemaßen und somit in die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung einzubeziehen. Vor allem hinsichtlich des Klimawandels erscheint es sinnvoll, dieses Potenzial zu nutzen. Bisher gibt es jedoch kaum Ansätze, die punktuell vorhandenen wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Treibhausgasbindung und -freisetzung von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen zu operationalisieren und zu quantifizieren. Ziel des durchgeführten Projektes ist es daher, Ansätze zu erarbeiten, um die Treibhausgasbindung und -freisetzung von Landnutzungsänderungen handhabbar zu machen. Ein mögliches Anwendungsfeld stellt dabei die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung dar. Gleichzeitig stehen die Ergebnisse aber auch für andere Anwendungen (z. B. Landschaftsplanung) zur Verfügung.

Zu Beginn der Arbeiten wurden zunächst die Systemgrenzen der durchzuführenden Analysen und Berechnungen definiert. Diese wurden eng gesteckt. Demgemäß beschränkt sich die Betrachtung der Klimawirksamkeit von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen auf Prozesse, die auf den ausgewählten Flächen selbst stattfinden. Vor- oder nachlaufende Prozessketten (z. B. Düngemittelherstellung, Transporte) haben keinen Eingang gefunden, da eine Einbeziehung dieser Prozessketten den Projektrahmen gesprengt hätte und inkonsistent mit den Systemgrenzen der Eingriffsregelung wäre. An maßgeblichen Treibhausgasen wurde Kohlendioxid und Lachgas berücksichtigt. Methan spielt bei den meisten Kompensationsmaßnahmen und Biotoptypen keine wesentliche Rolle.

Grundlage der Arbeiten bildete zunächst die Festlegung und Auswahl von Biotoptypen, die als Ausgangs- und Zielzustände für die zu betrachtenden Landnutzungsänderungen einbezogen wurden. Bei der Festlegung des Katalogs wurde sowohl die Relevanz möglicher Landnut-

zungsänderungen hinsichtlich der Treibhausgaswirkung als auch die Verfügbarkeit von Grundlagendaten berücksichtigt. Anschließend wurden konkret zu überprüfende Flächen in den Bundesländern Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein ausgewählt, so dass eine repräsentative Abdeckung von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen bzw. Landnutzungsänderungen gewährleistet war. Dabei wurden auch Boden- und Klimaverhältnisse berücksichtigt.

Die Auswahl der zu betrachtenden Einzelflächen erfolgte zweistufig. Bereits im Zuge der Antragstellung wurden Betreiber von Flächen- und Maßnahmenpools als Projektpartner gewonnen. So war sichergestellt, dass gute Datengrundlagen und ausreichend Flächen für die Treibhausgasbilanz ausgewählter Landnutzungsänderungen vorhanden waren. Während des Projektes erfolgte dann die Detailflächenauswahl anhand eines umfangreichen Kriterienkatalogs, in dem neben der Landnutzungsänderung vor allem Boden- und Klimadaten sowie Angaben zur Bewirtschaftung von Bedeutung waren.

Für die Berechnung der Treibhausgasbilanzen der einzelnen Flächen waren umfangreiche Recherche- und Entwicklungsarbeiten notwendig, da es bisher kein Berechnungssystem gab, das die auf Biotoypenebene abgebildeten Landnutzungsänderungen mit standardisierten Datensätzen für die Klimawirksamkeit verknüpft. Dementsprechend wurde ein Access-basiertes Softwaretool zur Berechnung der Klimawirksamkeit der betrachteten Landnutzungsänderungen entwickelt.

Letztendlich wurden die Treibhausgasbilanzen der Projektflächen mit ihren unterschiedlichen Ausgangs- und Zielbiotypen ermittelt. Dabei zeigten sich zum Teil deutliche Unterschiede der Klimawirksamkeit einzelner Maßnahmen. Die größten flächenspezifischen Bindungspotenziale wurden für Gehölzentwicklungen auf vormaligen landwirtschaftlichen Nutzflächen berechnet, wobei insbesondere die Entwicklung von Kleingehölzstrukturen zu beachtlichen Treibhausgasbindungen führt. Signifikante positive Effekte wurden auch für die Entwicklung von Extensivgrünland, sowohl auf vormaligem Intensivgrünland als auch auf vormaligen Ackerflächen bilanziert. Erwartungsgemäß sind dabei die Unterschiede zwischen Acker und Extensivgrünland größer als zwischen Intensiv- und Extensivgrünland. Die Maßnahmen auf landwirtschaftlichen Produktionsflächen tragen vor allem über die im Vergleich zu Gehölzentwicklungsmaßnahmen größeren betroffenen Flächen zur Treib-

hausgasminde rung bei. Insgesamt wurden 93 Einzelflächen und -maßnahmen auf 26,8 Hektar detailliert untersucht. Die Einzelflächen zeigten sehr unterschiedliche Start- und Zielwerte der Kohlenstoffvorräte. Ebenso hatten die Maßnahmen eine stark standortabhängige Klimawirkung. Die Ergebnisse dieser Studie lassen sich daher nur mit großen Unsicherheiten auf andere Gebiete übertragen. Diese Unsicherheit konnte im Rahmen des Projektes nicht bestimmt werden.

Trotzdem wurde eine grobe Relevanzabschätzung für die Synergien zwischen Kompensationsmaßnahmen und Klimaschutz versucht. Wenn bundesweit jährlich ca. 30.000 Hektar Kompensationsflächen angelegt werden und diese im Mittel eine Klimaschutzwirkung haben, die dem Mittelwert der untersuchten Flächen entspricht ( $110 \text{ Mg CO}_2\text{-Äqu. ha}^{-1}$  über einen Zeitraum von 20 Jahren), ergibt sich daraus unter Berücksichtigung von weiteren Kompensationsmaßnahmen derselben Größenordnung in den Folgejahren eine jährliche Klimaschutzwirkung von 3.300.000 Mg  $\text{CO}_2$ . Dies entspricht etwa 13% der deutschen Treibhausgasemissionen aus landwirtschaftlichen Böden ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und LULUCF<sup>1</sup> ( $\text{CO}_2$  in Böden und Biomasse) oder 0,3 % der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen (UBA 2014a). Durch die geringe Flächengröße der Kompensationsmaßnahmen haben Einzelmaßnahmen nur begrenzten Einfluss auf die deutsche Treibhausgasbilanz. In Summe können sich jedoch durchaus nennenswerte Effekte ergeben.

Im Ergebnis wurden weitgehende Synergien zwischen positiven naturschutzfachlichen Effekten und der Treibhausgasbindung oder -minderung von Maßnahmen nachgewiesen. Keine der untersuchten Kompensationsmaßnahmen hatte eine negative Klimawirkung. Produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen sind im Hinblick auf die Klimawirkung schwierig bewertbar. Nur deutliche Änderungen in der Stickstoffdüngung, der Landnutzung oder der Gehölzbiomasse sind im Hinblick auf Klimaschutz bewertbar und relevant.

Kompensationsmaßnahmen dienen dem naturschutzfachlichen Ausgleich von Eingriffen. Naturschutzfachlich wertvolle Maßnahmen sollten aber keinesfalls gegen Klimaschutzmaßnahmen abgewogen werden.

---

<sup>1</sup> LULUCF bedeutet Land Use, Land Use Change und Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft). Unter dem Akronym werden im Kyoto-Protokoll Maßnahmen im Bereich der Forstwirtschaft und der Landnutzung zusammengefasst. Die Annex I Staaten sind verpflichtet, diese Maßnahmen in ihre Klimaschutzbemühungen einzubeziehen.

Denn manche Maßnahmen mit geringer Synergie zum Klimaschutz, wie Entwicklung und Erhalt von artenreichen Wiesen und Weiden, haben in Bezug auf Biodiversität besondere Priorität.

Die uventus GmbH führte die Prüfung der Eingriffsregelung, die Erstellung des Biotoptypenkatalogs, die Flächenrecherche, die Datenerhebung und -auswertung sowie die Repräsentativitätsprüfung durch. Die Entwicklung eines Softwaretools für die Berechnung der Klimawirksamkeit von Kompensationsmaßnahmen und die Durchführung der Treibhausgasbilanzberechnung erfolgte seitens des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz.

## 2 Ausgangslage und Zielsetzung

In den vergangenen Jahren verdichten sich Erkenntnisse über unterschiedliche Bindungs- bzw. Freisetzungspotenziale bestimmter Biotop-typen für klimawirksame Gase (z. B. JANSSENS et al. 2003, SAAT-HOFF & VON HAAREN 2011). So stellen z. B. nach FREIBAUER et al. (2009) Nutzungsformen wie natürliche Moore und alte Wälder die größten CO<sub>2</sub>-Speicher und wichtige CO<sub>2</sub>-Senken dar. Aus landwirtschaftlich genutzten Böden treten CO<sub>2</sub>- und Lachgasemissionen (N<sub>2</sub>O) auf. Die Änderungen der Kohlenstoffvorräte durch Landnutzung und Landnutzungsänderung werden jährlich im nationalen Treibhausgasinventar unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen quantifiziert (UBA 2014a).

Der Klimaschutz gewinnt als Ökosystemdienstleistung immer mehr an Bedeutung. Der Waldklimafonds der Bundesregierung unterstützt Klimaschutzprojekte im Wald. Klimaschutzmaßnahmen werden in der aktuellen zweiten Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik als Umweltmaßnahme seit 2013 berücksichtigt. Erste konkrete Förderprogramme stehen mit Stand vom Juli 2015 kurz vor der Implementierung. Mecklenburg-Vorpommern hat als erstes Bundesland den Klimaschutz im Moorschutzprogramm verankert. Die meisten moorreichen Bundesländer folgten diesem Beispiel. Mecklenburg-Vorpommern hat außerdem mit den *Waldaktien* und *Moorfutures* zwei Programme für CO<sub>2</sub>-Zertifikate im freiwilligen Markt entwickelt. Moorfutures gibt es mittlerweile zudem in Brandenburg und Schleswig-Holstein. In Bremen und Niedersachsen gibt es *MoorLand*-Zertifikate des BUND, die qualitativ Naturschutz und Klimaschutz durch Moorschutz fördern. Bayern und Baden-Württemberg arbeiten an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten für den Moorschutz.

Die Glaubwürdigkeit und Nachweisbarkeit der Wirkung von Klimaschutzmaßnahmen sind zentral, d. h. die Wirkungen müssen messbar, berichtbar und verifizierbar (*MRV*) sein. Die Kriterien für eine Projektzertifizierung entsprechend internationaler Standards unter dem Kyoto-Protokoll und im freiwilligen Markt sind sehr streng. Projekte unter dem Kyoto-Protokoll beschränken sich derzeit auf Aufforstungen. Die internationalen Standards sind für komplexe oder kleine Projekte nicht praktikabel, aber auch nicht nötig, da die organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen, insbesondere zur langfristigen Sicherung der Pro-

jektmaßnahmen und ihrer Wirkung, in Deutschland bereits klar geregelt sind.

Bei Biotopbewertungen im Rahmen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung spielt die Bewertung von Treibhausgassenken und damit der Klimaschutzfunktion bestimmter Biotoptypen bislang keine Rolle. Das Schutzgut Klima wird in den gebräuchlichen Bewertungsansätzen lediglich dahingehend berücksichtigt, welche Rolle bestimmte Nutzungen hinsichtlich des Mikroklimas, also des unmittelbar umgebenden Temperatur- und Feuchteregimes spielen (vgl. z. B. ARGE Eingriff . Ausgleich NRW 1994, HVE RLP 1998, STADT MÜNSTER 2000). Erstmals werden in LANDESBETRIEB STRASSENBAU NRW / BOSCH & PARTNER (2012) Flächen, die als CO<sub>2</sub>-Senken fungieren, als Wertelemente mit besonderer Bedeutung für den Naturhaushalt erwähnt, allerdings ohne weitergehende Bewertungsmaßstäbe zu benennen. Gemäß dem Entwurf der Bundeskompensationsverordnung (BMUB 2013) sind für das Schutzgut Klima/Luft auch Klimaschutzfunktionen durch Treibhausgassenken zu berücksichtigen.

Die Beeinträchtigung von Natur und Landschaft durch Bauvorhaben und die daraus resultierende Fläche für die Eingriffsbewertung einschließlich der Bereitstellung von Kompensationsflächen hat angesichts der Größenordnung von neu versiegelten Arealen und daraus folgenden Kompensationsmaßnahmen erhebliche Umweltauswirkungen. Konkrete Statistiken für die Flächenbeanspruchung der Bundesrepublik Deutschland, die in Zusammenhang mit der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung zu betrachten ist, liegen nicht vor. Geht man näherungsweise bundesweit von einer derzeit durchschnittlichen Flächenversiegelung von ca. 80 ha pro Tag aus (angestrebt ist bis 2020 eine Reduzierung auf 30 ha, UBA 2014b) und nimmt man eine durchschnittliche 1 : 1 Kompensation an, so sind in Deutschland jährlich überschlägig 292 km<sup>2</sup> durch Eingriffe und äquivalent 292 km<sup>2</sup> durch Kompensationsmaßnahmen, also insgesamt 584 km<sup>2</sup> Fläche von Bewertungen oder Maßnahmen im Zusammenhang mit der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung betroffen. Dies entspricht in etwa dem 2,7-fachen der Stadtfläche Düsseldorfs oder etwa einem Viertel der 2.176 km<sup>2</sup> Landnutzungsänderungen, die 2012 in Deutschland insgesamt stattfanden (UBA 2014a). Randeffekte sind bei dieser überschlägigen Schätzung nicht berücksichtigt.

Da die Treibhausgasbilanz weder auf beeinträchtigten oder zerstörten Biotopen noch auf Kompensationsflächen berücksichtigt wird, entziehen sich Flächen in der oben grob geschätzten Größenordnung der Steuerungsmöglichkeit in Bezug auf deren Klimawirksamkeit.

Derzeit gibt es kein praktikables Bewertungsinstrument für die Klimaschutzwirkung von kleinen und komplexen naturschutzrelevanten Projekten. Die Eingriffsregelung mit ihrem detailliert definierten Maßnahmenspektrum und Bewertungsrahmen eignet sich gut, um zusätzlich zur Aufwertung der Biotoptypen die Klimawirkung zu bewerten und ggf. in die Bewertung mit einzubeziehen.

Ziel des Projekts "Optimierung von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen hinsichtlich der Treibhausgasbindung/-freisetzung und Überprüfung von Möglichkeiten zur Implementierung in Bewertungssystematiken der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung" ist die Entwicklung eines Instruments zur standortdifferenzierten Bewertung der Treibhausgasbilanzen durch ökologische Entwicklungsmaßnahmen. Der Bewertungsansatz wird auf konkrete Maßnahmen angewendet und eine Verknüpfung mit der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung wird geprüft.

### **3 Begriffsdefinitionen und grundsätzliche Erläuterungen zur Bedeutung von Landnutzungsänderungen für den Klimaschutz**

#### **3.1 Anthropogene Treibhausgase**

Direkte anthropogene Treibhausgase in den Sektoren Land- und Forstwirtschaft sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O). Daneben zählen Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Monostickstoffoxide (NO, NO<sub>2</sub>) zu den indirekten anthropogenen Treibhausgasen. In dieser Studie werden konform mit den internationalen Berichterstattungsregeln unter der Klimarahmenkonvention nur die direkten Treibhausgase CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O berücksichtigt. Methan spielt bei den meisten Kompensationsmaßnahmen und Biotoptypen keine wesentliche Rolle. Zur Vergleichbarkeit der Treibhausgaseffekte verschiedener Gase wird das Treibhauspotenzial (global warming potential) von CO<sub>2</sub> für einen Zeitrahmen von 100 Jahren als Referenz herangezogen und die Treibhausgaswirkung der anderen Treibhausgase entsprechend in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Gemäß

IPCC (2007a) hat N<sub>2</sub>O ein Treibhauspotenzial von 298. Dieser aktuell international verwendete Wert wird auch in dieser Studie verwendet.

### 3.2 **Anthropogene Treibhausgasemissionen aus Land- und Forstwirtschaft**

Laut Umweltbundesamt stellt die Energieerzeugung in Deutschland mit Abstand den größten Verursacher von Treibhausgasemissionen dar, gefolgt von der Landwirtschaft, der Industrie und der Abfallwirtschaft (UBA 2014a). Im Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ werden CO<sub>2</sub>-Emissionen und -senken durch Änderungen der Kohlenstoffvorräte berichtet. Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und der Landnutzungsänderung werden dabei kompensiert durch die Kohlenstoffsenke in der Biomasse und im Boden von Wäldern. Im Jahr 2012 lag der Anteil der landwirtschaftlichen N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen in Deutschland mit ca. 70 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bei 7,4 %, während der Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ eine kleine Netto-CO<sub>2</sub>-Senke von -3,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten war (UBA 2014a).

Zahlreiche Forschungsarbeiten quantifizieren die Klimarelevanz von forst- und landwirtschaftlichen Flächen nach groben Landnutzungskategorien bzw. haben den Einfluss des landwirtschaftlichen Managements und von Landnutzungsänderungen untersucht. Aus diesen Daten wurden die in der deutschen Treibhausgasberichterstattung verwendeten nationalen Methoden, Aktivitätsdaten und Emissionsfaktoren entwickelt. Die Ansätze folgen aber einer international vorgegebenen Logik und beziehen sich auf die nationale Ebene. Die detaillierte Differenzierung in verschiedene Managementregime innerhalb der Ökosystemtypen, wie sie bei der Eingriffsregelung relevant sind, lassen sich nicht ohne weiteres mit den nationalen Ansätzen bewerten. Wegen der großen Vielfalt von Standorteigenschaften und Managementmaßnahmen können allgemeine Ansätze nur mit großen Unsicherheiten auf konkrete Einzelmaßnahmen übertragen werden. Die meisten Kompensationsmaßnahmen beinhalten außerdem Managementveränderungen innerhalb eines Ökosystemtyps, wie Extensivierungsmaßnahmen, die mit herkömmlichen Verfahren der Emissionsberichterstattung im Rahmen von UNFCCC nicht ohne eine entsprechende methodische Anpassung abzubilden sind. Standortangepasste Verfahren sind dagegen sehr daten-

intensiv, um die lokalen Steuerfaktoren für Treibhausgase korrekt zu erfassen.

### 3.3 Rechtliche Verankerung des Klimaschutzes

Die EU hat rechtlich bindend festgelegt, dass sie ihre Emissionen bis 2020 um 30% gegenüber 1990 senken wird. Die gemeinsame Anstrengung aller Mitgliedsstaaten wird einerseits durch Beiträge des Emissionshandels geregelt, andererseits durch national differenzierte Beiträge der im Emissionshandel nicht erfassten Sektoren und Quellen (außer der Landnutzung) durch die sogenannte *Effort Sharing Decision* 406/2009/EG (EG 2009). Darin sind rechtlich bindende jährliche Emissionsobergrenzen für die EU-Mitgliedsstaaten für den Zeitraum 2013-2020 für die Sektoren außerhalb des Emissionshandels einschließlich der N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Landwirtschaft festgelegt.

Der Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ wird extra in der sogenannten LULUCF-Entscheidung 529/2013/EU (EG 2013) geregelt. Er sieht bis 2020 keine quantitativen Ziele vor, aber verpflichtet die EU-Mitgliedsstaaten, ihre nationale Berichterstattung zu verbessern und regelmäßig über Maßnahmen zum Klimaschutz in diesem Sektor zu berichten.

Deutschland hat sich darüber hinaus im Januar 2015 entschieden, einen bedeutenden Teil des Landnutzungssektors im Kyoto-Protokoll anzurechnen. Dies umfasst die Aktivitäten Aufforstung/Wiederaufforstung, Entwaldung, Waldbewirtschaftung, Ackerbewirtschaftung und Weidelandbewirtschaftung. Viele Eingriffe und naturschutzfachliche Kompensationsmaßnahmen sind damit auch für den international anerkannten Klimaschutz 2013-2020 relevant.

Im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) werden sowohl der Boden als auch das Klima als schutzwürdige Güter beschrieben. Da Böden den wichtigsten Speicher von Treibhausgasvorlaufsubstanzen darstellen, kommt ihnen hinsichtlich des Klimaschutzes eine besondere Bedeutung zu. Nichtsdestotrotz erwähnen weder das BNatSchG noch die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) die Funktion der Kohlenstoffspeicherung des Bodens. Eine Verbindung zwischen Klima und Naturschutzmaßnahmen zeigt § 1 (3) Nr. 4 des BNatSchG auf, demnach sind Luft und Klima auch durch Maßnahmen des Naturschutzes zu schützen,

zu regenerieren und zu optimieren. Um diese Vorgaben umsetzbar zu machen, sind diese zum Beispiel auf Ebene der Landschaftspläne zu berücksichtigen (§ 9 (3) BNatSchG). Konkretere Angaben, wie Klimaschutz durch naturschutzfachliche und landschaftspflegerische Entwicklungen betrieben und damit dem Klimawandel begegnet werden kann, liefert beispielsweise das Landschaftsgesetz des Landes Nordrhein-Westfalen (LG NRW). Hier wird darauf hingewiesen, dass Strukturen, die als effektive Treibhausgasenken wirken, erhalten und entwickelt werden sollen. Als Beispiel sind Wälder genannt.

Der Klimaschutz ist darüber hinaus Bestandteil u. a. des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG), des Baugesetzbuchs (BauGB) sowie von Kulturlandschaftsprogrammen (z. B. dem NRW-Programm ländlicher Raum). Die Präsenz des Themas zeichnet sich somit in unterschiedlichen Bereichen ab und reicht von allgemeinen Vorgaben des Europarechts hinunter bis auf konkrete Maßnahmen auf kommunaler und Landkreisebene in Form von Landschaftsplänen und Programmen. Allerdings wird das Schutzgut Klima in auf diesen Rechtsvorschriften basierenden Planungsinstrumenten (z. B. Umweltberichten) in der Regel lediglich auf lokalklimatischer Ebene betrachtet (z. B. Kaltluftentstehungsgebiete, Frischluftschneisen usw.). Eine Untersuchung der Treibhausgaswirkung von Vorhaben bleibt in der Regel aus.

Die UVP-Änderungsrichtlinie aus dem Jahr 2014 (RL 2014/52/EU) macht hierzu erstmals konkrete Vorgaben. So wird in der Begründung unter Nr. 13 ausgeführt:

*Der Klimawandel wird weiter Umweltschäden verursachen und die wirtschaftliche Entwicklung gefährden. Diesbezüglich ist es angezeigt, die Auswirkungen von Projekten auf das Klima (z. B. Treibhausgasemissionen) und ihre Anfälligkeit in Bezug auf den Klimawandel zu bewerten.*

Weiter wird in Anhang IV unter Pos. 5f festgelegt, dass *die Auswirkung des Projekts auf das Klima (z. B. Art und Ausmaß der Treibhausgasemissionen) und die Anfälligkeit des Projekts in Bezug auf den Klimawandel* zu beschreiben sind. Die Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht hat bis zum 16. Mai 2017 zu erfolgen. Es ist zu erwarten, dass die Einbeziehung der Auswirkungen von Projekten auf den Treibhausgaseneffekt dadurch an Bedeutung gewinnt.

Die rechtliche Verankerung des Klimaschutzes zeichnet sich darüber hinaus zum Teil recht deutlich auf Landesebene ab. In Nordrhein-

Westfalen trat 2013 das Klimaschutzgesetz NRW in Kraft. Darin ist das Ziel des Landes festgeschrieben, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 25 % und bis 2050 um 80 % zu reduzieren. Unter den Maßnahmen, die zu diesen Zielen führen sollen, finden sich jedoch ebenfalls keine Angaben zu ökologischen Treibhausgasen (Klimaschutzgesetz NRW). In den weiteren Projektländern Brandenburg und Schleswig-Holstein liegt derzeit kein Klimaschutzgesetz vor, die Einführung ist jedoch zumindest in Schleswig-Holstein geplant, was die Relevanz des Themas auf Landesebene verdeutlicht (MELUR Stand 2014).

### **3.4 Klimaschutzmaßnahmen**

Die aktuelle Förderperiode der Gemeinsamen Agrarpolitik wurde wesentlich durch Argumente des Klimaschutzes und der Anpassung an den Klimawandel motiviert, auch wenn die endgültige Umsetzung weit hinter den ursprünglichen Plänen und quantitativ wirksamen Möglichkeiten zurück bleibt (FREIBAUER et al. 2012). Maßnahmen in der zweiten Säule unter ELER- und EFRE-Programmen beinhalten explizit Klimaschutzmaßnahmen. Die konkrete Ausgestaltung der Programme obliegt den Bundesländern, die die Maßnahmen kofinanzieren. Der konkrete Start der Förderprogramme wird in den meisten Fällen für den Herbst 2015 erwartet. In vielen Fällen sind Investitionsförderungen möglich, teilweise aber auch nur zeitlich befristete Maßnahmen, deren langfristige Klimaschutzwirkung unsicher ist.

Förderprogramme wie Kulturlandschaftsprogramme der Länder und die ELER-Verordnung enthalten Maßnahmen, die zum Klimaschutz beitragen, z.B. der Schutz und Erhalt von Grünland sowie die Grünlandansaat und Extensivierungsmaßnahmen, der angepasste Einsatz von Wirtschaftsdünger (betrifft auch die Art der Ausbringung), Erstaufforstungen, die Ansaat von Zwischenfrüchten sowie längere Umtriebszeiten in Wäldern. Die Überschneidung des Maßnahmenkatalogs mit Produktionsintegrierten Kompensationsmaßnahmen (PIK) wird deutlich.

### **3.5 Systemgrenzen und Leakage-Effekt von Klimaschutzmaßnahmen**

Kommt es ganz allgemein betrachtet zu räumlichen Verlagerungen von Auswirkungen durch bestimmte Maßnahmen, spricht man vom "Leakage-Effekt". Dieser wird auch bei Treibhausgasemissionen in der Land- und Forstwirtschaft diskutiert, wobei diese Auswirkungen sowohl positi-

ver als auch negativer Art sein können. Kommt es zum Beispiel zu einer Extensivierung der Landnutzung auf einer Fläche, kann sich dies positiv auf die Treibhausgasbilanz dieser Fläche auswirken (SCHULER et al. 2014). Unterstellt man aber eine konstante landwirtschaftliche Produktion, müssen die mit der Extensivierung einhergehenden Ertragseinbußen durch Intensivierung oder Landnutzungsänderung auf einer anderen Fläche ausgeglichen werden, um auf Betriebsebene die ökonomischen Ziele zu erreichen oder global die Nachfrage nach Agrarprodukten zu decken. Diese Verlagerung kann negative ökologische Auswirkungen und neue Treibhausgase anderswo mit sich bringen (KÄTTERER et al. 2012, PLASSMANN 2012, THE ROYAL SOCIETY 2002). Bei der Umsetzung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen besteht die Gefahr, dass es ebenso zu Verlagerungseffekten kommt. Dies gilt sowohl für Treibhausgasemissionen als auch Biotop- und Artenschutzfunktionen. Diese Verlagerungseffekte sollten somit bereits bei der Maßnahmenplanung berücksichtigt und quantifiziert werden, um sie zu verhindern oder abzuschwächen (UBA 2010).

Verlagerungseffekte finden aber oft auf globaler Ebene statt und lassen sich deshalb nur schwierig nachweisen. Globale Verdrängungseffekte können die gesamte Klimabilanz zum Beispiel der Bioenergienutzung beeinflussen, wenn es als Konsequenz zur Abholzung von Wäldern kommt (FARGIONE et al. 2008, SEARCHINGER et al. 2008, FRITSCHKE et al. 2010).

Im Rahmen dieses Projektes konnten Verlagerungseffekte nicht berücksichtigt werden.

### 3.6 Klimazertifikate

Heute existiert eine Vielzahl von Klimazertifikaten auf dem sogenannten freien Markt. Prinzipiell kann hier jeder Zertifikate für Klimaschutzprojekte anbieten. Einheitliche Qualitätsstandards, die eine Bewertung und einen Vergleich der Maßnahmen ermöglichen würden, existieren nicht.

Durch den Erwerb von Klimazertifikaten sollen die Treibhausgasemissionen von Unternehmen oder Privatpersonen kompensiert werden. Der Kauf von Klimazertifikaten des regionalen Marktes kommt in der Regel Naturschutzprojekten mit hohem Treibhausgasbindungspotenzial zu Gute. Insbesondere sind hier die *MoorFutures* in Mecklenburg-

Vorpommern, Brandenburg und Schleswig-Holstein zu nennen. Die Wiedervernässung von Moorstandorten ist mit vergleichsweise hohen positiven Klimaeffekten verbunden und daher für die Herausgabe von Klimazertifikaten besonders interessant. An dieser Stelle seien zwei Beispielprojekte genannt:

#### MoorFutures Brandenburg

Anbieter: Flächenagentur Brandenburg GmbH

Projekt: Rehwiese / Fließgraben

Maßnahmen: Wiedervernässung eines Niedermooses

Fläche: 14 ha

**Bindungspotenzial: 10-15 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. / ha / Jahr**

(FLÄCHENAGENTUR BRANDENBURG GMBH Stand 2014)

#### MoorLand

Anbieter: BUND Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland

- Landesverband Bremen

Projekt: Dorumer Moor

Maßnahmen: Wiedervernässung eines Hochmooses

Fläche: 22,9 ha

**Bindungspotenzial: 5,84 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. / ha / Jahr**

(BUND LV BREMEN o.J.)

Die regionalen Klimazertifikate stecken in den Anfängen. Konkurrenzen zwischen den Klimazertifikaten und der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung sind daher nicht zu erkennen. Im Gegenteil: Die Maßnahmen, z. B. der MoorFutures, sind in der Regel auch mit positiven naturschutzfachlichen Auswirkungen verbunden (BFN 2014).

## 4 Arbeitsschritte und Methodik

Abbildung 1 stellt die wesentlichen Projektarbeitsschritte dar. Nachfolgend werden die maßgeblichen methodischen Ansätze erläutert.

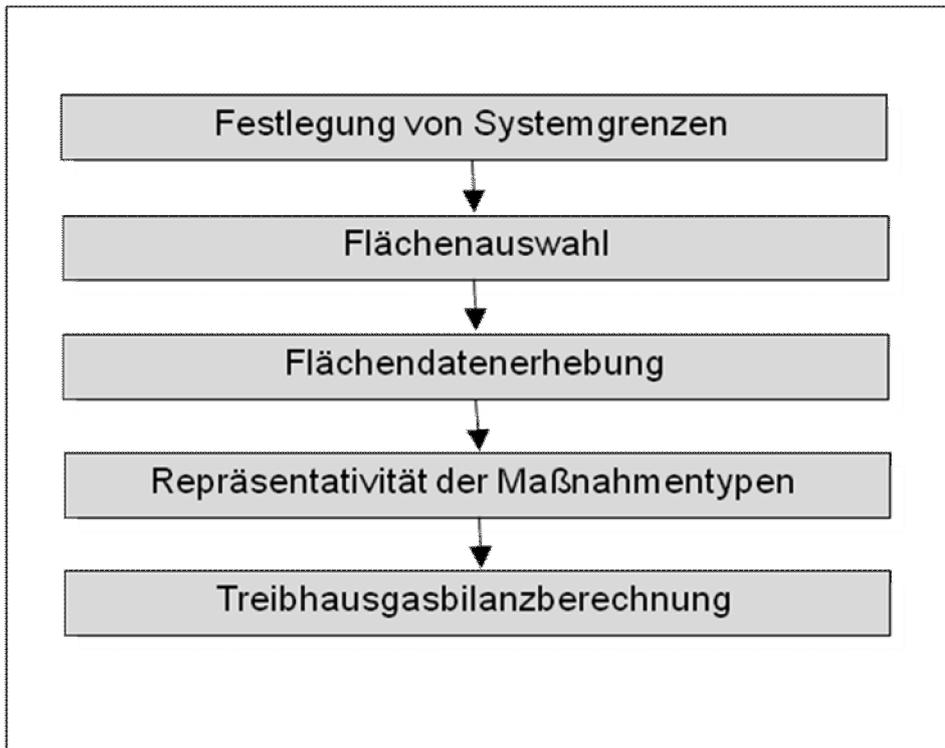


Abb. 1: Arbeitsschritte

### 4.1 Festlegung von Systemgrenzen

Die Festlegung von Systemgrenzen der im K&K-Projekt zu betrachtenden Prozesse erfolgte unmittelbar zu Projektbeginn. Insbesondere war abzuklären, ob auch Prozesse außerhalb der betrachteten Kompensationsflächen (z. B. Düngemittelherstellung, Nutzung der Ernteprodukte) mit in die Untersuchungen einbezogen werden sollen.

Betrachtet wurde die Treibhausgasbilanz der Kompensationsfläche ohne Emissionen aus vor- und nachgelagerten Prozessen (z. B. Düngemittelherstellung, Nutzung der Ernteprodukte), ohne indirekte Emissionen durch Stickstoff- oder Kohlenstoffauswaschung und ohne Leakage-Effekte. Diese Systemgrenze ist konform mit der Systemgrenze der Eingriffsregelung.

## 4.2 Biooptypenkatalog und Maßnahmentypen

Die Grundlage für die spätere Projektarbeit bildete die Zusammenstellung eines Katalogs, der zahlreiche landgebundene Biooptypen (keine Gewässer) beinhaltet. Ebenfalls von vornherein ausgeschlossen wurden Moore, da diese Sonderstandorte sind und in auf den untersuchten Beispielflächen keine Rolle spielen. Moore wurden bereits im Zuge der Konzeption des Projektantrages ausgeschlossen. Es wurden Biooptypenlisten aus den drei projektrelevanten Bundesländern gesichtet, ausgewertet und miteinander verglichen. Dabei wurden die einschlägigen Biotopwertverfahren berücksichtigt (LANUV 2008, MLUV 2009, MELUR Stand 2014). Abschließend wurde ein bundeslandspezifischer Biooptypenschlüssel als maßgeblicher projektrelevanter Schlüssel ausgewählt, der am besten zur Abbildung klimarelevanter Landnutzungsänderungen bzw. von Maßnahmentypen<sup>2</sup> geeignet ist.

Grundlageninformationen zu diesem Themenkomplex wurden über eine Literaturrecherche generiert. Diese bezog auch die Klimawirksamkeit von Landnutzungsänderungen ein.

Maßnahmentypen, die im Hinblick auf Treibhausgase bewertet werden können, müssen einen der folgenden Wirkungsmechanismen aufweisen:

1. Änderungen in der Stickstoffdüngung bzw. Wechsel von Düngung zu Leguminosen
2. Änderungen der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse
3. Änderungen der Kohlenstoffvorräte im Boden

## 4.3 Flächenauswahl

Die Auswahl geeigneter Flächen für die Klimawertberechnung stützte sich grundlegend auf den vorher erstellten Biooptypenkatalog. Darauf aufbauend wurden weitere Kriterien definiert, die bei einer möglichst repräsentativen Flächenauswahl zu berücksichtigen waren. Im Ergebnis wurden folgende Kriterien herangezogen:

- Angemessene Berücksichtigung der drei Bundesländer Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein

---

<sup>2</sup> Die Begriffe Landnutzungsänderung und Maßnahmentypen werden nachfolgend weitgehend synonym verwendet.

- Einbeziehung eines möglichst breiten Spektrums von Landnutzungsänderungen
- Berücksichtigung von repräsentativen, möglichst häufig vorkommenden Bodenverhältnissen
- Einbindung der Pflege bzw. Bewirtschaftung oder sonstigen Nutzung der Fläche (Bedeutung für die Lachgasemissionen auf landwirtschaftlichen Flächen)

Die Flächenauswahl erfolgte zweistufig. Bereits im Zuge der Antragstellung wurden Betreiber von Flächen- und Maßnahmenpools<sup>3</sup> in den drei Bundesländern kontaktiert und als Projektpartner gewonnen. Dadurch wurde eine gute Qualität der Flächendaten sichergestellt. Im Einzelnen sind dies:

#### Nordrhein-Westfalen

- Regionalverband Ruhr (RVR)
- RWW Rheinisch-Westfälische Wasserwerksgesellschaft mbH
- Stadtwerke Duisburg AG

In Nordrhein-Westfalen konnte zudem die EmscherGenossenschaft gewonnen werden, die ein Interesse an der Bewertung von Klimawirkungen des Emscherumbaus hat.

#### Schleswig-Holstein

- Ausgleichsagentur Schleswig-Holstein GmbH

#### Brandenburg

- Flächenagentur Brandenburg GmbH

Im zweiten Schritt wurden innerhalb der Flächen- und Maßnahmenpools geeignete Projektflächen unter Beachtung der in Kap. 4.4 beschriebenen Kriterien ausgewählt.

Insgesamt wurden so zunächst rund 200 Einzelflächen geprüft, sodass eine grundsätzliche Vorauswahl getroffen werden konnte, die in einem weiteren Schritt durch die Erhebung der Bodendaten konkretisiert wur-

---

<sup>3</sup> Die Begriffe „Flächen- und Maßnahmenpools“ und „Ökopools“ werden im vorliegenden Bericht synonym verwendet.

de. Dadurch ergab sich eine Reduzierung der zu betrachtenden Flächen auf 93 mit einer Fläche von ca. 26,8 ha.

Weitere Eingrenzungen ergaben sich aufgrund von Erkenntnissen, die im Zuge der Ortsbegehungen gewonnen wurden. Hierdurch konnten die vorausgewählten Flächen für das Projekt verifiziert oder falsifiziert werden, wenn die Kriterien nicht den Anforderungen entsprachen, sodass es zu einer erneuten Reduktion der einzubeziehenden Flächen kam.

Nach der konkretisierten Auswahl wurden die Flächen und Maßnahmen untereinander hinsichtlich Biotoptyp, Bodentyp und Größe abgeglichen. Durch eine Gegenüberstellung von berücksichtigten Landnutzungsänderungen zeigten sich einige Defizite, sodass sich Potenzial für die Einbeziehung weiterer Flächen ergab. Diese wurden in Abstimmung mit den Projektpartnern gesucht und bei Eignung in den Datenpool aufgenommen. Hierbei ergab sich zudem die Möglichkeit, zusätzliche Referenzflächen aufzunehmen, die teilweise nicht im ökologischen Sinn entwickelt sind. Beispiele für solche Referenzflächen sind Intensiväcker, Intensivwiesen und -weiden sowie alte Waldbestände. Sie dienten später zum Vergleich der Ergebnisse mit den ökologisch entwickelten Flächen.

#### **4.4 Flächendatenerhebung**

Für eine möglichst genaue Klimawertberechnung ist eine Vielzahl an Daten erforderlich. Je umfangreicher und flächenspezifischer das Datenmaterial ist, desto akkurater und präziser kann das spätere Ergebnis ausfallen. Hierbei spielen neben abiotischen und biotischen Standortigenschaften besonders die Daten zur Landnutzung eine Rolle. Dies trifft vor allem auf die landwirtschaftlichen Flächen zu. Dementsprechend sind für diese mehr Daten zu berücksichtigen als zum Beispiel für Aufforstungsflächen

Folgende Daten wurden für die Treibhausgasbilanz in Abhängigkeit des Biotoptyps und der Pflege bzw. Bewirtschaftung erhoben:

Daten	Art der Erhebung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zielbiotoptyp</li> <li>• Ausgangsbiotoptyp</li> <li>• Größe</li> <li>• Lage, Ort (Koordinaten)</li> <li>• Artenzusammensetzung</li> </ul>	Auswertung von Planungsunterlagen von Poolbetreibern, Ortsbegehung sämtlicher Beispielflächen, Fotodokumentation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landnutzungsgeschichte</li> <li>• Umwandlungsjahr/Bestandsalter</li> </ul>	Auswertung von Planungsunterlagen von Poolbetreibern, Befragung von Pächtern/Bewirtschaftern
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlerer Jahresniederschlag</li> <li>• Jahresdurchschnittstemperatur</li> </ul>	Angaben vom Wetterdienst <i>weatherbase</i> (CANTY AND ASSOCIATES 2014)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodentyp</li> <li>• Bodenart</li> <li>• Boden pH-Wert</li> <li>• Korngrößenverteilung</li> <li>• Humus (C-Gehalt)</li> </ul>	Auswertung der einschlägigen Bodenkarten der Länder, Maßstab 1 : 50.000
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düngung</li> <li>• Kalkung</li> <li>• Bodenbearbeitung</li> <li>• Kulturart(en)</li> <li>• Zwischenfruchtanbau</li> <li>• Ernteresteabfuhr</li> <li>• Saatverfahren</li> <li>• Mahdintervall</li> <li>• Bewässerung</li> <li>• Drainage</li> </ul>	Erstellung/Nutzung eines Fragebogens, Befragung von Pächtern/Bewirtschaftern

Tab. 1: Berücksichtigte Daten und Art der Erhebung

Grundlegende Flächeninformationen wie Ausgangs-/Zielzustand und Größe konnten jeweils den Maßnahmenblättern und -plänen der Poolbetreiber entnommen oder von den Grundbesitzern abgefragt werden. Auch hinsichtlich der Pflege von Gehölzbiotopen lagen erforderliche Angaben in nahezu allen Fällen vor, womit ein Großteil der Daten für diese Biotoptypen bereits abgedeckt war.

Die Bodendaten konnten für die Flächen in Nordrhein-Westfalen überwiegend mittels der webbasierten Bodenkarte 1 : 50.000 des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen gewonnen werden. Darüber hinaus wurden vereinzelt auch analoge Karten genutzt. In Brandenburg kam das digitale Fachinformationssystem Boden des Landesamts für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg zum Einsatz, womit ebenfalls alle relevanten Bodendaten der jeweiligen Flächen festgestellt werden konnten (Maßstab 1 : 25.000, LBGRB o.J.). In Schleswig-Holstein wurden sämtliche Bodendaten vom Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume zur Verfügung gestellt (BK 25, LLUR 2014).

Die Flächengrößen wurden im Rahmen der Digitalisierung weiterhin auf Richtigkeit überprüft und gegebenenfalls angepasst. Zudem konnten durch die Begehungen Daten zu Ausgangs- und Zielzuständen aktualisiert und auf den neuesten Stand gebracht werden.

Neben der Feststellung der Bodendaten kam der weitaus größte Arbeitsanteil der Erhebung von Nutzungs- und Bewirtschaftungsinformationen zu, insbesondere für landwirtschaftliche Flächen. Diese wurden in Nordrhein-Westfalen vorwiegend über Befragungen der Pächter erhoben, während in Brandenburg und Schleswig-Holstein Informationen der jeweils eingebundenen Flächenagenturen genutzt werden konnten. Zur Datenerhebung wurde der landwirtschaftliche Betriebsfragebogen des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz aus der nationalen Bodenzustandserhebung Landwirtschaft als Vorlage für die Entwicklung eines projektbezogenen Fragenkatalogs verwendet (s. Anhang 4). Auf insgesamt 14 Seiten beinhaltet der Betriebsfragebogen Fragen zu folgenden Themenkomplexen:

- grundlegenden Flächendaten (z. B. Flächengröße)
- Kulturarten
- Erträge
- Ernteresteabfuhr
- Zwischenfrüchte
- Grünlandnutzung
- Mahdintervalle
- Kalkung
- Bodenbearbeitung
- Saatverfahren
- differenzierte Düngung

- meliorative Maßnahmen
- Landnutzungsgeschichte
- Maschineneinsatz
- Angaben aus amtlichen Bodenuntersuchungen

Um in NRW einen reibungslosen Ablauf der Datenerhebung mit den Pächtern zu gewährleisten, fanden einige Probebefragungen statt, wodurch Einzelheiten des Betriebsfragebogens weiter angepasst werden konnten. Die jeweiligen Pächter der Flächen wurden kontaktiert und ihre Teilnahmebereitschaft erfragt. In den meisten Fällen standen sie dem Projekt und der Befragung bzw. dem Ausfüllen des Betriebsfragebogens positiv gegenüber und zeigten sich interessiert. Soweit wie möglich wurde ihnen der Fragebogen vorab in digitaler Form zugesendet, sodass die erforderlichen Unterlagen vorbereitet bzw. gesichtet werden konnten. Insgesamt konnten die meisten Fragen beantwortet werden. Außerdem konnten durch die persönliche Befragung weitere Referenzflächen für das Projekt gewonnen werden. Die Daten wurden direkt vor Ort mit aufgenommen.

In einigen Fällen konnten jedoch in Nordrhein-Westfalen aus unterschiedlichen Gründen keine Pächter befragt werden, zum Teil gab es datenschutzrechtliche Bedenken, zum Teil lagen Informationen zur Historie der Flächen nicht mehr vor. Dies war besonders bei Ackerflächen problematisch, da Bewirtschaftungseinflüsse auf den Bodenkohlenstoff und N<sub>2</sub>O-Emissionen bewertet werden sollten. Sofern keine Befragung der Pächter erfolgen konnte, fand eine Luftbildauswertung anhand von älteren digitalen Orthofotos statt, um Informationen über die ehemalige Nutzung zu erhalten. Diese Informationen konnten den Mindestbedarf an Daten für die Treibhausgasbilanzberechnung decken, sodass auch in diesen Fällen ausreichend Flächendaten vorlagen.

Neben diesen umfangreichen Erhebungen mussten weiterhin lokale Klimadaten der Flächen ermittelt werden. Für die Klimainformationen wurde das Internetangebot "weatherbase" (CANTY AND ASSOCIATES, Stand 2014) herangezogen, in dem 169 Messstellen in Deutschland verzeichnet sind. Von der jeweils nächstgelegenen Klimamessstation wurden der mittlere Jahresniederschlag sowie die Jahresdurchschnittstemperatur eingeholt.

Die Flächendaten wurden mittels ArcGIS kartografisch aufbereitet. Dabei wurden im Wesentlichen die von den Poolbetreibern zur Verfügung gestellten Daten genutzt.

Zur Visualisierung der räumlichen Daten wurde für jede Beispielfläche eine Detailkarte erstellt (vgl. Anhang 3, nur elektronische Fassung). Um großräumige Zusammenhänge abzubilden, wurden ergänzend Übersichtskarten angefertigt (vgl. Anhang 3). Die Grundlage bildete in Brandenburg und Schleswig-Holstein die Deutsche Topographische Karte (DTK 25) und in Nordrhein-Westfalen die Deutsche Grundkarte (DGK 5).

#### **4.5 Repräsentativität der betrachteten Maßnahmentypen**

Nach Auswahl der Beispielflächen und der auszuwertenden Landnutzungsänderungen wurde die Repräsentativität der Maßnahmenpakete geprüft. In diesem Verfahrensschritt wurde untersucht, inwieweit die im Rahmen des Projektes betrachteten Landnutzungsänderungen mit dem Spektrum von durchgeführten Kompensationsmaßnahmen in den jeweiligen Bundesländern übereinstimmen.

In einem ersten Schritt wurden dazu die Projektflächen betrachtet. Für diese wurden die ausgewählten Maßnahmenpakete nach ihrer Häufigkeit und ihren flächenmäßigen Anteilen ausgewertet. Anschließend folgten Datenerhebungen und Auswertungen von Kompensationsmaßnahmen unterschiedlicher Träger in den drei Bundesländern, sodass letztendlich Gegenüberstellungen und Vergleiche der Repräsentativität möglich waren.

Folgende Maßnahmenträger stellten Datenmaterial für statistische Auswertungen zur Prüfung der Repräsentativität der Projektflächen zur Verfügung:

##### Brandenburg

- Flächenagentur Brandenburg GmbH
- GASCADE Gastransport GmbH

#### Nordrhein-Westfalen

- Stadt Gelsenkirchen
- Stadt Köln
- Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen
- Landkreis Olpe
- Landkreis Soest
- Landkreis Wesel

#### Schleswig-Holstein

- Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

In Nordrhein-Westfalen liegen zum Teil gut differenzierte Daten mit Angaben zu Flächengrößen und den Anzahlen der umgesetzten Einzelmaßnahmen vor. Für Brandenburg und Schleswig-Holstein waren dagegen lediglich Daten zu umgesetzten Einzelmaßnahmen verfügbar. Angaben zu Flächengrößen fehlten hier. Daher wurden bei der vergleichenden Bewertung lediglich die Anzahlen der umgesetzten Einzelmaßnahmen berücksichtigt. Dadurch erscheint zumindest eine hinreichend genaue Überprüfung möglich zu sein, in welchem Umfang die im Rahmen des Projektes betrachteten Entwicklungsmaßnahmen die üblicherweise durchgeführten Kompensationsmaßnahmen repräsentieren. Wie die Auswertungen der im Projekt untersuchten Beispielflächen zeigen, führt die Betrachtung der Flächengrößen umgesetzter Kompensationsmaßnahmen jedoch durchaus zu anderen Gewichtungen als die Betrachtung der Anzahlen (vgl. Kap. 5.4).

## **4.6 Treibhausgasbilanzberechnung**

### **4.6.1 Arbeitsschritte**

Die Treibhausgasbilanz der naturschutzrechtlichen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen ergibt sich aus den Veränderungen der mittleren Kohlenstoffvorräte in der ober- und unterirdischen Biomasse, den Veränderungen der Kohlenstoffvorräte im Boden und den Veränderungen der Lachgasflüsse ( $N_2O$ ) aus Böden durch geänderte Düngung oder Landnutzung.

Die Bewertung der Biotoptypen erfolgte in drei Detailgraden (1-3) mit zunehmender Standortspezifizierung. Hierdurch konnten die Biotoptypen gleichzeitig mit nationalen Mittelwerten bewertet werden und durch flä-

chenbewirtschaftungsspezifische Angaben konkrete durchgeführte Maßnahmen bewertet werden. Bei fehlenden Daten erfolgte die Bewertung auf Grundlage der nächsthöheren Detailgradstufe.

Detailgrad 1: Nationale Mittelwerte, Berechnung auf Grundlage von nationalen Statistiken

Detailgrad 2: Regionaler Mittelwert, Berechnung auf Grundlage von Boden- und klimaspezifischen Mittelwerten

Detailgrad 3: Standortspezifischer Ansatz, Berechnung erfolgt flächenbewirtschaftungsspezifisch für einzelne Kompensationsflächen

Aus den Kohlenstoffvorräten der Biomasse und des Bodens wird der gesamte Kohlenstoffvorrat des entsprechenden Biotoptyps berechnet. Im Vergleich des Ausgangsbioptyps mit dem Zielbiotoptyp ließen sich die Veränderung der Kohlenstoffvorräte berechnen. Kombiniert mit den Veränderungen der N<sub>2</sub>O-Flüsse ergab sich daraus umgerechnet in CO<sub>2</sub>-Äquivalente der Effekt der gesamten Treibhausgasflüsse - die Treibhausgasbilanz. Positive Werte zeigen eine vergrößerte Kohlenstoffspeicherleistung des Zielbiotoptyps im Vergleich zum Ausgangsbioptyp, während negative Werte auf Kohlenstoffverluste durch die Umsetzung der Kompensationsmaßnahmen hindeuten. Die Treibhausgasbilanz spezifischer umgesetzter Maßnahmen mit Detailgrad 3 erfolgt dann durch Multiplikation der Gesamtreibhausgasbilanz pro Hektar dieser Maßnahme mit der Flächengröße. Als Ergebnis erhält man den Wert für die Treibhausgasbilanz dieser speziellen Maßnahme nach einer Dauer von 20 Jahren in Mg CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Alle Modelle und Werte wurden in einer Access Datenbank zur Berechnung hinterlegt. Lediglich die flächenspezifische N<sub>2</sub>O Berechnung erfolgte mittels eines separaten Modells. Über Eingabeformulare wurden alle relevanten, benötigten flächenspezifischen Angaben inklusive Ausgangs- und Zielzustand in die Access Datenbank eingeben und so für die Berechnung bereitgestellt.

#### 4.6.2 Daten und Methoden

Bewertet wurden ausgewählte Biotoptypen mit ihren spezifischen Bewirtschaftungs- und Pflegemaßnahmen, die in einem Maßnahmenkatalog, aufbauend auf der Numerischen Bewertung von Biotoptypen für die

Eingriffsregelung in NRW, zusammengestellt wurden. Grundlage der Bewertung bildet eine umfassende Literatur- und Datenrecherche sowie eine Zusammenstellung der am Thünen-Institut vorliegenden Daten und Methoden für die nationale Treibhausgasberichterstattung. Das Thünen-Institut berechnet jährlich die Treibhausgase aus den Sektoren Landwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft für das nationale Treibhausgasinventar gemäß der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll (HAENEL et al. 2012, UBA 2014a).

#### **4.6.2.1 Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse**

Die Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse wird auf der Basis der jährlichen mittleren Biomasse berechnet. Dies erfolgt getrennt für holzige (perenne) und krautige (annuelle) Biomasse. Die krautige Biomasse ergibt sich als zeitlich gemittelter Durchschnitt der Biomasse im Jahresverlauf. Die verwendeten nationalen Mittelwerte für Kohlenstoffvorräte in der Biomasse von Grünland, Gehölzen, Wald und Acker wurden dem Nationalen Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar entnommen (FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY 2013). Für eine flächenspezifische Bewertung wurden zur Berechnung des Kohlenstoffs in der ober- und unterirdischen Biomasse Erträge von Acker und Grünland als Berechnungsgrundlage herangezogen (VOIGTLÄNDER AND JACOB 1987, WERTH, BRAUCKMANN et al. 2005, KTBL 2009, SCHREIBER, BRAUCKMANN et al. 2009, BRIEMLE 2014, STATISTISCHES BUNDESAMT 2014). Ein besonderer Fokus lag dabei auf Grünland mit unterschiedlichem Management (verringertes Mahdrhythmus, Düngung, Beweidungsintensitäten, Brache) sowie auf Saum-, Ruderal- und Hochstaudenfluren, da diese Managementmaßnahmen und Biotoptypen in den national verwendeten Verfahren nicht verwendet werden. Für die flächenspezifische Bewertung werden die angegebenen Erträge der einzelnen Flächen herangezogen. Zur Berechnung der Biomasse von Grünland wurde dabei insbesondere Wert auf die Biomasseentwicklung innerhalb eines Jahres und damit verbundenen Mahdzeitpunkten gelegt. Die Grafik von ELLENBERG (1996) diente dabei maßgeblich als Orientierung und Grundlage für die Berechnung (vgl. Abb. 2). Zur Berechnung der Grünlandbiomasse wurde für das Modell für den Zuwachs der Biomasse ein linearer Anstieg angenommen.

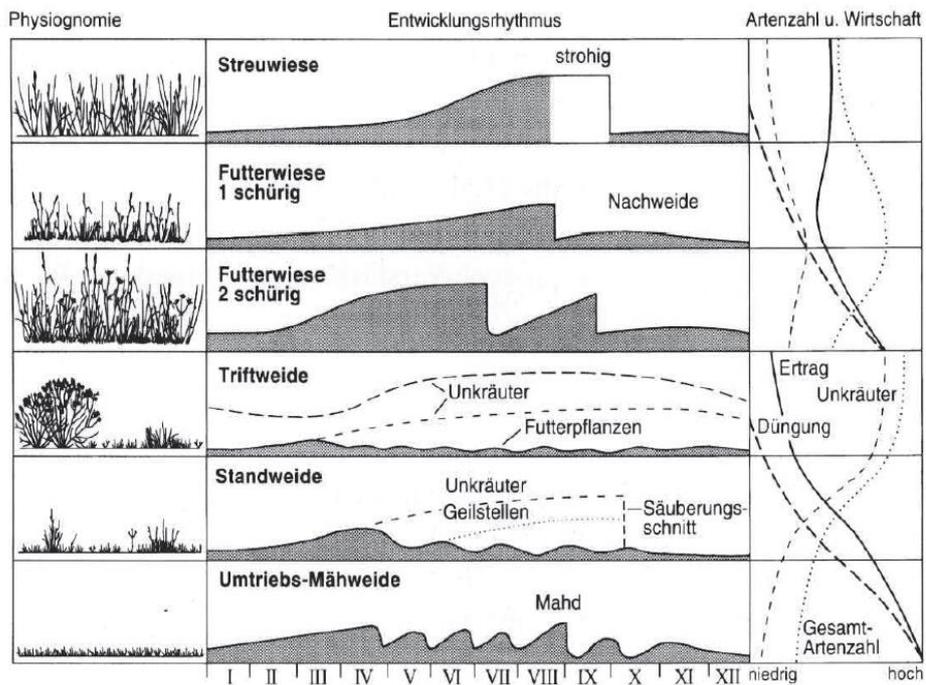


Abb. 2: Bewirtschaftungsformen von Grünland nach ELLENBERG (1996)

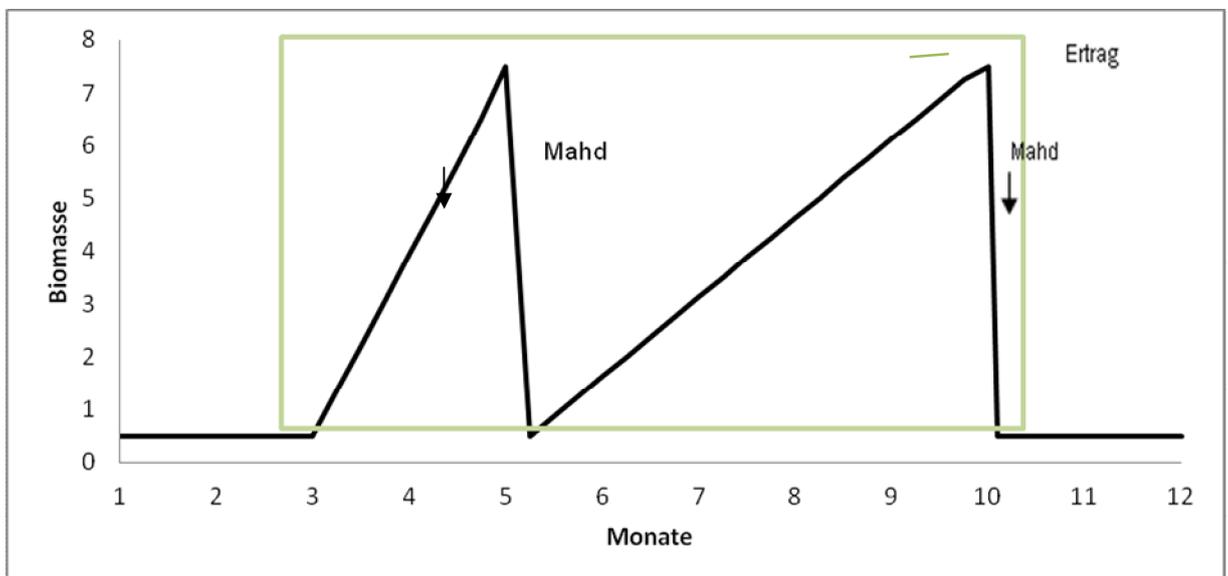


Abb. 3: Schematische Darstellung des Biomasseaufwuchses und Mahdrhythmus für intensiv genutzte Wiesen im Jahresverlauf

$$B_{\text{Jahr}} = (B_U + B_B) + \frac{2}{12} * \frac{B_W}{2} + \frac{5}{12} * \frac{B_W}{2}$$

$$\frac{2}{12} * \frac{B_W}{2} = \text{Aufwuchs bis zum 1. Schnitt, 2 Monate}$$

$$\frac{5}{12} * \frac{B_W}{2} = \text{Aufwuchs 2. Schnitt, 5 Monate}$$

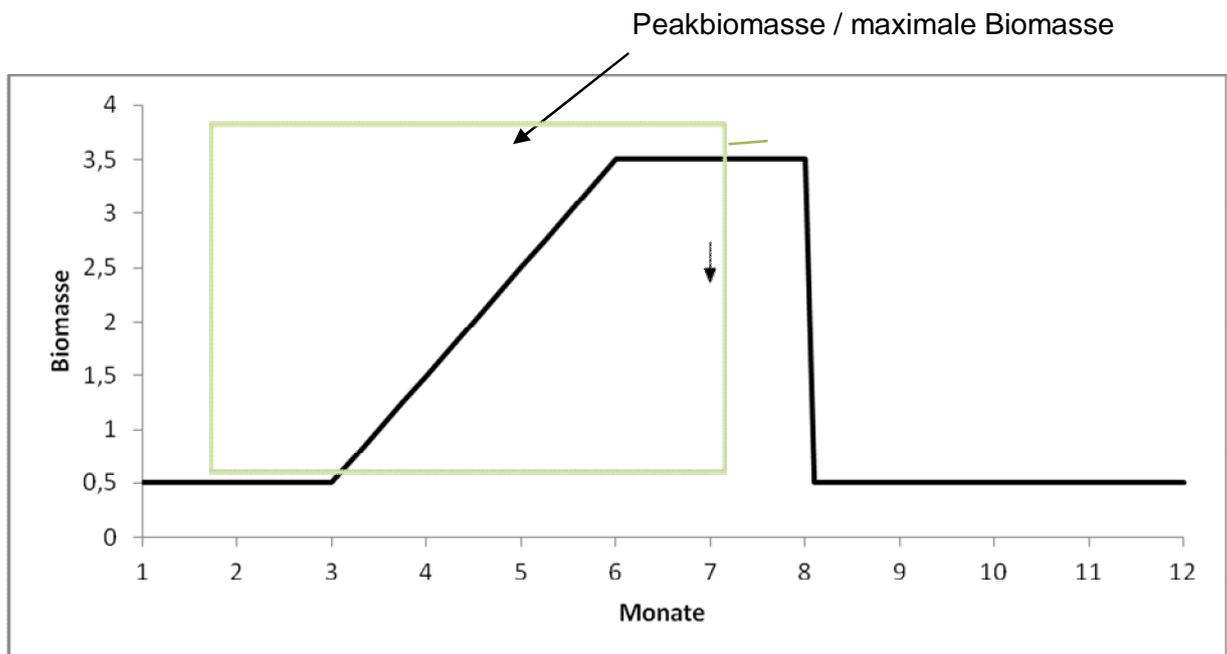


Abb. 4: Schematische Darstellung des Biomasseaufwuchses und Mahdrhythmus für extensiv genutzte Wiesen im Jahresverlauf

$$B_{\text{Jahr}} = B_U + B_B + \frac{3}{12} * \left(\frac{B_W}{2}\right) + \frac{2}{12} * (B_W)$$

$$\frac{2}{12} * (B_W) = C \text{ in stehender Biomasse, bleibt 2 Monate stehen}$$

$$B_{\text{Jahr}} = C \text{ in Gesamtbiomasse}$$

$$B_U = C \text{ maximale Unterirdische Biomasse}$$

$$B_B = \text{Basisbiomasse (Annahme = 0,5 t)}$$

$$B_W = \text{Aufwuchsbioasse (maximale oberirdische Biomasse - Basisbiomasse)}$$

Die Kohlenstoffvorräte der ober- und unterirdischen Biomasse werden, sofern sie nicht wie bei Detailgrad 1 (Erläuterung der Detailgrade siehe Kap. 4.6) aus dem nationalen Treibhausgasinventar stammen, aus Er-

trägen abgeleitet. Für die Berechnung der Ebene mit Detailgrad 2 wurden national bzw. regional typische Angaben zur Biomasse bzw. Erträgen recherchiert und bei Detailgrad 3 standortspezifische Angaben bei den Flächenbewirtschaftern abgefragt. Als Erträge für Grünland wurden entweder Faustzahlen für verschiedene Grünlandtypen (KTBL 2009) oder Daten der Betriebsfragebögen genutzt, da flächenspezifische Erträge auch durch die Landwirte nicht erfasst wurden und deshalb nicht bekannt sind. Erträge für Grünland und Acker wurden nach HAENEL, RÖSEMANN et al. (2012) in maximale ober- und unterirdische Biomasse umgerechnet und für Grünland mittels eines eigens entwickelten Modells (siehe oben), das den Mahdrhythmus mit einbezieht, in die jährliche mittlere ober- und unterirdische Biomasse umgerechnet. Bei Ackerflächen wurden die Modelle für Winter- und Sommergetreide angewendet. Sofern die Kulturart nicht genauer angegeben wurde, wurde das Modell für Wintergetreide verwendet.

Wintergetreide

$$B_{\text{Jahr}} = 5 * 1t + \frac{5}{12} * \left( \frac{1}{2} * B_P \right) + 2 * 0$$

$5 * 1t = C$  in Biomasse, die über den Winter (5 Monate) auf dem Acker steht

$\frac{5}{12} * \left( \frac{1}{2} * B_P \right) = C$  in aufwachsender Biomasse, 5 Monate

$2 * 0 = C$  in Biomasse des Zeitraums zwischen Ernte und Neueinsatz

Sommergetreide

$$B_{\text{Jahr}} = 7 * 0 + \frac{5}{12} * \left( \frac{1}{2} * B_P \right)$$

$B_P =$  Maximale ober- und unterirdische Biomasse

Analog zum Nationalen Inventarbericht wurde für die Berechnung von Kohlenstoffvorräten in der Biomasse ein durchschnittlicher Kohlenstoffgehalt von 45 Gewichtsprozent der Trockenmasse angenommen.

Bei der Berechnung des Zielzustands wurde in Anlehnung an die Dauer von Kompensationsmaßnahmen und den erhöhten Unsicherheiten bei Langzeitberechnungen ein Zeitrahmen von 20 Jahren angenommen. Die Daten und Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse im Ausgangszustand vor der Kompensationsmaßnahme zeigt Abb. 5, die für den Zielzustand Abb. 6.

### C in ober- und unterirdischer pflanzlicher Biomasse - Ausgangszustand

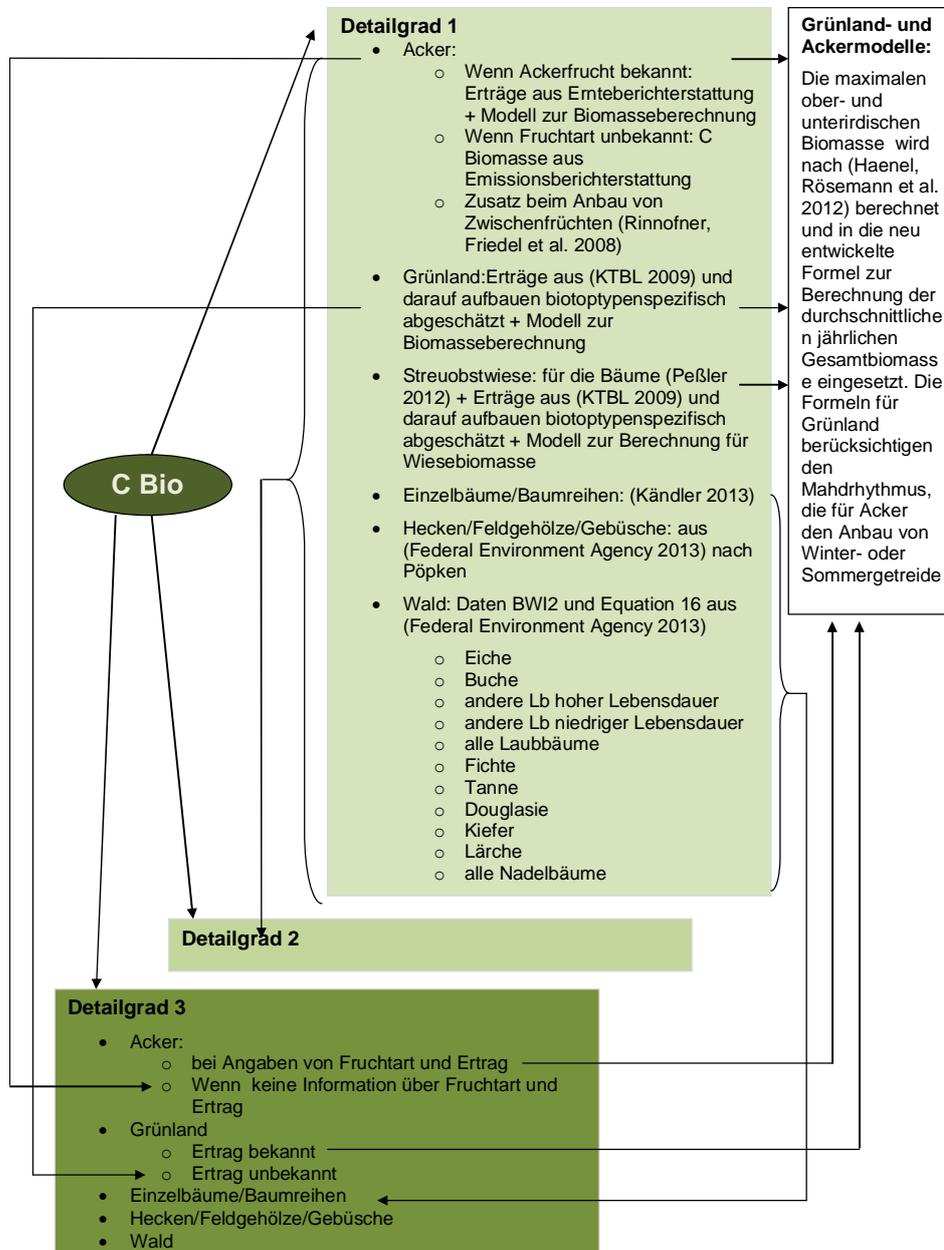


Abb. 5: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse im Ausgangszustand in drei Detailgraden

### C in ober- und unterirdischer pflanzlicher Biomasse - Zielzustand

**Detailgrad 1 / 2 / 3**

- Grünland:
  - Wenn Ausgang Acker:
    - Erträge bekannt: Modelle zur Berechnung
    - Erträge unbekannt: Erträge aus (KTBL 2009) und darauf aufbauen biotypenspezifisch abgeschätzt + Modelle zur Biomasseberechnung
  - Wenn Ausgang Grünland:
    - Zielbiotypen ED, DC oder keine Düngung, Ertrag des Ausgangszustands wird in Extensivierungsformel eingesetzt zur Berechnung des Ertragsrückgangs, anschließend Berechnung mit Grünlandmodellen
- Wald: (Paul, Weber et al. 2009) Studie speziell für Aufforstungsflächen
  - Eiche
  - Buche
  - andere Lb hoher Lebensdauer
  - andere Lb niedriger Lebensdauer
  - alle Laubbäume
  - Fichte
  - Tanne
  - Douglasie
  - Kiefer
  - Lärche
  - alle Nadelbäume
- Streuobstwiese
- Einzelbäume/Baumreihen
- Hecken/Feldgehölze/Gebüsche
- Acker
- Intensivgrünland

} Berechnung wie Ausgangszustand

Abb. 6: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse im Zielzustand in drei Detailgraden

#### 4.6.2.2 Kohlenstoffspeicherung in Mineralböden

Die Daten und Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte in Mineralböden im Ausgangszustand vor der Kompensationsmaßnahme zeigt Abb. 7, die für den Zielzustand Abb. 8.

### C im Boden Ausgangszustand

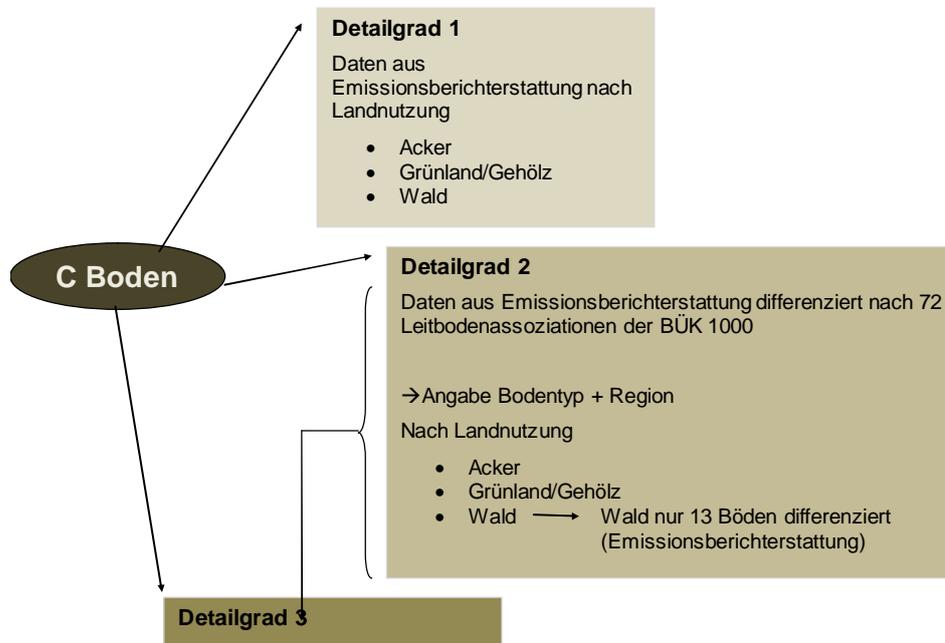
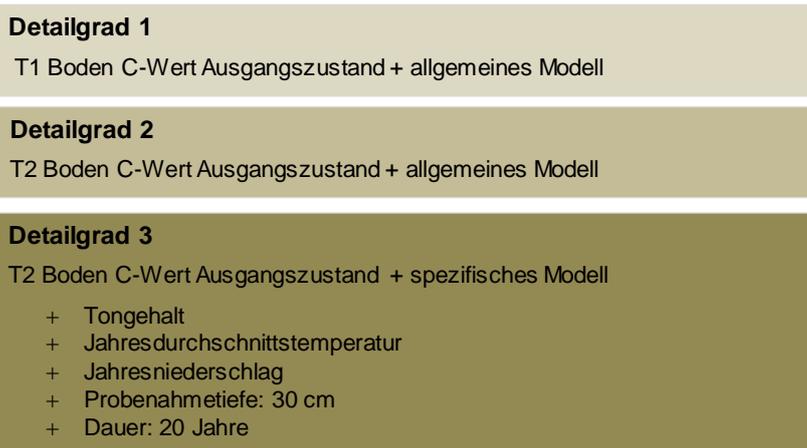


Abb. 7: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Boden Ausgangszustand in drei Detailgraden

### Berechnung C im Zielzustand

Berechnung nach (Poepflau, Don et al. 2011) mit allgemeinem und spezifischen LUC Modell



Annahme: Gehölze  $\cong$  Grünland

Abb. 8: Verfahren zur Berechnung der Kohlenstoffvorräte im Boden im Zielzustand in drei Detailgraden

Die in der Bewertung verwendeten nationalen Mittelwerte für Kohlenstoffvorräte im Boden von Grünland, Gehölzen, Wald und Acker entstammen den Daten der nationalen Treibhausgasberichterstattung. Für regionale und flächenspezifische Bewertungen von Grünland- und Ackerböden ergeben sich die Bodenkohlenstoffvorräte aus 72 Leitbodenassoziationen, die der Bodenübersichtskarte BÜK 1000 entnommen sind. Darin sind die Leitbodenassoziationen und Ausgangsgesteine der Bodenbildung nach deutscher Bodensystematik und FAO-Legende beschrieben. Unter Angabe des Bodentyps lässt sich somit ein durchschnittlicher Wert für den Bodenkohlenstoff für eine bestimmte Fläche oder Region näherungsweise ermitteln. Die regionsspezifischen Werte für Waldböden wurden dem Nationalen Inventarbericht entnommen. Dort werden nach Substrattyp, Bodenart und Kalkgehalt 16 Leitbodentypen unterschieden. Bei der Berechnung des Zielzustands wurde in Anlehnung an die Dauer von Kompensationsmaßnahmen und den erhöhten Unsicherheiten bei Langzeitberechnungen ein Zeitrahmen von 20 Jahren angenommen. Zusätzlich wurden diese Werte mit bewirtschaftungsspezifischen Veränderungen kombiniert.

Für die Auswirkungen von veränderten Bewirtschaftungs- und Pflegemaßnahmen im Acker (z. B. Anbau von Zwischenfrüchten, vielfältige Fruchtfolge, reduziertes Pflügen) auf den Gehalt an Kohlenstoff im Boden wurden Literaturangaben herangezogen (GAISER, ABDEL-RAZEK et al. 2009, DON 2013, POEPLAU, DON 2015).

Bei Landnutzungsänderungen wurden die Kohlenstoffvorräte des Zielzustands mit Hilfe von Modellen, die die zeitliche Dynamik der Kohlenstoffvorräte nach Landnutzungswandel beschreiben, berechnet (POEPLAU et al. 2011). Diese Modelle sind spezifisch für die Landnutzungsänderungsart und basieren auf einer umfangreichen Metaanalyse zum Einfluss von Landnutzungsänderungen auf die Bodenkohlenstoffvorräte.

Für die Abschätzung von Managementveränderungen innerhalb von Grünland (z.B. Grünlandextensivierung) lag kein publiziertes Modell vor. Daraufhin wurde vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz eine intensive Literaturrecherche durchgeführt mit dem Ziel, alle publizierten Studien zum Einfluss von Bewirtschaftungsintensität von Grünland auf Bodenkohlenstoffvorräte für die temperate Zone zusammen zu stellen. Insgesamt erfüllten 31 Publikationen die gesetzten Qualitätskriterien. Diese

umfassten unterschiedliche Standorte, unterschiedliche Zeitperioden seit der Nutzungsänderung und unterschiedliche Nutzungsintensitäten.

Die Auswertung der Literatur zeigte aber keinen eindeutigen Effekt von Nutzungsänderungen und dem Zeitraum seit Nutzungsänderung. Einige Studien fanden erhöhte Kohlenstoffvorräte bei extensiverem Grünland im Vergleich zu intensiverer Grünlandnutzung, andere fanden das Gegenteil. Die Variabilität zwischen den unterschiedlichen Standorten scheint größer zu sein als zwischen den verschiedenen Managementausprägungen. Bei Managementwandel ohne Landnutzungsveränderungen wurde daher im Grünland angenommen, dass sich der Bodenkohlenstoff nicht verändert.

#### 4.6.2.3 N<sub>2</sub>O Flüsse

N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Böden wurden in Abhängigkeit von der Landnutzung, Düngung und den Standorteigenschaften berechnet. Die N<sub>2</sub>O-Emissionen wurden mittels eines Modells basierend auf der Landnutzung und der Düngermenge in kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> ermittelt (DECHOW, FREIBAUER, 2011). Der Detailgrad richtete sich nach der Genauigkeit und räumlichen Schärfe der Eingangsdaten ins Modell. Zur Schätzung der Düngemengen wurden Verkaufsstatistiken von Düngemitteln sowie Düngeempfehlungen recherchiert (STATISTISCHES BUNDESAMT 2011, LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN 2012, STATISTISCHES BUNDESAMT 2013). Für Detailgrad 1 wurden deutschlandweite Mittelwerte der N<sub>2</sub>O-Emissionen für die Landnutzungen Acker (Getreide und Hackfrüchte), Ackerbrache, Grünland, sowie andere Landnutzungen berechnet. Im Detailgrad 2 wurden die N<sub>2</sub>O-Flüsse mit landkreisspezifischen Werten berechnet. Für die flächenspezifische Bewertung im Detailgrad 3 wurde das auf Fuzzylogik basierende Model von DECHOW räumlich explizit verwendet. Neben der Angabe der N-Zufuhr über die Düngung in kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> wurden die Angaben zur Bodentextur (Sandgehalt in Masse %), die Fruchtartenkategorie (Getreide, Ackerbrache, Hackfrüchte, Gemüse und Sonstige), Niederschlags- und Temperaturdaten, sowie der pH-Wert bei Grünland als Eingangsdaten verwendet. Wenn die genaue Angabe zur Düngermenge fehlte, wurde auf die landkreisspezifischen Mittelwerte der Düngungsmenge zurückgegriffen. Fehlende pH-Werte wurden der BÜK entnommen.

Die Daten und Verfahren zur Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen zeigt Abb. 9.

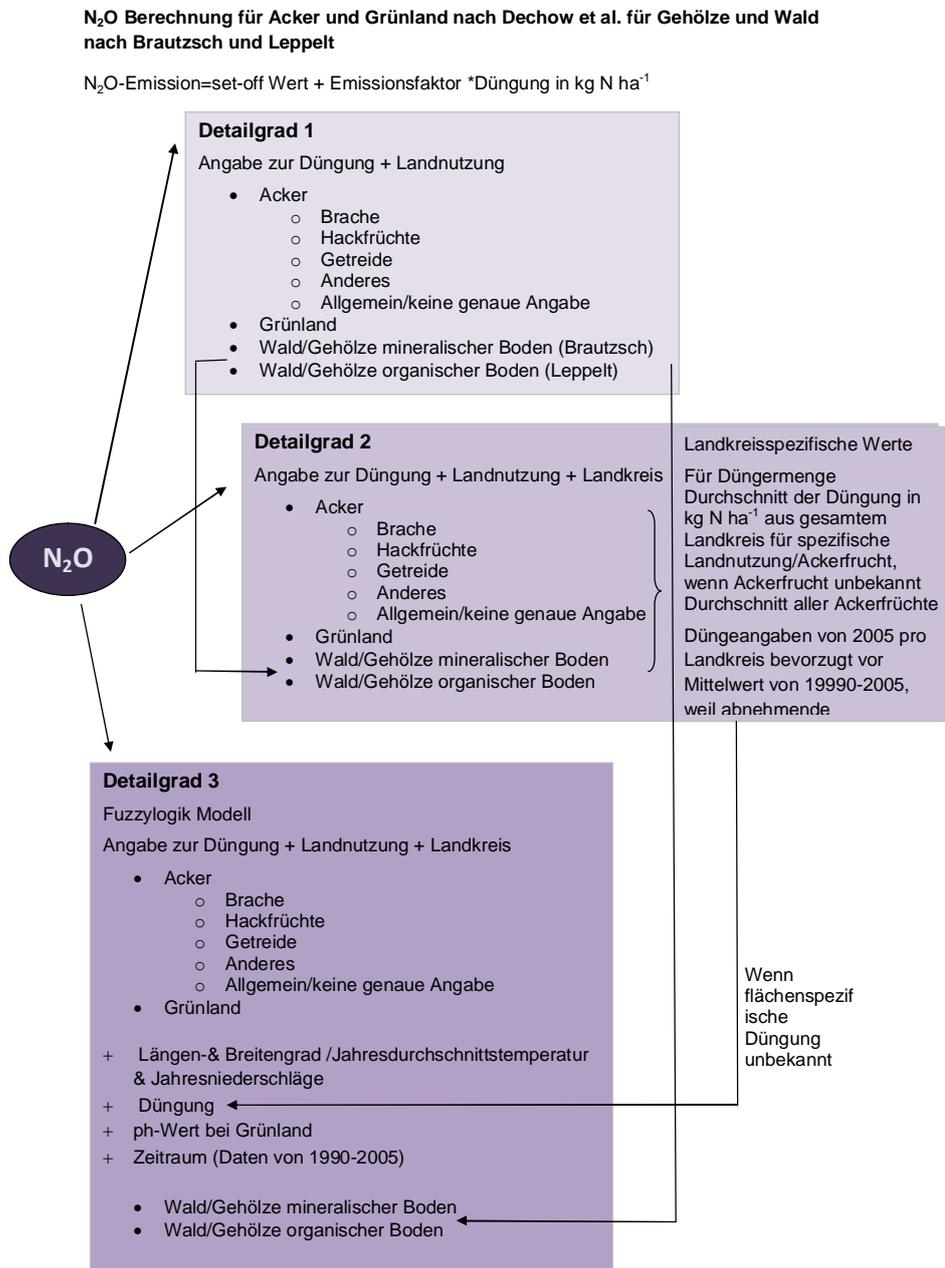


Abb 9: Verfahren zur Berechnung der N<sub>2</sub>O-Flüsse in drei Detailgraden

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Festlegung von Systemgrenzen

Als Systemgrenze für das K&K-Projekt wurde die ökosystemare Treibhausgasbilanz der Fläche definiert. Die Treibhausgasemissionen jeglicher Vorketten der Flächenbewirtschaftung sowie Leakage-Effekte fließen nicht in die Berechnung der Klimawirksamkeit ein. Die Systemgrenze ist konsistent mit der Systemgrenze der Eingriffsregelung.

### 5.2 Biotoptypenkatalog und Maßnahmentypen

Ein entscheidender Aspekt für die Treibhausgasbilanzberechnung ist die sichere und einheitliche Bestimmung von Biotoptypen. Gleichzeitig soll eine weitgehend analoge Definition in den drei projektrelevanten Bundesländern Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein die Vergleichbarkeit der Ergebnisse über Bundeslandgrenzen hinweg gewährleisten.

Demzufolge mussten die bestehenden Biotoptypenlisten der Bundesländer zusammengeführt werden. Ohne einen Abgleich der verschiedenen länderspezifischen Biotoptypenlisten könnten bestimmte Biotoptypen unter Umständen nicht eindeutig interpretiert werden. Daher wurde eine umfassende Liste zur Biotoptypendifferenzierung mit Codierungen der drei Bundesländer (vgl. Anhang 1) erstellt. In Anhang 2 werden für die projektrelevanten Biotoptypen zusätzlich die länderspezifischen Bewirtschaftungsvorgaben zusammengestellt.

Die Auswertung der Biotoptypenlisten aus den Bundesländern Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein ergab 42 Biotoptypen, die die ausgewählten Landnutzungsänderungen abbilden.

Die Biotoptypendifferenzierung und die hohe Genauigkeit der Bewirtschaftungszuordnungen zu einzelnen Biotoptypen für die Acker- und Grünlandflächen gaben den Ausschlag dafür, dass das LANUV-Verfahren als Standardmodell zur Projektbearbeitung herangezogen wurde. Ein Abgleich der LANUV-Codierungen mit den Biotoptypencodierungen in Brandenburg und Schleswig-Holstein ist mittels der Anhänge 1 und 2 möglich.

Auf Grundlage des Biotoptenkatalogs fand die anschließende Projektflächenauswahl statt.

Die für die Erstellung der Treibhausgasbilanzen ausgewählten Maßnahmentypen und -variationen werden im Folgenden vorgestellt und differenziert. Es handelt sich hierbei um die im Rahmen von Kompensationsmaßnahmen am häufigsten umgesetzten "Landbiotoptypen" (Gewässerbiotope wurden in diesem Projekt nicht betrachtet). Grundsätzlich lassen sie sich in die Kategorien

- landwirtschaftliche Flächen,
- Wald und
- sonstige Gehölzbiotope

einordnen.

### 5.2.1 Landwirtschaftliche Flächen

Die landwirtschaftlichen Biotoptypen lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden: Acker- und Grünlandbiotoptypen. Bei den Ackerbiotoptypen wurden ausschließlich intensiv genutzte Flächen, die zu Referenzzwecken untersucht wurden und meist den Ausgangszustand darstellen, herangezogen. Diese konventionell bewirtschafteten Äcker werden in der Regel mineralisch und organisch gedüngt und es kommen Pflanzenschutzmittel zum Einsatz. Da extensiv bewirtschaftete Ackerflächen als Kompensationsmaßnahme nur selten vorkommen und damit keine entscheidende Rolle auch hinsichtlich von Treibhausgasbilanzen spielen, fanden sie im Projekt keine Berücksichtigung. Typische Maßnahmen auf Extensiväckern wie doppelter Saatabstand, Verzicht auf Herbizide, Einbau von Blümmischungen oder Maßnahmen auf Ackerrandstreifen sind in ihrer Wirkung auf Kohlenstoff und  $N_2O$  gering und weitgehend unerforscht. Sie lassen sich nicht im Hinblick auf die Treibhausgaswirkung bewerten. Ebenfalls keine Berücksichtigung fanden Ackerbrachen, da es sich hierbei um einen temporären Biotoptyp handelt, der letztendlich entweder wieder in eine Bewirtschaftung mündet oder über die natürliche Sukzession in einen anderen Biotoptyp übergeht und dann als Landnutzungsänderung zu behandeln wäre.

Auch bei Grünland ist zwischen intensiver und extensiver Nutzung zu differenzieren. Wesentliche Unterscheidungskriterien liegen zum Beispiel in der Düngung, der Besatzdichte mit Vieh und dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Extensiv genutztes Grünland, unabhängig davon, ob es sich um Wiesen oder Weiden handelt, ist oft durch ein größeres floristisches Arteninventar gekennzeichnet, sodass dieser Aspekt beispielsweise auch ein Bewertungskriterium der LANUV-Biototypenliste darstellt (LANUV 2008). Für Grünlandflächen bestehen jedoch im Gegensatz zu Acker noch weitere Differenzierungsmöglichkeiten, die auch die Treibhausgasbilanz beeinflussen. So werden sowohl in der Biotypenliste des LANUV als auch im K&K-Projekt Mähwiesen und (Mäh-) Weiden in magerer, trockener, feuchter und nasser Ausprägung unterschieden. Die Standortunterschiede konnten im Hinblick auf Kohlenstoff und N<sub>2</sub>O berücksichtigt werden. Emissionsänderungen aus Verdauung und Exkrementen von Weidevieh bei unterschiedlichen Besatzdichten wurden nicht quantifiziert, da hierfür die Systemgrenze nicht auf die betrachtete Biotopfläche reduziert werden kann. Das Vieh wird ganzjährig gefüttert und eine einzelne Wiese oder Weide kann in ihrem Beitrag zur Futterbilanz und zu den tierbedingten Emissionen nicht ohne weiteres bewertet werden. Dies bedarf einer Systemgrenze, die das gesamte Haltungsverfahren berücksichtigt.

### 5.2.2 Wald

Waldbegründung (Aufforstung) und -umbau sind die mit am häufigsten umgesetzten Kompensationsmaßnahmen (vgl. Kap. 5.4). Sowohl in ökologischer Hinsicht als auch bezüglich der Klimawirksamkeit ist Wald jedoch nicht als ein Biototyp anzusehen, da verschiedene Baumarten auch unter Berücksichtigung des jeweiligen Standorts unterschiedliche ökologische und klimabezogene Werte besitzen (LWF 2011). Wald, nach MKULNV (2012) ein geschlossener Baumbestand mit einer Größe von mindestens 2.000 m<sup>2</sup>, wird demzufolge nach den vorkommenden Baumarten klassifiziert. Insgesamt sind hier Reinbestände mit einer Baumart, Laubwald, Laubmischwald, Nadel-, Nadelmischwald und Mischwald zu nennen. Diese Differenzierung wird auch in den einschlägigen Biotypenlisten der Länder abgebildet. Die Bedeutung des Waldes für den Klimaschutz ergibt sich aus der Kohlenstoffspeicherung in der Biomasse der Bäume. Darüber hinaus findet im Wald eine Kohlenstoffspeicherung im Totholz sowie im Mineralboden statt (LWF 2011).

Waldränder bilden eine vorgelagerte und ökologisch wertgebende Abgrenzung von Wäldern. Auch hier sind Unterscheidungen hinsichtlich der Artenzusammensetzung möglich, die die Treibhausgasbilanz beeinflussen können (FVA 1996).

### **Exkurs: Maßnahmen in vorhandenen Waldflächen**

An ökologischen Entwicklungsmaßnahmen in vorhandenen Wäldern, die als Kompensationsmaßnahme herangezogen werden können, kommen unterschiedliche Maßnahmen in Betracht. Gemäß den Hinweisen zur Kompensation in Zusammenhang mit Wald aus Nordrhein-Westfalen (MUNLV 2008) sind dies z. B.:

- Umbau von nicht zur natürlichen Waldgesellschaft gehörenden Nadel- oder Laubholzbeständen mindestens 25 Jahre vor Hiebsreife mit Arten der natürlichen Waldgesellschaft
- Umbau von zur natürlichen Waldgesellschaft zählenden einschichtigen Beständen in dauerhaft mehrschichtige horizontal und vertikal differenzierte Bestände
- Entwicklung von natürlichen Waldgesellschaften durch Sukzession
- Entwicklung von Naturwäldern durch Nutzungseinstellung
- Aufbau von Waldaußen- und Innenrändern
- Wiederherstellung historischer Waldnutzungsformen
- Dauerhafter Erhalt von Höhlen- oder sonstigen Biotopbäumen

Bereits die Vielfalt der unterschiedlichen Maßnahmentypen macht deutlich, dass eine Treibhausgasbilanzierung für definierte Maßnahmen grundsätzlich schwierig ist. Hinzu kommt, dass sich einzelne Maßnahmen (z. B. Erhalt von Höhlenbäumen) nicht über Biotoptypenlisten abbilden lassen und somit im Rahmen der gewählten Systematik (Nutzung von Biotoptypenlisten zur Beschreibung von Landnutzungsänderungen) nicht darstellbar ist.

Bezüglich der Kohlenstoffbindung von Wäldern ist in erster Linie die Menge an Kohlenstoff von Bedeutung, die ein Bestand im Mittel über eine Rotationsperiode hinweg speichern kann. Etwa 80 % des Kohlenstoffs im Baum ist dabei in der oberirdischen Biomasse gespeichert, die übrigen 20 % entfallen auf die Wurzelbiomasse (DUNGER et al. 2009). Allerdings wird darauf hingewiesen, dass verschiedene Untersuchungen zu teilweise sehr unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich der Kohlenstoffspeicherkapazität von Baumarten kommen (z.B. DUNGER et al.

2009, LWF 2011). Darüber hinaus sind die Kohlenstoffspeicherkapazitäten von Totholz, Streuschicht und Mineralboden für die Treibhausgasbilanz eines Waldes ebenso von Bedeutung wie die N<sub>2</sub>O-Emissionen. Durch die komplexen Zusammenhänge von Standort, Bewirtschaftung und Baumartenzusammensetzung sowie der erforderlichen langfristigen Betrachtungsweise von mindestens 100 Jahren, bei vielen Baumarten noch länger, sind pauschale Aussagen über die Treibhausgasbilanz von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen in vorhandenem Wald nicht sinnvoll darstellbar. Daher werden diese trotz der regional recht hohen Bedeutung als Kompensationsmaßnahmen (z. B. Eifel, Sauer- und Siegerland in NRW), nicht für die Herleitung von Treibhausgasbilanzen herangezogen.

Waldumbau ist eine wichtige Maßnahme zur Anpassung an den Klimawandel. Da Waldumbau in der Regel mit der Entnahme von Bäumen einher geht, um Raum für neue Bäume und Baumarten zu schaffen, führt der Waldumbau auf der betroffenen Fläche erst einmal zu einer deutlichen Reduktion der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse, die erst über Jahrzehnte wieder ausgeglichen wird. Andererseits wirken auch die Holzprodukte klimarelevant durch Substitution fossiler Brenn- oder Rohstoffe. Die im Projekt gewählte Systemgrenze auf der Maßnahmenfläche wird der Bewertung von Waldumbaumaßnahmen für den Klimaschutz nicht gerecht.

### 5.2.3 Sonstige Gehölzbiotope

Zu den sonstigen Gehölzbiotopen zählen Feldgehölze, Hecken, Gehölzstreifen, Baumreihen und Alleen sowie Einzelbäume. Feldgehölze sind in der Regel inselartige Gehölzstrukturen mit einer Größe von 50 bis 2.000 m<sup>2</sup> aus Bäumen und Sträuchern. Somit sind sie nicht nur ökologisch bedeutend, sondern erfüllen vielfach eine Funktion in der Kulturlandschaftsgestaltung. Auch Hecken sind Landschaftselemente von ökologischer und landschaftsprägender Bedeutung. Sie sind nach der Definition der LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2013) linienförmig und mindestens 10 Meter lang, maximal 15 Meter breit und unterliegen einer regelmäßigen Unterhaltung in Form von Pflege- und Stockschnitten. Sie setzen sich in der Regel überwiegend aus Straucharten zusammen. Dagegen bestehen Gehölzstreifen überwiegend aus Bäumen, wenngleich sie ähnliche Abmessungen wie Hecken aufweisen können. Die "Kleinform" einer Hecke mit nicht zwangsläufig

linearer Ausdehnung ist das Gebüsch, welches ebenfalls aus Sträuchern besteht.

Zudem sind weitere baumgeprägte Landschaftselemente für Kompensationsmaßnahmen relevant: Baumreihen und Alleen. Hierbei werden Bäume meist gleicher Art linear einreihig bzw. beidseitig entlang von Wegen oder Straßen gepflanzt. Üblicherweise handelt es sich um mindestens fünf Bäume auf einer Länge von mindestens 50 Metern (LWK 2013). Daneben sind auch Einzelbäume zu nennen, die auch in Solitärgruppen vorkommen können.

Gehölzbiotope sind vor allem als Kohlenstoffspeicher in der Holzigen Biomasse relevant. Für Gehölze liegen grobe nationale Biomassedaten aus Hecken vor. Die große Variabilität und Heterogenität der Ausprägung von Gehölzen macht eine Abschätzung der Klimarelevanz von Gehölzbiotopen sehr unsicher. Für eine sichere quantitative Bewertung von Gehölzbiotopen wird dringend empfohlen, standortspezifische Daten zu erheben. Da Gehölzbiotope nicht gedüngt werden, werden keine anthropogenen N<sub>2</sub>O-Emissionen unterstellt.

#### **Exkurs: Trockene und feuchte Heideflächen**

Heideflächen sind anthropogen geschaffene Biotope. Ohne spezielle Pflegemaßnahmen stellen sich auf Dauer Gehölze ein und es kommt zur Entwicklung von Waldstrukturen. Pflegemaßnahmen sind in der Regel mit Treibhausgasemissionen verbunden. Allerdings lag zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung kein Datenmaterial zur Treibhausgasbilanz von Heideflächen vor, sodass eine Einbindung in das K&K-Projekt nicht möglich war.

Eine übliche aber kostenaufwändige Methode der Heidepflege ist die Beweidung mit Schafen und/oder Ziegen. Durch den Verbiss bleibt die Heide kurz und dicht, sodass sich Gräser und initiale Gehölze schlechter einstellen können und einem Verholzen des Heidekrauts vorgebeugt wird. Es kann jedoch dauerhaft kaum vermieden werden, dass vor allem Birken und Kiefern auf Heideflächen heranwachsen. Daher werden entsprechende Flächen in regelmäßigen Abständen manuell entkusselt, das heißt von aufkommenden Gehölzen befreit. Da diese Methode jedoch eine Humusanreicherung nicht verhindern kann, ist zusätzlich eine intensive mechanische Bearbeitung langfristig unumgänglich. Diesbezüglich sind drei Vorgehensweisen möglich. Beim Schopfern wird

Rohhumus in geringer Mächtigkeit maschinell abgetragen, während beim Plaggen bis zum mineralischen Boden bearbeitet wird. Es stellt somit eine deutlich intensivere Form der Pflege dar. Das klassische Abmähen ist ebenfalls möglich und sorgt für einen raschen Neuaustrieb der Heide. Daneben wird ein abschnittsweises Abbrennen von Heideflächen praktiziert, welches sowohl den Neuaustrieb bewirkt als auch die Keimung neuen Heidekrauts begünstigt (NATURPARK LÜNEBURGER HEIDE Stand 2014).

Bei Pflegemaßnahmen durch Beweidung und Entkusseln sind von Kompensationsmaßnahmen auf Heideflächen keine signifikanten Treibhausgaseffekte zu erwarten. Die Verweilzeiten von Schafen und Ziegen auf einer Fläche sind typischerweise kurz, so dass Treibhausgasemissionen durch Verdauung und Ausscheidungen relativ gering bleiben.

Beim Schoppen und Plaggen werden Emissionen durch den Einsatz von Maschinen freigesetzt. Wird hier ein Treibstoffverbrauch von 10 Litern pro Stunde angenommen (der je nach Maschine und Arbeit starken Schwankungen unterliegen kann) und eine definierte Heidefläche beispielsweise drei Stunden bearbeitet, ergeben sich Emissionen von 94,65 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Zum Vergleich: Ein Diesel-PKW verursacht beim Verbrauch von 6 Litern Kraftstoff 15,77 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente (LFU 2013). Das Abbrennen von Heideflächen bringt relativ hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen mit sich. Die anfallende Menge ist abhängig von der Menge an Kohlenstoff, der in der oberirdischen Biomasse und der Humusaufgabe vorhanden ist und verbrennt. Da diesbezüglich keine Daten vorliegen, ist eine Abschätzung von frei gesetzten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten auch in diesem Fall nicht möglich. Ist die Menge an verbrannter Biomasse und Humusaufgabe jedoch bekannt, können Emissionen mit den Methoden der IPCC-Richtlinien (IPCC 2007b, IPCC 2014b) berechnet werden.

Pflegemaßnahmen und der Erhalt von Heidebiotopen ist je nach Maßnahme im Hinblick auf Treibhausgase entweder neutral oder eine Quelle. Kritisch ist aber v.a. das Abbrennen. Einen Sonderstatus bezüglich Treibhausgasemissionen nehmen die Moorheiden ein. Eine Wiedervernässung trockener Moorheiden kann signifikant Treibhausgasemissionen reduzieren (DRÖSLER 2005).

### 5.3 Flächenauswahl

Insgesamt wurden 93 Einzelflächen bzw. -maßnahmen für das Projekt ausgewählt, die 17 unterschiedliche Zielbiotoptypen umfassen, darunter neun Referenzflächen (Intensiväcker, -wiesen und Hecken). Die Größe der Flächen beträgt insgesamt 26,8 ha.

Die räumliche Lage der Flächen ist Anhang 3 zu entnehmen (Karten der Projektflächen).

#### 5.3.1 Brandenburg

Es wurden drei Flächen- und Maßnahmenpools ausgewählt, die ein möglichst breites Spektrum unterschiedlicher Maßnahmentypen umfassen und zudem in unterschiedlichen Naturräumen liegen:

- *Lebuser Platte - Krumpfuhl-Kuhluch (Steinhöfel)*
- *Schmergow* und
- *Zempow*

Sie wurden nach Sichtung der vorhandenen Daten durch Ortsbegehungen untersucht.

Der Flächen- und Maßnahmenpool *Lebuser Platte - Krumpfuhl-Kuhluch* befindet sich südwestlich von Steinhöfel im Landkreis Oder-Spree im Osten Brandenburgs. Er umfasst rund 30 Hektar. Östlich von Brandenburg an der Havel liegt der Flächen- und Maßnahmenpool *Schmergow* unmittelbar in Havel-Nähe im Landkreis Potsdam-Mittelmark im westlichen Landesteil. Die Flächen erstrecken sich hier auf etwa 84 Hektar. Die beiden Teilbereiche des dritten Pools befinden sich nördlich und nordöstlich des gleichnamigen Ortsteils *Zempow* der Stadt Wittstock/Dosse im Norden Brandenburgs direkt an der Grenze zu Mecklenburg-Vorpommern.

Der Flächen- und Maßnahmenpool *Lebuser Platte - Krumpfuhl-Kuhluch* verläuft zwischen einem tiefen Graben und einem Waldgebiet westlich des Steinhöfeler Parks. Hier wurden fünf Einzelflächen für das Projekt ausgewählt. Als Zielbiotope werden dort Trockenrasen, Magerweiden, Sandmagerrasen, Feldgehölze und Baumreihen entwickelt. An Bodentypen dominieren podsolige Braunerde bzw. Podsol-Braunerde. Alle Flächen wurden im Ausgangszustand als Intensivacker genutzt und

werden seit 2009 umgesetzt. Die bisherige Flächenentwicklung entspricht den Zielvorgaben.



Abb. 10: Flächen- und Maßnahmenpool *Lebuser Platte - Krumpfuhr-Kuhluch*

Die Flächen des Pools *Schmergow* befinden sich unmittelbar südlich der Havel und nördlich der Ketziner Siedlung. Vorherrschender Bodentyp ist Humusgley. Die Nutzung ist landwirtschaftlich geprägt und aufgrund der Polderlage ist eine Entwässerung erforderlich. Bei den Projektflächen handelt es sich um zwei gut ausgeprägte extensive Feuchtwiesen, die im Projekt gemeinsam betrachtet wurden und eine südlich anschließende Hecke.



Abb. 11: Flächen- und Maßnahmenpool *Schmergow*

Die beiden Flächenkomplexe in *Zempow* grenzen direkt an Waldbereiche an, weshalb als Maßnahme auch die Entwicklung von Waldrändern vorgesehen war. Vormalig wurden die Flächen als Intensivacker genutzt, auf dem als Ausgleichs- und Ersatzmaßnahme vor allem Grünland entwickelt wurde. Dominanter Bodentyp ist podsolige Braunerde. So zeigt sich im östlichen Teil des Komplexes eine artenreiche Mähwiese mit angelegten Feldgehölzen und Waldrändern. Im Westen hingegen hat sich aufgrund der exponierten Hanglage ein gut ausgeprägter Trockenrasen gebildet, an dessen Westrand eine Hecke angelegt wurde (flächenspezifische Angaben der FLÄCHENAGENTUR BRANDENBURG GMBH Stand 2014).



Abb. 12: Flächen- und Maßnahmenpool *Zempow*

### 5.3.2 Nordrhein-Westfalen

In Nordrhein-Westfalen stand eine relativ große Anzahl an Flächen für das Projekt zur Verfügung. Es zeigte sich, dass die mangelnde Informations- und Datenverfügbarkeit nur selten ein Ausschlussgrund war, da zu fast allen Flächen umfangreiches Material vorlag. Aus diesem Grunde konnte das Auswahlkriterium *Bodentyp* stärker gewichtet werden, so dass auch diesbezüglich ein möglichst breites Spektrum abgedeckt werden konnte. Dabei wurden in Nordrhein-Westfalen nicht ausschließlich Nutzungsänderungen in Flächen- und Maßnahmenpools betrachtet, sondern auch diverse Einzelflächen, die teilweise nicht als Kompensationsmaßnahmen fungieren aber dennoch eine Änderung des Biotoptyps bzw. der Nutzung erfahren haben. Weiterhin konnten einige Referenzflächen gewonnen werden, für die zwar keine Nutzungsänderungen erfolgten, die aufgrund eben dieses Umstands jedoch gut zu Vergleichszwecken herangezogen werden konnten. Typische Referenzflächen sind Intensiväcker und -wiesen sowie Wälder. Die Projektflächen in Nordrhein-Westfalen befinden sich im südlichen Münsterland, im Ruhrgebiet, am Niederrhein und im Rheinland.

Insgesamt wurden 53 Einzelflächen aufgenommen (ohne Flächen der Emschergenossenschaft, siehe unten).

### **Flächen der Emschergenossenschaft**

Die Emschergenossenschaft plant den naturnahen Umbau des Emschersystems einschließlich der zugehörigen Vorfluter im Ruhrgebiet. Dabei erfolgt eine Entflechtung von bislang als Abwasservorfluter genutzten Gewässern. Zukünftig erfolgt die Trennung von Rein- und Schmutzwasser und der anschließende Umbau der Gewässer. Dazu fanden in den vergangenen Jahren bereits umfangreiche bauliche Maßnahmen zur naturnahen Gestaltung des Emschersystems statt. Diese sollen bis zum Jahr 2020 abgeschlossen sein. Die Maßnahmen führen zu erheblichen ökologischen Verbesserungen der Gewässer und ihrer Ufer. Unabhängig davon ist die Emschergenossenschaft daran interessiert, die Klimawirksamkeit dieser Maßnahmen zu ermitteln. Daher werden beispielhaft zwei Teilmaßnahmen im Zusammenhang mit dem Umbau des Emschersystems im K&K-Projekt berücksichtigt.

Zum Einen handelt es sich um Maßnahmen, die im Zuge des naturnahen Umbaus des Deininghauser Bachs in Castrop-Rauxel umgesetzt wurden. Als zweite Maßnahme wurden neu angelegte Hochwasserrückhaltebecken in Dortmund-Mengede in das Projekt einbezogen.

Am Deininghauser Bach wurden vier Flächen mit unterschiedlichen Ausgangs- und Zielzuständen ausgewählt, während sich die Situation im Bereich des Rückhaltebeckens Mengede komplexer darstellte. Dies liegt in mehreren Punkten begründet. So konnte die Treibhausgasbilanz nicht vollständig in einem Schritt berechnet werden, da aufgrund der Größe der Flächen differenzierte Ausgangsnutzungen bzw. -flächen mit unterschiedlicher Nutzung gegeben waren. Die Flächen der Rückhaltebecken mussten somit nach Ausgangsflächen aufgeteilt werden, deren Treibhausgasbilanzen nach Durchführung von Einzelberechnungen zusammengefügt wurden. Ein weiteres Problem stellte der Boden dar: Da dort auf einer Fläche von insgesamt rund 30 ha Boden mit einem Volumen von ca. 2 Millionen m<sup>3</sup> abgetragen wurde und über die anschließende Verwendung keine ausreichend detaillierten Daten vorlagen, konnte dieser Aspekt nur unzureichend in die Berechnung einfließen (flächenspezifische Angaben der EMSCHERGENOSSENSCHAFT Stand 2014; Einzelheiten zur Treibhausgasbilanz der Flächen sind in Kapitel 5.5 beschrieben). Die Gestaltung der Flächen war während der Bearbeitungszeit des K&K-Projektes noch nicht abgeschlossen.



Abb. 13: Hochwasserrückhaltebecken Mengede

### 5.3.3 Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein wurden vier Flächen- und Maßnahmenpools ausgewählt, die sich in verschiedenen Regionen des Bundeslandes befinden.



Abb. 14: Typisches Bild vom Flächen- und Maßnahmenpool *Olendieksau*

Der Pool *Olendieksau* liegt im Mittelland zwischen der Autobahn A7 im Süden und der Ortschaft Langwedel im Norden im Kreis Rendsburg-Eckernförde. Er umfasst insgesamt rund 77 ha eines Niederungsgebiets mit größtenteils Grünlandnutzung auf Regosol, Pararendzina, Niedermoor und Gley-Podsol. Die Zielzustände sehen vor allem extensive Weidewirtschaftung und Wald unter Wiedervernässung der entwässerten Standorte vor. Durch unebenes Gelände zeigt sich der Bereich des Pools zusätzlich relativ strukturreich.

Etwas weiter südwestlich, in der Gemeinde Bönebüttel liegt der Flächen- und Maßnahmenpool *Predigerau*. Wie Olendieksau ist auch er nach einem kleinen Fließgewässer benannt, was auf grundsätzlich feuchte Standorte hindeutet. Die Flächen befinden sich relativ abgelegen in einer Niederung zwischen größeren Waldgebieten (Kerkwischholz, Hollenbeker Holz, Die Hölle). Feuchte und nasse Weiden sowie Aufforstungen mit heimischen Gehölzen sind vorrangige Entwicklungsziele der Flächen. Vorherrschende Bodentypen sind Gley-Pseudogleye.



Abb. 15: Flächen- und Maßnahmenpool Predigerau

Im Norden Schleswig-Holsteins liegt der Pool *Winderatter See* südöstlich der Gemeinde Ausacker. Auf einer Fläche von über fünf Hektar findet sich ein umfangreicher Biotopkomplex auf Moorgley, Pseudogley und Parabraunerde-Pseudogley. Das Landschaftsbild zeigt sich entsprechend strukturreich. Unterschiedliche Grünlandausprägungen, He-

cken und Gewässer wechseln sich ab. Hieraus wurden fünf Flächen für die Treibhausgasbilanzberechnung in das Projekt aufgenommen.



Abb. 16: Flächen- und Maßnahmenpool Winderatter See

Der Pool *Kisdorf* liegt im südlichen Teil Schleswig-Holsteins bei der gleichnamigen Gemeinde im Kreis Segeberg. Das Landschaftsbild ist in diesem Bereich geprägt durch Landwirtschaft mit relativ geringem Waldanteil. Die auf Braunerde und Pseudogley befindlichen Flächen zeigen sich stellenweise feucht bis nass. Neben artenreichen Mähwiesen konnte in diesem Pool die Entwicklung von zwei Feldgehölzen für das Projekt berücksichtigt werden (flächenspezifische Angaben der AUSGLEICHSGENTUR SCHLESWIG-HOLSTEIN GMBH o.J.).

#### 5.4 Repräsentativität der betrachteten Maßnahmentypen

Wie in Kap. 4.3 bereits näher erläutert wird, wurden Treibhausgasbilanzen von Landnutzungsänderungen für 93 Flächen mit einer Gesamtgröße von mehr als 26,8 Hektar erstellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der statistischen Auswertungen zu Flächenanzahlen und -größen beschrieben.

Zahlenmäßig umfasst die Entwicklung von Wäldern durch Aufforstung oder natürliche Sukzession (19), Magerweiden (15) und artenreiche Mähwiesen (11) fast die Hälfte der berücksichtigten Maßnahmentypen.

Gehölzstreifen und Waldränder machen die geringsten Anteile aus (vgl. Abb. 17).

Betrachtet man jedoch die Größen der Projektflächen, so verändern sich die Rangfolgen und die Gewichtungen. Während sich bei der Betrachtung der Maßnahmenzahlen neben den am häufigsten vertretenen Zielbiototypen Wald, Magerweide und Artenreiche Mähwiese eine relativ gleichmäßige Verteilung der übrigen Maßnahmentypen zeigt, treten bei der Betrachtung der Flächengrößen die vier Zielbiotope Magerweide, artenreiche Mähwiesen, Feuchtwiesen und Wald deutlich hervor und machen zusammen 79,4 % des Gesamtflächenanteils aus. Die übrigen Biototypen treten in Bezug auf den Flächenanteil dementsprechend deutlich zurück.

Mit einer Gesamtgröße von insgesamt 189,7 ha nehmen Maßnahmen zur Grünlandentwicklung den größten Flächenanteil ein. Die geringsten Flächenanteile weisen Wallhecken (0,55 ha), Saum-, Ruderal- und Hochstaudenfluren (0,55 ha) und Waldränder (0,04 ha) auf (vgl. Abb. 18).

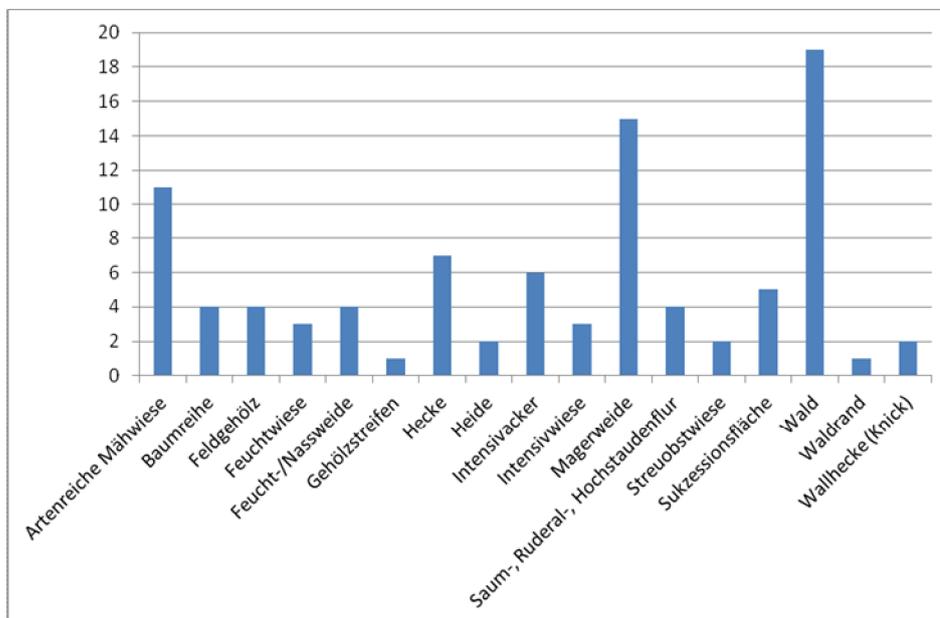


Abb. 17: Anzahl der Projektflächen nach Zielbiototypen

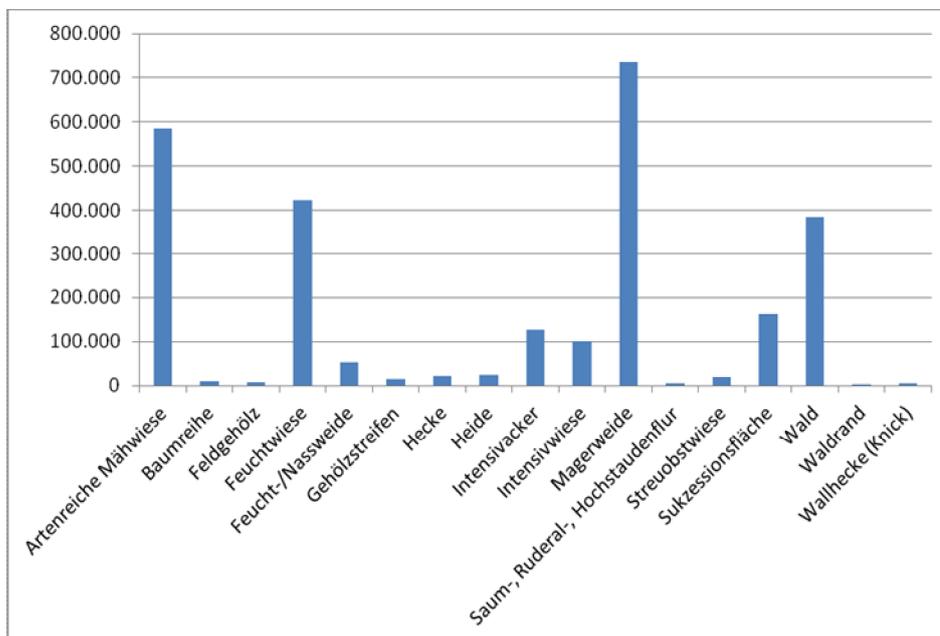


Abb. 18: Größen der Projektflächen nach Zielbiotopentypen in m<sup>2</sup>

#### 5.4.1 Vergleichsmaßnahmen in Brandenburg

In Brandenburg wurden Angaben der Flächenagentur Brandenburg GmbH zu den von ihr betreuten Flächen- und Maßnahmenpools ausgewertet. Die von der GASCADE Gastransport GmbH zur Verfügung gestellten Daten betreffen Kompensationsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Ostsee-Pipeline-Anbindungsleitung (OPAL). Diese Leitung quert das Land Brandenburg in Nord-Süd-Richtung.

Die aus Brandenburg vorliegenden Daten beinhalten die Anzahlen der bisher umgesetzten ökologischen Entwicklungsmaßnahmen, differenziert nach Maßnahmentypen. Größenangaben waren teilweise nicht verfügbar. Insgesamt wurden Daten zu 139 Flächen erhoben, verteilt auf 20 Zielbiotopentypen bzw. Maßnahmen. Maßnahmen zur Wald- (21) und zur Grünlandentwicklung (20) kommen am häufigsten vor. Aber auch Hecken (19), Waldränder (14) sowie (Feld-) Gehölze und Gehölzstreifen (jeweils 10) sind relativ oft vertreten. In geringem Umfang sind zum Beispiel Entsiegelungen, die Anlage von Gewässerrandstreifen, Röhrichten und Streuobstwiesen sowie Sukzessionsflächen vertreten (jeweils eine Fläche).

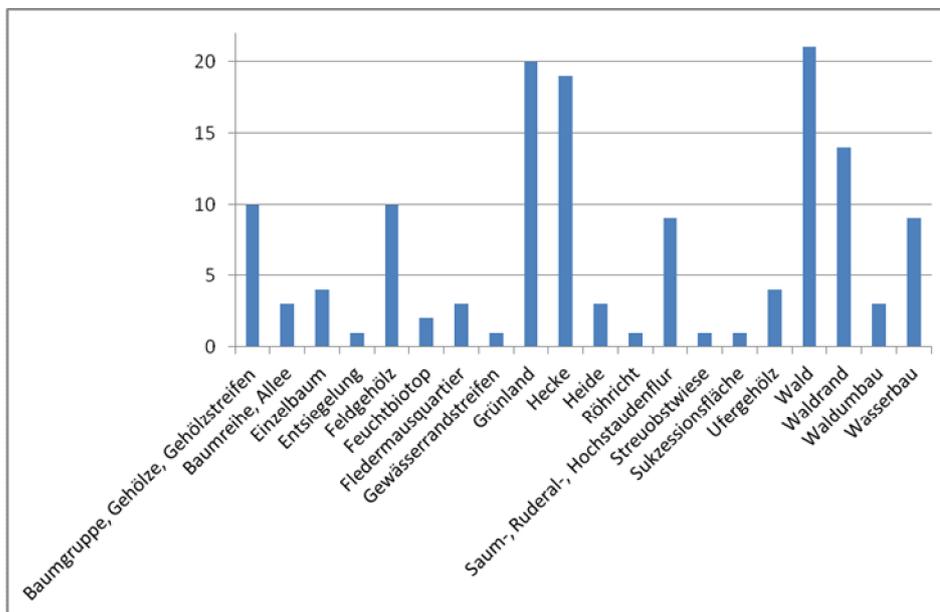


Abb. 19: Nach Maßnahmentypen differenzierte Anzahl der Vergleichsmaßnahmen in Brandenburg

#### 5.4.2 Vergleichsmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen

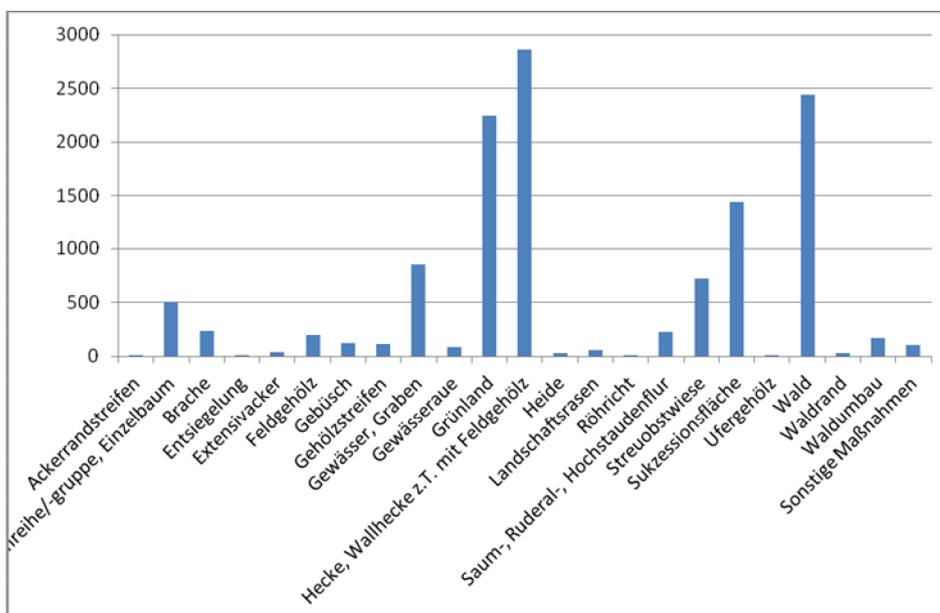


Abb. 20: Nach Maßnahmentypen differenzierte Anzahl der Vergleichsmaßnahmen in Nordrhein-Westfalen

Da für Nordrhein-Westfalen sechs verschiedene Quellen ausgewertet werden konnten, ist das Spektrum mit 23 Maßnahmentypen relativ groß. Insgesamt flossen 12.542 Einzelmaßnahmen in die Statistik ein. Weiterhin fällt auf, dass hohe Anzahlen auf relativ wenige Maßnahmentypen entfallen: Hecken und Wallhecken (zum Teil mit Feldgehölzen, 2.859 Flächen), Wald (2.444) und Grünland (2.241) weisen zahlenmäßig einen großen Abstand zu den übrigen Maßnahmentypen auf. Sie machen zusammen rund 60 % der durchgeführten ökologischen Entwicklungsmaßnahmen aus. Weniger häufig entwickelt wurden vor allem Ackerrandstreifen (5), Röhrichte (12), Entsiegelungen (15) und Ufergehölze (16). Nicht eindeutig einem Maßnahmentyp zuzuordnende Einzelmaßnahmen umfassen nur eine relativ geringe Anzahl (108).

### 5.4.3 Vergleichsmaßnahmen in Schleswig-Holstein

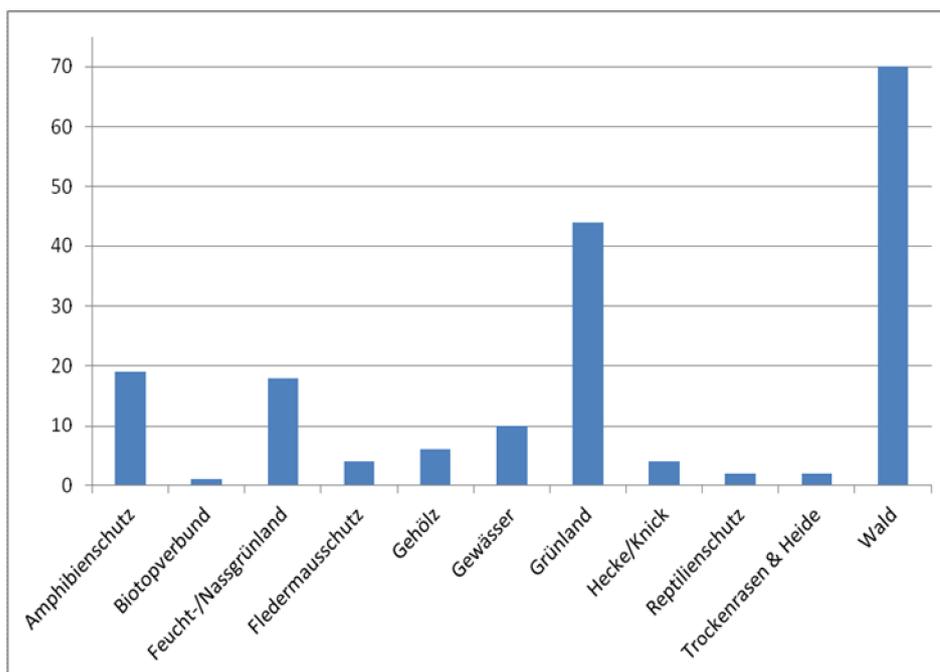


Abb. 21: Nach Maßnahmentypen differenzierte Anzahl der Vergleichsmaßnahmen in Schleswig-Holstein

In Schleswig-Holstein wurden 180 Einzelmaßnahmen ausgewertet. Die Daten stammen von der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein. Auch hier lagen keine Informationen zu den Flächengrößen vor. Zwei Maßnahmentypen heben sich mengenmäßig deutlich ab: Die Anlage von Wald (70) und die Entwicklung von extensivem Grünland (44) ma-

chen zusammen rund 63 % der Entwicklungsmaßnahmen aus. Den geringsten Anteil machen Biotopverbundsysteme (1), Reptilienschutzmaßnahmen (2) sowie Trockenrasen und Heide (2) aus.

#### 5.4.4 Vergleichende Statistik

Für die vergleichende Auswertung der im K&K-Projekt betrachteten Maßnahmentypen und der in den Bundesländern umgesetzten Kompensationsmaßnahmen wurden einige Maßnahmentypen zusammengefasst. So wurden zum Beispiel die für NRW vorliegenden Daten zu unterschiedlichen Grünlandmaßnahmentypen hier unter "Grünland" summiert. Gleiches gilt analog für verschiedene andere Maßnahmentypen. Insgesamt wurden so 18 Kategorien gebildet. Um die einzelnen Daten miteinander vergleichen zu können, wurden sie prozentual angegeben. Referenzflächen, die dem Vergleich der Treibhausgasbilanzen einzelner Maßnahmentypen dienen und ins Projekt aufgenommen wurden, werden hier nicht betrachtet.

Sowohl bei den zusammengefassten Maßnahmentypen der drei Bundesländer als auch bei den im Rahmen des Projektes betrachteten Landnutzungsänderungen fällt der hohe prozentuale Anteil an Hecken (mit Wallhecken und Knicks), Wald und Grünland auf. Besonders hohe Übereinstimmungen zwischen den Projektmaßnahmen und denen der drei Bundesländer zeigen sich bei Wald sowie Baum- und Gehölzstrukturen. Maßnahmen, die sich in den Datensätzen der Länder vereinzelt finden und im Projekt keine Berücksichtigung erfahren sind beispielsweise Brachen, Extensiväcker, Gräben sowie Gewässer und Waldumbau, die aus oben genannten Gründen nicht bewertet werden konnten (vgl. Kap. 5.2).

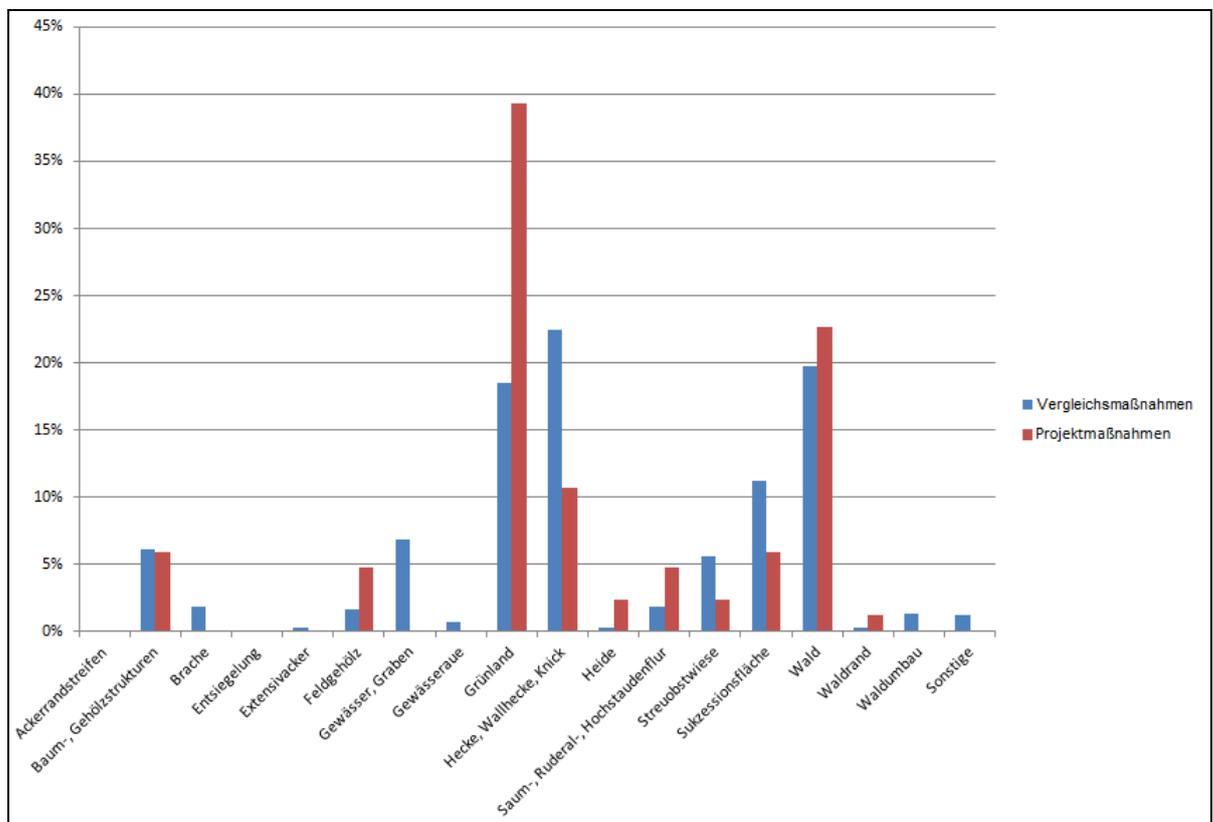


Abb. 22: Prozentualer Vergleich von Maßnahmentypen der ausgewählten Träger und des K&K-Projektes

Der relativ hohe Anteil an Hecken (mit Wallhecken und Knicks) bei den Vergleichsdaten aus den Bundesländern geht vor allem auf Maßnahmen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen zurück (insgesamt 2.436 von 2.882 Maßnahmen). Aus diesem Grund wurde eine weitere Auswertung ohne die Flächen des Landesbetriebs vorgenommen, die ein sichtbar anderes Bild erzeugt. Hecken, Wallhecken und Knicks befinden sich hier nun nur noch auf Rang vier. Die drei am häufigsten vertretenen Maßnahmentypen sind nun Grünland, Baum- und Gehölzstrukturen sowie Wald. Insgesamt ist die Übereinstimmung von im K&K-Projekt betrachteten Maßnahmentypen mit den ausgewerteten Kompensationsmaßnahmen der verschiedenen Träger nun deutlich höher. Hecken weisen nunmehr einen annähernd gleichen prozentualen Anteil auf (vgl. Abb. 23).

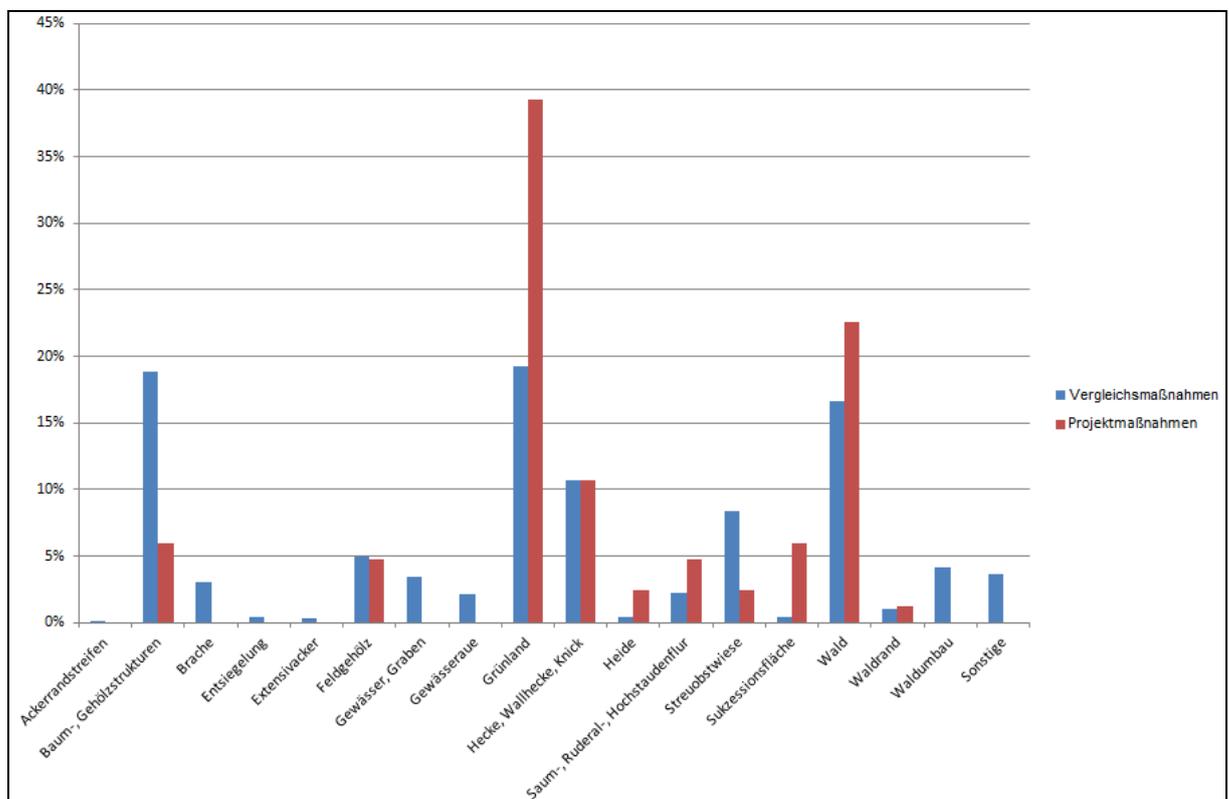


Abb. 23: Prozentualer Vergleich von Maßnahmentypen der ausgewählten Träger und des K&K-Projektes ohne Flächen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Da einige Maßnahmentypen bei den Treibhausgasbilanzen dieses Projektes nicht berücksichtigt werden konnten (zum Beispiel Anlage von Gewässern, Entsiegelung), erscheint eine differenzierte Betrachtung und Vergleich der projektrelevanten Maßnahmentypen sinnvoll. Hierbei handelt es sich um neun, in gleicher Weise wie in den vorangegangenen Statistiken zusammengefasste Biotoptypen. Es wird deutlich, dass vor allem die Anteile an Maßnahmen zur Entwicklung von Wald sowie von Baum- und Gehölzstrukturen prozentual stark übereinstimmen. Abweichungen zeigen sich hauptsächlich bei Grünland (Projektflächen im Vergleich überrepräsentiert) und Hecken mit Wallhecken und Knicks (Projektflächen im Vergleich unterrepräsentiert).

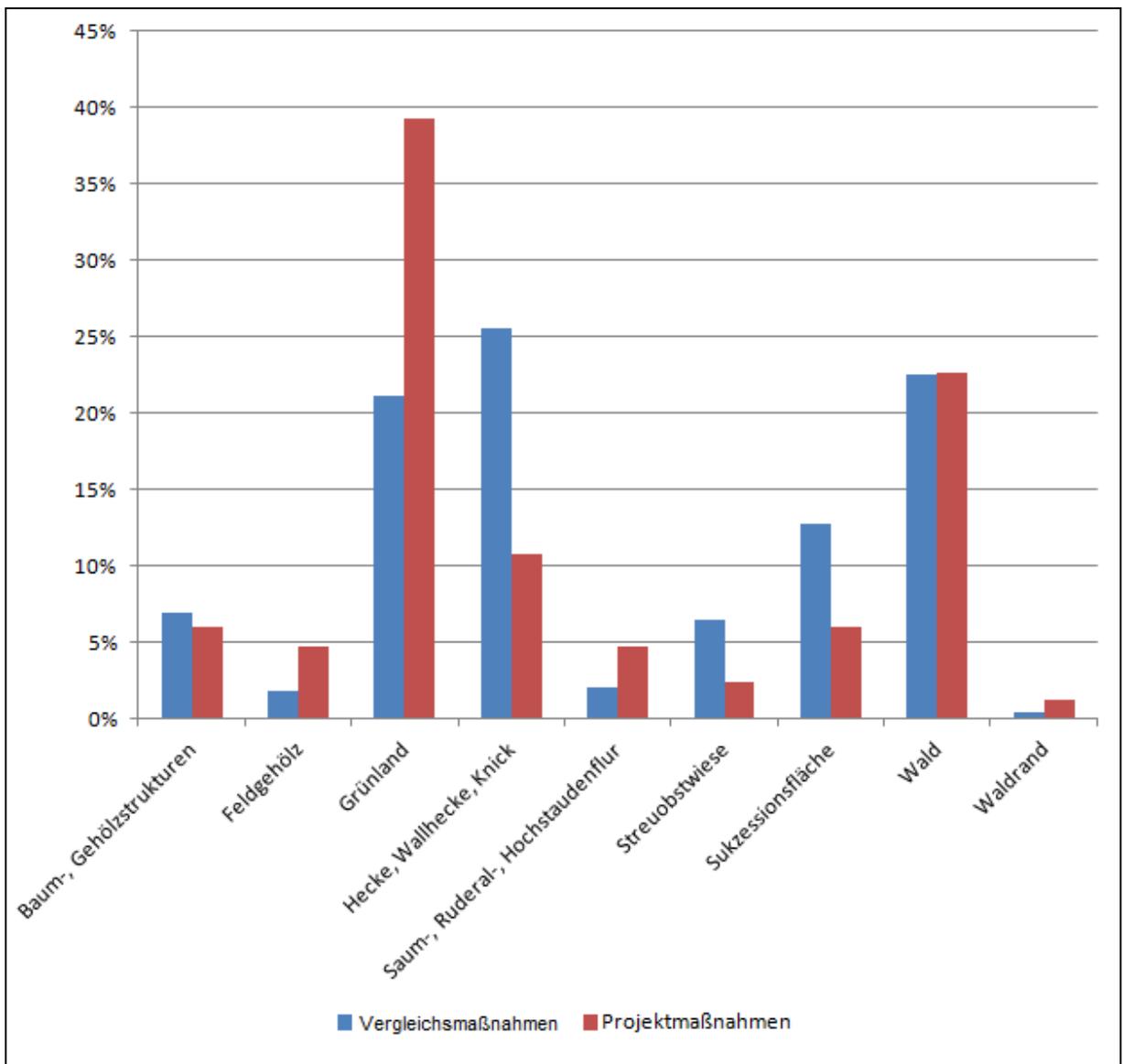


Abb. 24: Vergleich der bewertbaren zusammengefassten Länder- und Projektmaßnahmen mit Flächen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen

Insgesamt ist zu konstatieren, dass hinsichtlich der Anteile der bewertbaren Maßnahmentypen eine gute Übereinstimmung zwischen den im Projekt betrachteten Maßnahmentypen und den ausgewerteten Vergleichsdaten besteht. Aufgrund der Anzahl der verfügbaren Vergleichsdaten, insbesondere aus Nordrhein-Westfalen, ist davon auszugehen, dass diese einen repräsentativen Querschnitt der in den berücksichtigten Bundesländern durchgeführten Kompensationsmaßnahmen widerspiegeln. Insofern lässt eine gute Übereinstimmung der im K&K-Projekt

betrachteten Maßnahmentypen mit den ausgewerteten Vergleichsdaten den Schluss zu, dass diese ebenfalls einen repräsentativen Querschnitt von Maßnahmentypen abbilden. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass die hier betrachteten Anzahlen nicht unbedingt den räumlichen Anteil der verschiedenen Maßnahmen an den insgesamt durchgeführten Kompensationsmaßnahmen wiedergeben. Ähnlich wie für die Projektflächen in Kap. 5.4 herausgearbeitet wurde, dürften sich auch bei den betrachteten Vergleichsflächen die Rangfolgen bei Berücksichtigung der Flächenanteile verschieben. Die Relevanz der Maßnahmentypen für die Bindung oder Freisetzung von Treibhausgasen definiert sich aber sowohl über den Maßnahmentyp und damit über die Anzahl durchgeführter Maßnahmen als auch über die Flächengröße.

## **5.5 Klimawirksamkeit ausgewählter Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen**

### **5.5.1 Einflussfaktoren für die Berechnung der Klimaschutzwirkung**

Während des Projektes stellte sich heraus, dass nicht alle Pflege- und Bewirtschaftungsmaßnahmen, die den jeweiligen Biototypen zugeordnet werden, für die Bewertung der Treibhausgasbilanz relevant bzw. abzubilden sind.

Einige wurden aufgrund der gesetzten Systemgrenze ausgelassen oder weil auch nach ausführlichen Recherchen keine belastbaren Werte in der Literatur zu finden waren. Für manche Maßnahmen stellte sich auch heraus, dass sie keinen Einfluss auf die Treibhausgasbindung oder -freisetzung haben. Nicht bewertet wurden beispielsweise ein doppelter Saatreihenabstand auf Acker (nicht klimawirksam bzw. keine Daten) oder reduzierte Viehbesatzdichten auf Grünland (Systemgrenze der Biotopfläche ungeeignet). Bei Aufforstungsflächen wurde das Vorhandensein von Totholz nicht mit einberechnet, da nach einem Zeitraum von 20 Jahren davon auszugehen ist, dass sich noch kein signifikanter Totholzanteil entwickeln konnte (vgl. auch Kap. 5.2).

Um die einzelnen Biototypen bewerten zu können, sind neben der Kenntnis über den Ausgangs- und Zielbiototyp folgende Steuergrößen von Bedeutung:

Naturgut und Bewirtschaftung	Steuerungsgrößen
Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bodentyp</li> <li>• Bodenart (Textur)</li> <li>• pH-Werte</li> </ul>
Wasserhaushalt	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrologische Bedingungen</li> </ul>
Klima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jahresdurchschnittstemperatur</li> <li>• Jahresniederschlag</li> </ul>
Management- und bewirtschaftungsabhängige Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landnutzungswandel</li> <li>• Fruchtart</li> <li>• Fruchtfolge</li> <li>• Anbau von Zwischenfrüchten</li> <li>• Mahdrhythmus</li> <li>• Düngemittel</li> <li>• Düngermenge</li> <li>• Erträge</li> <li>• Baumarten</li> </ul>

Tab. 2: Steuergrößen für die Treibhausgasbilanzberechnung

### 5.5.2 Referenzflächen

Projektflächen auf denen keine Maßnahmen durchgeführt werden, werden als Referenzflächen bezeichnet und zeigen mögliche Ausgangszustände an und dienen dazu, einen Überblick über die Spannbreite und die Höhe der Emissionen landwirtschaftlicher Flächen zu erhalten. Späteren Berechnungsergebnisse können hiermit verglichen und somit die Höhe der Klimaschutzwirkung von Veränderungen der Landnutzung in Relation gesetzt werden.

Bundesland	Lanuv-Code	Biotop-typ	Pflege und Bewirtschaftung	C Speicherung in pflanzlicher Biomasse (Mg C ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	C Speicherung im Boden (Mg C ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	N <sub>2</sub> O Emissionen kumuliert über 20 Jahre (Mg CO <sub>2</sub> -Äqu. ha <sup>-1</sup> )
Nordrhein-Westfalen	EA, xd	Intensiv-wiese	Konventionelle Düngung (Stickstoff, Phosphat, Kalium) mit Festmist, Flüssigmist oder Mineraldünger, mind. zweimalige Mahd pro Jahr, erstmalig vor der Hauptblüte, Herbizideinsatz, Einsaat, Bodenbearbeitung (Walzen, Schlep-pen, Eggen)	7,5 ±0,7	82,3±12,7	72,9±<0,1
Nordrhein-Westfalen	HA0, aci	Intensiv-acker	Konventioneller Dünger-, Herbizi-deinsatz und Düngetechnik	7,7±0,3	68,4±0,3	22,1±2,6

Tab. 3: Durchschnittliche Treibhausgasbindung und -freisetzung der Referenzflächen. Angegeben werden Mittelwerte mit Standardfehlern.

### 5.5.3 Hochwasserrückhaltebecken Dortmund-Mengede

Die Projektflächen der Emschergenossenschaft in Dortmund-Mengede stellten hinsichtlich der Treibhausgasbilanzberechnung eine besondere Herausforderung dar. Zunächst forderte die Größe der neu geschaffenen Hochwasserrückhaltebecken eine Differenzierung, da unterschiedliche Ausgangsbiototypen vorlagen. Das mittelgroße Becken C umfasste samt Beckendämmen rund 6 ha und setzte sich aus mehreren kleineren Flächen mit unterschiedlicher Landnutzung zusammen. Daher war eine auf die Ausgangszustände bezogene Auswahl von Teilbereichen erforderlich (s. auch Kap. 5.3).



Abb. 25: Hochwasserrückhaltebecken Dortmund-Mengede

Im Rahmen des Emscherumbaus und der Anlage dieses Hochwasserrückhaltebeckens wurden in Dortmund-Mengede erhebliche Mengen, mehrere Meter und verschiedene Bodenhorizonte, an Boden abgetragen und abtransportiert. Somit ergeben sich im Zielzustand völlig neue und andere Bodeneigenschaften und Kohlenstoffvorräte, die nicht ohne weiteres mit anderen Maßnahmen innerhalb des Projektes vergleichbar sind. Im Zielzustand wird davon ausgegangen, dass der Bodenkohlenstoff ähnlich hoch wie in Böden mit initialer Bodenentwicklung ist. Vor Ort zu finden ist demnach der Kohlenstoff, der bereits im Boden in dieser Tiefe im Unterboden vorhanden war. Von einer nennenswerten C-Anreicherung durch den Landnutzungswandel kann innerhalb des Bewertungszeitraums von 20 Jahren nicht ausgegangen werden. Auch die Auswirkungen von Flächenmanagement und Zielbiototyp auf den Bodenkohlenstoff wirken sich nur sehr langfristig differenzierend aus. Die C-Akkumulation entspricht der der initialen Bodenentwicklung und liegt damit weit unter  $0,5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Der Zielzustand der ausgewählten Beckendambereiche wurde als artreiche Mähwiese ohne Düngung bestimmt, da dieser Biotyp hierfür am stimmigsten erschien. Für die Sohlen wird die Entwicklung in Richtung eines Weiden-Bruchwaldes angenommen. Die Berechnung des Zielzustandes erwies sich als schwierig und möglicherweise mit Un-

sicherheiten behaftet. Diese sind insbesondere die Zuordnung des Zielzustandes und die Kalkulation des Bodenkohlenstoffs.

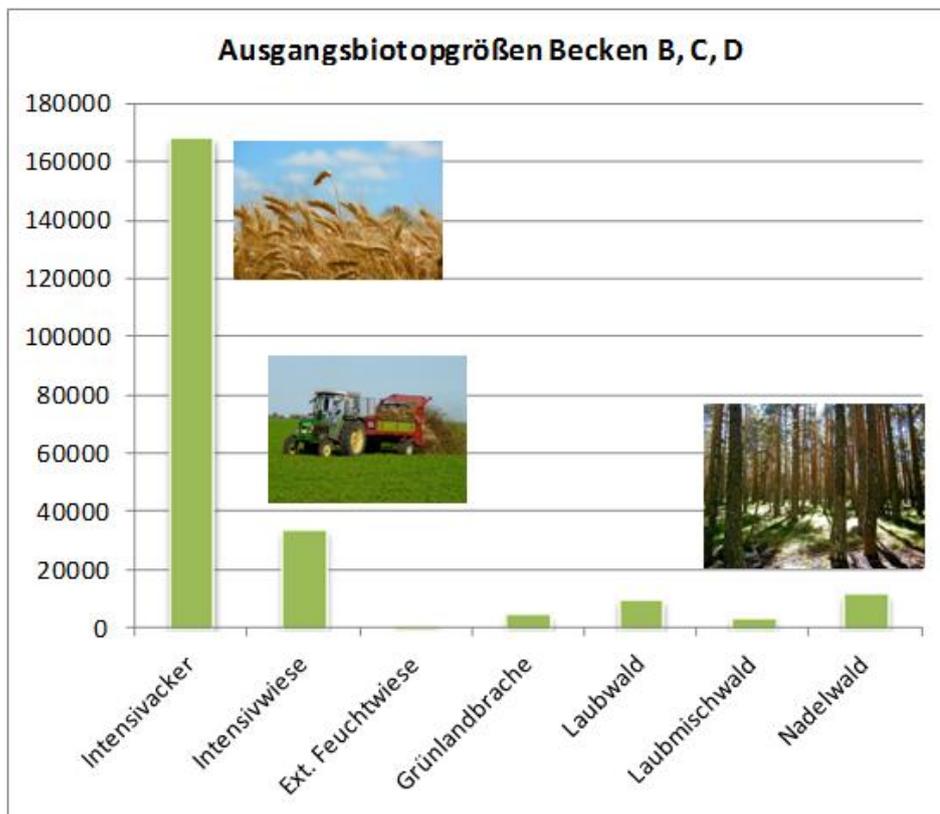


Abb. 26: Ausgangsbiotopgrößen der Becken B, C und D in m<sup>2</sup>

Die Bilanzierung einer Baumreihe mit dem Ausgangszustand konventionellem Intensivacker erbrachte unter Berücksichtigung von Verlusten durch den Bodenabtrag eine negative THG-Bilanz. Die Gesamtbilanz ist zwar weit weniger negativ als die der übrigen Maßnahmen, weil Gehölzmaßnahmen den größten Klimaeffekt zeigten. Die C-Sequestrierung der holzigen Biomasse kann den Verlust an C durch den Bodenabtrag aber nicht ausgleichen. Die N<sub>2</sub>O Minderemissionen wirken sich aufgrund des Bodenabtrags und des damit verbundenen sehr großen negativen Treibhausgaseffekts vergleichsweise gering auf die Gesamttreibhausgasbilanz dieser Maßnahmen aus. Negative N<sub>2</sub>O-Flüsse bedeuten geringere Treibhausgasemissionen im Zielzustand nach 20 Jahren.

Zusätzlich zum herkömmlichen Bewertungsansatz wurde für die Flächen in Dortmund-Mengede eine alternative Berechnung, die einen klimabe-

zogenen Ansatz im Gegensatz zum flächenbezogenen Ansatz zugrunde legt, durchgeführt. Der Verbleib der abgetragenen Bodenmengen ist nicht eindeutig geklärt, jedoch ist eine Umlagerung beispielsweise in Kiesgruben zu vermuten. Hierbei ist zunächst von einem geringen mikrobiellen Abbau des Bodenkohlenstoffs auszugehen, da in tieferen Bodenhorizonten, wie in Kiesgruben, vergrabener Bodenkohlenstoff als stabilisiert angesehen wird (QUINTON et al. 2010). Im Zuge der initialen Bodenentwicklung innerhalb der Becken in Mengede würde allerdings zusätzlicher Kohlenstoff im Boden akkumuliert, der den Abbau von Bodenkohlenstoff anderenorts in etwa ausgleicht. Daher wird bei diesem Bewertungsansatz von keiner Änderung der Kohlenstoffvorräte im Boden (Kohlenstoffverluste) ausgegangen, da der Kohlenstoff insgesamt gesehen nicht freigesetzt, sondern lediglich an einen anderen Ort umgelagert wurde. Hierbei würden sich also global gesehen keine klimarelevanten Effekte durch Veränderungen der Bodenkohlenstoffvorräte ergeben. Bei diesem Ansatz ergibt sich die Klimawirksamkeit aus den Veränderungen der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse und den Veränderungen der N<sub>2</sub>O-Emissionen über 20 Jahre.

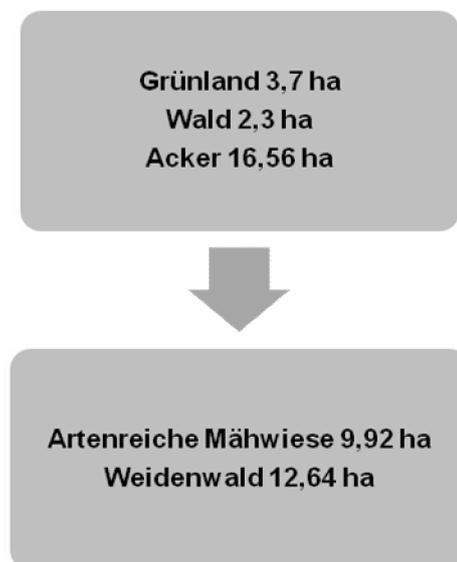


Abb. 27: Flächenentwicklung in Dortmund-Mengede

### Klimawirksamkeit Entwaldung

Den größten Einfluss auf die Treibhausgasbilanz des HRB Mengede hatte die Umwandlung von ursprünglich 2,3 ha Wald in andere Nutzungsformen. In Wäldern sind allein in der Biomasse sehr große Mengen Kohlenstoff gespeichert, die mit der Entwaldung verloren gehen und

damit die Treibhausgasbilanz verschlechtern. Auf dem Waldstück betrug der Kohlenstoffverlust durch Reduzierung der Biomasse  $172 \text{ Mg C ha}^{-1}$ . Das entspricht für das gesamte Waldstück  $1.450 \text{ Mg CO}_2\text{-Äqu.}$  oder umgerechnet den Treibhausgasemissionen von sechs Bundesbürgern über einen Zeitraum von 20 Jahren.

Bei Betrachtung eines längeren Zeitraums kann davon ausgegangen werden, dass sich in Teilen des HRB Mengede eine Art Bruchwald etabliert, der dominiert wird von Weichhölzern wie Weiden und Erlen. Der in der Biomasse dieses neuen Waldes sich akkumulierende Kohlenstoff kann einen Teil der Verluste der Entwaldung ausgleichen. Da in einem Bruchwald hauptsächlich durch die geringere Holzdichte wesentlich weniger Kohlenstoff gespeichert wird als in einem Hartholz-Laubwald, wird der C-Verlust bei Betrachtung eines 20-jährigen Zeitraums aber nur von durchschnittlich  $172 \text{ Mg ha}^{-1}$  auf  $147 \text{ Mg ha}^{-1}$  reduziert. Die Ergebnisse zeigen die große Bedeutung von Kohlenstoff in der Biomasse hinsichtlich der Klimarelevanz, welche durch die Nutzungsform leicht zu beeinflussen ist.

Aus Abbildung 28 geht außerdem hervor, dass die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen und deren Veränderung mit der Nutzungsänderung keine Rolle für die Treibhausgasbilanz des HRB Menge spielen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Vorhersage der  $\text{N}_2\text{O}$ - und auch möglicher Methanemissionen in den grundwasserbeeinflussten Bereichen des HRB kaum möglich ist. Es fehlen dazu validierte Modelle und Datengrundlagen. Die Rolle dieser zwei Treibhausgase lässt sich also ohne direkte Messungen vor Ort nicht abschließend quantifizieren.

Abbildung 28 zeigt die relativen Treibhausgaswirkungen der Landnutzungsänderungen im Bereich des HRB Mengede bezogen auf einen Hektar. Darin dominieren die negativen Effekte durch die teilweise Entwaldung. Unter Berücksichtigung der jeweiligen tatsächlichen Flächengrößen für die betrachteten Landnutzungsänderungen ist die Gesamtbilanz für die landnutzungsbezogenen Treibhausgase des HRB Mengede mit  $172 \text{ Mg CO}_2\text{-Äqu.}$  jedoch leicht positiv (vgl. Tab. 4). Das würde die Treibhausgasemissionen eines Bundesbürgers über 20 Jahre kompensieren. Dieser Effekt entsteht dadurch, dass Landnutzungsänderungen mit positiven Klimaeffekten vergleichsweise große Flächen beanspruchen. Insbesondere ist hier die Entwicklung eines Weidenwaldes an der Beckensohle zu nennen.

## Ergebnisse

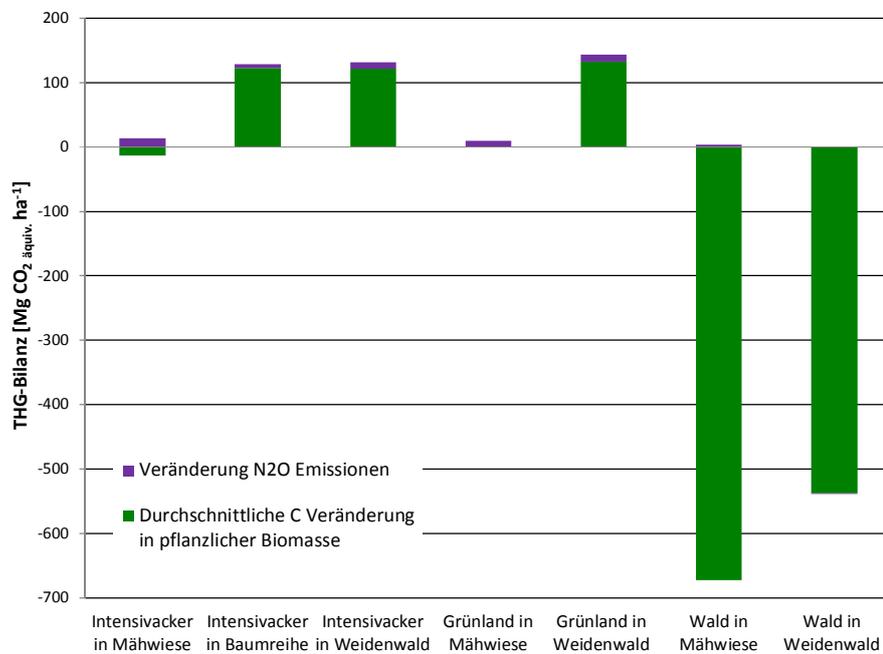


Abb. 28: Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung pro Hektar über einen Zeitraum von 20 Jahren<sup>4</sup>.

Landnutzungsänderung	Größe ha	Mg CO <sub>2</sub> -Äqu. / ha	Mg CO <sub>2</sub> -Äqu. gesamt
Intensivacker in Mähwiese	6,79	< 0,5	3
Intensivacker in Baumreihe	0,07	128	9
Intensivacker in Weidenwald	9,7	131	1.271
Grünland in Mähwiese	1,5	10	15
Grünland in Weidenwald	2,2	143	321
Wald in Mähwiese	1,6	-668	-1.070
Wald in Weidenwald	0,7	-539	-377
Summe	22,56		172

Tab. 4: Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung pro Hektar und gesamt für alle Teilflächen des HRB

<sup>4</sup> Positive Werte bedeuten Klimaschutz, negative bedeuten Emissionserhöhungen oder Kohlenstoffverluste. Bodenkohlenstoffvorratsänderungen wurden als null angenommen, Bodenabtrag wurde nicht berücksichtigt.

#### 5.5.4 Treibhausgasbilanzen ausgewählter Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in Brandenburg, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein

In diesem Kapitel sind die mittleren Treibhausgasbilanzen der wichtigsten Kompensationsmaßnahmen (Extensivierungen) zusammenfassend dargestellt (Abb. 29). Es wurden nur die Bilanzen, die mit dem höchsten Detailgrad berechnet wurden, einbezogen. Insgesamt zeigt sich, dass die Treibhausgasbilanzen durch die Veränderung der Kohlenstoffvorräte bestimmt werden, die Änderungen der N<sub>2</sub>O-Emissionen spielen eine untergeordnete Rolle. Durch die Tatsache, dass Äcker geringere Bodenkohlenstoffvorräte haben als seminatürliche Systeme wie Wälder und Grünland, kommt es immer bei der Umwandlung von Äckern in Wälder oder Grünlandökosysteme zu signifikanter Kohlenstoffakkumulation im Boden. Diese bestimmt die Treibhausgasbilanz mit 18 bis 20 Mg C ha<sup>-1</sup>. Zusätzlich können Ökosysteme mit holziger Biomasse große Mengen Kohlenstoff in der Biomasse akkumulieren. Dies bedingt, dass Feldgehölze und Hecken eine der besten Treibhausgasbilanzen aufweisen, besonders wenn sie auf vormaligen Äckern angelegt wurden. Die etwas niedrigeren Biomasse-C Akkumulationsraten in Aufforstungen im Vergleich zu Hecken sind in deren langsamerer Etablierung und Jugendwachstum begründet. Hier wurde immer nur ein Zeithorizont von 20 Jahren betrachtet. Bei längeren Zeithorizonten würden die Aufforstungen im Vergleich zur Heckenanlage bessere Treibhausgasbilanzen aufweisen, da Hecken regelmäßig auf den Stock gesetzt werden und daher nach 10-20 Jahren bereits die Zielbiomasse erreicht haben.

Auffällig sind die häufig auftretenden Kohlenstoffverluste in der Biomasse, wenn keine holzigen Pflanzen beteiligt sind. Dies ist mit der geringeren Produktivität der extensivierten Grünlandbiotop gegenüber intensiv bewirtschafteten Grünlandflächen begründet. Dadurch ergibt sich eine geringere mittlere stehende Biomasse, die auch durch geringere Schnittfrequenzen nicht ausgeglichen wird. Die Höhe der Veränderung der Biomassevorräte ist aber mit hohen Unsicherheiten behaftet, da die Grünlandbiomasse meist nur als maximale Biomasse bestimmt wird und es für extensive Grünländer und auch Ruderalbiotop fast keine repräsentativen Biomasseinventuren gibt.

Die Extensivierung von Grünland wirkt sich besonders stark auf die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus. Hier kommt es zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen, die fast 73 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. ha<sup>-1</sup> über einen Zeitraum von 20

Jahren entspricht. Grünland emittiert mehr N<sub>2</sub>O pro kg N-Dünger als Acker (DECHOW, FREIBAUER 2011). Eine Reduktion der Düngemittelgaben durch Extensivierung wirkt sich deshalb auf Grünländern umso stärker aus.

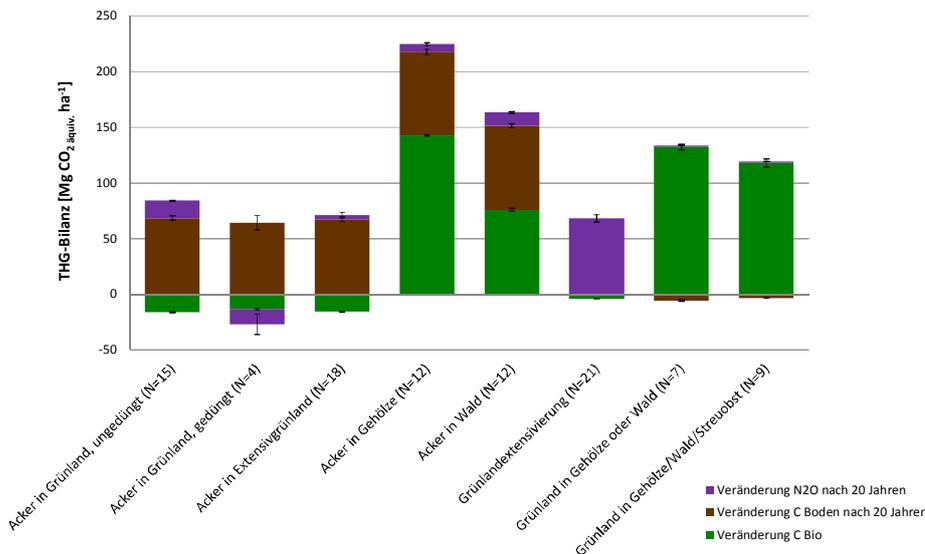


Abb. 29: Ergebnisse der Treibhausgasbilanzberechnung über 20 Jahre als Mittelwerte über alle Einzelflächen nach Maßnahmen<sup>5</sup>

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Treibhausgasbilanzen ins Verhältnis zu den gemäß LANUV (2008) zuzuordnenden Biotopwerten gesetzt.

### 5.5.5 Synergien zwischen Naturschutz und Klimaschutz

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Treibhausgasbilanzen ins Verhältnis zu den gemäß LANUV (2008) zuzuordnenden Biotopwerten gesetzt.

Dabei wird deutlich, dass erwartungsgemäß Maßnahmen zur Gehölzentwicklung (Aufforstungen, Baumreihen, Feldgehölze usw.) die größten positiven Klimaeffekte aufweisen und gleichzeitig eine hohe ökologische Wertentwicklung zeigen. Aber auch Maßnahmen zur Grünlandentwicklung weisen signifikante Wertzuwächse bei gleichzeitig weitgehend positiver Klimabilanz auf. Bei den Treibhausgasbilanzen ist zu beachten, dass es sich um flächenspezifische Werte handelt. Maßnahmen zur

<sup>5</sup> Positive Werte für N<sub>2</sub>O entsprechen einer Emissionsminderung, negative einer Erhöhung.

Grünlandentwicklung weisen jedoch gegenüber Gehölzentwicklungsmaßnahmen in der Regel größere Flächenzuschnitte auf. Insofern können für diese Maßnahmen auch relativ kleine positive Treibhausgasbilanzen über die Flächengröße nennenswerte positive Klimaeffekte bedingen.

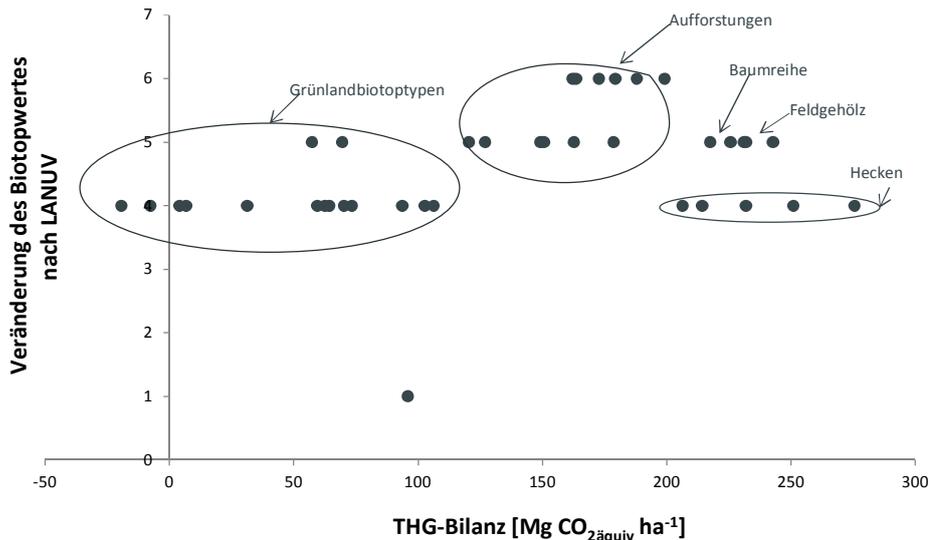


Abb. 30: Treibhausgasbilanzen und Biotopwertzuwächse nach LANUV (2008) beim Ausgangszustand Intensivacker<sup>6</sup>

Die möglichen ökologischen Wertzuwächse auf Grünlandflächen sind gegenüber Maßnahmen auf Ackerflächen naturgemäß kleiner, da Grünland im Ausgangszustand bereits höher bewertet wird. Auch hier zeigen Maßnahmen zur Gehölzentwicklung die größten positiven Effekte. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass Aufforstungsmaßnahmen auf Grünlandflächen in einigen Bundesländern nicht mehr möglich sind bzw. wiederum Ausgleichsmaßnahmen für dann verloren gehendes Grünland nach sich ziehen. Dies besagt beispielsweise die Dauergrünlanderhaltungsverordnung NRW. In NRW zeichnet sich für die Durchführung von Kompensationsmaßnahmen auf Grünland ein zunehmender Trend dahingehend ab, dass nahezu ausschließlich Maßnahmen zur Extensivierung möglich sind.

<sup>6</sup> Positive Treibhausgasbilanzen entsprechen einer Emissionsminderung. Dargestellt sind die kumulativen Klimaeffekte über 20 Jahre.

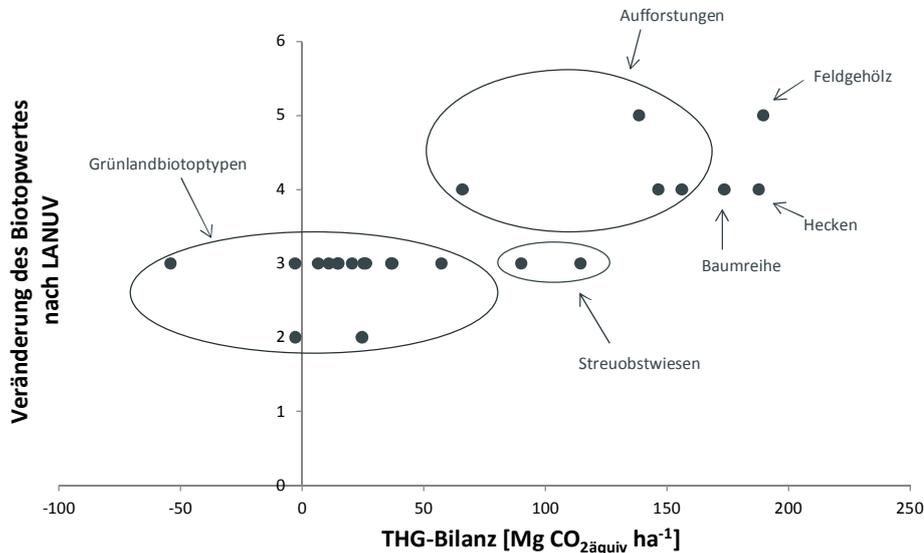


Abb. 31: THG-Bilanzen und maximal mögliche Biotopwertzuwächse nach LANUV (2008) für Ausgangszustand Grünland<sup>7</sup>

### 5.5.6 Unterschiede zwischen den Detailgraden der Treibhausgasberechnungen

Die Ergebnisse der 3 Detailgradebenen beruhen auf unterschiedlichen Datenquellen. Je höher der Detailgrad, desto mehr standortspezifische Daten wurden verwendet. Abb. 32 zeigt den relativen Unterschied zwischen Berechnungen mit nationalen Mittelwerten (T1) und standortspezifischen Daten und Verfahren (T3). Besonders die berechneten N<sub>2</sub>O-Emissionen unterschieden sich deutlich zwischen dem Detailgrad 1 und 3 mit Veränderungen von 60 bis über 350%. Weniger als 40% unterscheiden sich dahingegen die Bilanzen der Kohlenstoffvorräte in Boden und Biomasse für die zwei unterschiedlichen Detailgrade. Dies lässt sich einerseits darauf zurück führen, dass das Modell zur Berechnung der N<sub>2</sub>O-Emissionen mehr standortspezifische Faktoren zulässt als die Modelle zur Berechnung der Kohlenstoffvorratsänderungen. Es könnte aber auch auf eine höhere standortspezifische Variabilität der N<sub>2</sub>O-Emissionen im Vergleich zu den Kohlenstoffvorräten hindeuten.

<sup>7</sup> Positive Treibhausgasbilanzen entsprechen einer Emissionsminderung. Dargestellt sind die kumulativen Klimateffekte über 20 Jahre.

Generell lässt sich mit groben nationalen oder regionalen Detailgraden zwar die Richtung der Emissionsentwicklung sicher bestimmen, die absolute Höhe der Emissionsveränderung ist aber sehr unsicher. Es war im begrenzten Zeitrahmen des Projektes unmöglich, die Unsicherheiten der verschiedenen Detailgrade systematisch zu untersuchen. Es bleibt offen, mit welchen Unsicherheiten die Ergebnisse der Einzelflächen auf andere Standorte und Regionen übertragen werden können. Abb. 32 ermöglicht aber eine erste grobe Schätzung der Extrapolationsunsicherheit, da der nationale Mittelwert bei Detailgrad 1 als typischer Zustand gelten kann. Demnach ist die Treibhausgasminderung grob mit einer Unsicherheit von 100% mit Detailgrad 1 zu ermitteln. Ähnlich groß dürfte die Unsicherheit der Extrapolation sein. Die Unsicherheit lässt sich deutlich reduzieren, wenn regional- oder standortspezifische Extrapolationsregeln aufgestellt werden und eine systematische Regionalisierung der Daten erfolgt.

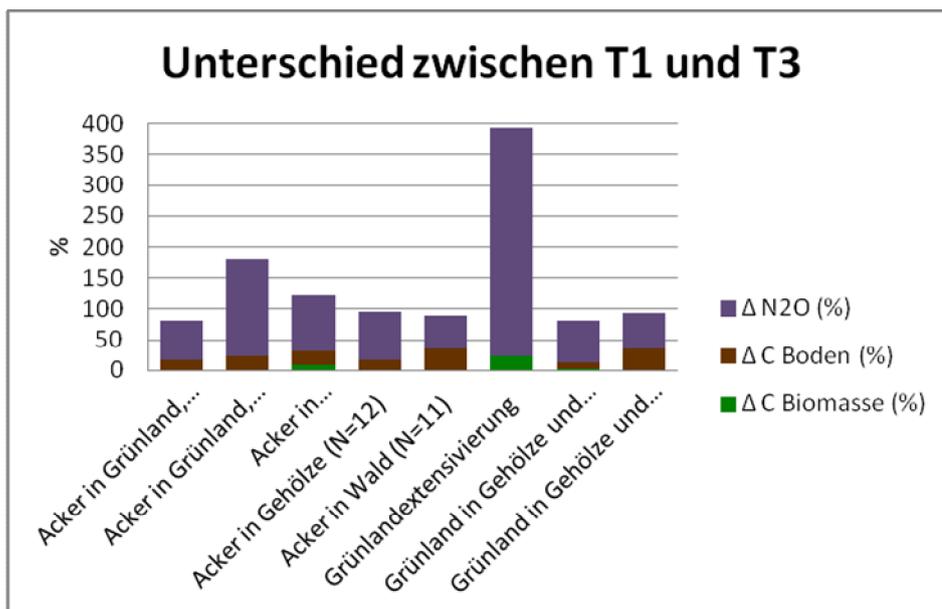


Abb. 32: Unterschied zwischen den Detailgraden 1 und 3 (T1 und T3)

## 6 Fazit

Im K&K-Projekt wurden erstmalig differenziert für verschiedene Landnutzungsänderungen auf Biotoptypenbasis Treibhausgasbilanzen erstellt. In einer Publikation von LUYSSAERT et al. (2014) wurde darauf aufmerksam gemacht, dass nicht nur die Landnutzungsänderungen die Klimabilanz beeinflussen, sondern auch Landmanagementänderungen innerhalb der Landnutzungssysteme. Landmanagementänderungen wurden bisher in der Emissionsberichterstattung nicht abgebildet und kaum beachtet. In diesem Projekt wurden erstmalig Landmanagementänderungen umfassender beleuchtet. Im Rahmen des Projekts nicht bestimmt wurden die Unsicherheiten der errechneten Treibhausgasbilanzen. Diese setzen sich zusammen aus den Unsicherheiten der Eingangsgrößen und Abweichungen der realen Feldsituation von den angenommenen Mittelwerten, z. B. für Biomasse, Düngung und Bodenkohlenstoff. Für einzelne Flächen können diese Abweichungen beträchtlich sein. Im Mittel von vielen Flächen reduziert sich dieser Fehler. Nur durch langjährige Messungen der Treibhausgasbilanz vor und nach der Umwandlung ließen sich Daten gewinnen, die zu einer Validierung der berechneten Treibhausgasbilanzen nötig sind. Solche Daten sind nirgends verfügbar, weshalb eine direkte Validierung der Treibhausgasbilanzen nicht möglich war.

Die Bewertung der Treibhausgasbilanzen von Maßnahmen der naturschutzfachlichen Eingriffsregelung war differenziert für drei Detailgrade möglich. Allerdings konnten nicht alle Biotoptypen flächenspezifisch bewertet werden, da z. T. Datengrundlagen nicht mit ausreichender Differenzierung verfügbar sind (beispielsweise für Hecken). Die größten relativen Treibhausgasbindungspotenziale zeigten sich bei Maßnahmen zur Gehölzentwicklung, wie beispielsweise bei der Anlage von Hecken oder Feldgehölzen und der Aufforstung von landwirtschaftlichen Flächen. Hierbei handelt es sich gleichzeitig um Maßnahmen, die aus Naturschutzsicht relevant sind, wodurch Synergieeffekte ausgenutzt werden können (vgl. VON HAAREN et al. 2010). Die Bedeutung von Maßnahmen zur Entwicklung von extensivem Grünland wird besonders über die Einbeziehung der Gesamtflächengrößen ersichtlich. Als Bewirtschaftungsmaßnahme spielt die Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldünger eine große Rolle. Ausbleibende oder reduzierte Düngung, insbesondere bei Grünland, führt zu einer signifikanten Reduktion der N<sub>2</sub>O-Emissionen, was sich positiv auf die Treibhausgasbilanz auswirkt. Für

den Gesamteffekt einer Maßnahme ist außerdem die Flächengröße entscheidend. Maßnahmen mit hoher Klimawirksamkeit wirken sich, sofern sie nur mit geringen absoluten Flächengrößen umgesetzt werden, kaum aus, und umgekehrt addieren sich auch relativ geringe Klimaeffekte über größere Maßnahmenflächen zu relevanten Klimaschutzbeiträgen.

Im Mittel aller Maßnahmen ergab sich eine Treibhausgasreduzierung von 110 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. ha<sup>-1</sup> über 20 Jahre bzw. 5,5 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>. Dieser Wert liegt im Rahmen üblicher Werte für Landnutzungsänderungen in Deutschland (UBA 2014a).

Die Effekte auf die nationale Treibhausgasbilanz, die mit Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen erzielt werden können, sind entsprechend dem relativ geringen Anteil von Kompensationsflächen an der deutschen Gesamtfläche eher gering. Keine der untersuchten Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen konnte mehr als die durchschnittlichen jährlichen Treibhausgasemissionen von 3 Bundesbürgern kompensieren. Allerdings korrespondiert diese Zahl stark mit den betrachteten Einzelflächengrößen. Deutschland emittierte 2012 rund 936 Mio. Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. Treibhausgase. Wenn man die Treibhausgasbindung aller Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen auf den geschätzten jährlich ca. 30.000 ha Kompensationsflächen hinsichtlich ihrer Treibhausgasbilanz hochrechnet, kommt man auf einen Effekt, der ca. 0,3 %<sup>8</sup> der nationalen Treibhausgasbilanz entspricht. Bezogen auf die Einwohnerzahl der Bundesrepublik Deutschland von rund 81 Mio. (Stand 2014) bedeutet dies eine Kompensation der Treibhausgasemissionen von etwa 240.000 Bundesbürgern. Wenn man durch eine Lenkung hin zu Biototypen mit verholzter Biomasse (Hecken, Aufforstungen) zu Lasten von Grünlandbiotopen die Auswahl der Biototypen optimieren würde (rund 7 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> Treibhausminderung auf einen Zeitraum von 20 Jahren, anstatt der im Projekt ermittelten Durchschnittswerte von 5,5 Mg CO<sub>2</sub>-Äqu. ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>), würden sie knapp 0,5 % der deutschen Treibhausgasemissionen kompensieren (entspricht den THG-Emissionen von etwa 405.000 Bundes-

---

<sup>8</sup> Bei dieser Betrachtung wird davon ausgegangen, dass auch in den Vorjahren und den Folgejahren eines Referenzjahres jeweils 30.000 ha Kompensationsflächen/a angelegt werden. Daher werden hier nicht nur die von den in einem einzelnen Jahr angelegten Flächen gebundenen Treibhausgase, sondern die durchschnittlich gebundenen Treibhausgase in Kompensationsflächen von 20 Jahren berücksichtigt, die innerhalb eines Referenzjahres klimawirksam sind. Deshalb sind nicht nur die jährlich rund 30.000 ha Kompensationsfläche, sondern die zu einem Betrachtungszeitraum wirksamen Kompensationsflächen über 20 Jahre, also 600.000 ha Fläche, Grundlage dieser Betrachtung.

bürgern). Diese Größenordnungen machen deutlich, dass Klimaschutz an den größten Quellen von Treibhausgasen ansetzen muss (Verbrennung fossiler Rohstoffe), trotzdem ist es vor dem Hintergrund des geringen Flächenanteils der Kompensationsflächen bemerkenswert, wie groß der Effekt der Kompensationsmaßnahmen auf die nationale Treibhausgasbilanz dennoch ist.

Wenn Landnutzungs- und Landmanagementänderungen mit positiven Klimaeffekten großflächig umgesetzt würden, wäre der Effekt aber durchaus relevant. Hierbei sind aber die in Kap. 3.5 erwähnten indirekten Leakage-Effekte zu berücksichtigen.

Rechtlich ist das Schutzgut Klima im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) verankert. Es fehlt jedoch an praktikablen Instrumenten zur Umsetzung, die derzeit höchstens eingeschränkt vor allem auf lokaler Ebene stattfindet. Ansatzpunkte wären hier entsprechende gesetzliche Grundlagen und/oder Förderprogramme, zum Beispiel im Rahmen des Vertragsnaturschutzes (VON HAAREN et al. 2010). Eine gesetzliche Verpflichtung zur Berücksichtigung der Klimabilanz bei der Planung von Kompensationsmaßnahmen erscheint, zumindest zum jetzigen Zeitpunkt und Forschungsstand, nicht sinnvoll, da belastbare und verifizierte Ergebnisse fehlen. Inwieweit eine Implementierung theoretisch möglich wäre, konnte in diesem Projekt nicht festgestellt werden. Allerdings erscheint eine praktische Nutzung der Ergebnisse dieses Forschungsprojekts in der Landschaftsplanung vor dem Hintergrund des Klimawandels sinnvoll und möglich. So wäre es möglich, die Klimabilanz von ökologischen Entwicklungsmaßnahmen mit einer sinnvollen einzelfallbezogenen Gewichtung in die Planungspraxis einzubeziehen, ohne Einbußen auf Seiten des Naturschutzes befürchten zu müssen. Eine zweckmäßige Abwägung der Belange des Natur- und Klimaschutzes wäre somit realisierbar.

Um diese Möglichkeiten nutzen zu können, sind jedoch weitere Forschungen erforderlich. Insbesondere ist zu überprüfen, ob und mit welchem Aufwand die vorgelegten Ergebnisse auf Landnutzungsänderungen an anderen Standorten als im Rahmen dieses Projektes betrachtet, übertragbar sind. Zudem wäre eine Unsicherheitenanalyse wünschenswert, um den Grad der möglichen Streuung von hier berechneten Werten genauer ermitteln zu können und die Übertragung der quantitativen Ergebnisse auf andere Regionen und Standorte robust zu gestalten. An-

zustreben ist ein Handlungsleitfaden, der mit hinreichender Genauigkeit, aber in der Planungspraxis vertretbarem Aufwand eine Ableitung des Klimaeffektes von Landnutzungsänderungen ermöglicht.

## 7 Literaturverzeichnis

AGENTIA MOLDSILVA (o.J.): Moldova Community Forestry Project.  
Internet: [www.moldsilva.gov.md](http://www.moldsilva.gov.md). Chi in u (Moldawien).

ARGE EINGRIFF . AUSGLEICH NRW: Entwicklung eines einheitlichen Bewertungsrahmens für straßenbedingte Eingriffe in Natur- und Landschaft und deren Kompensation, veröffentlicht von der Landesregierung Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf 1994.

ASCHE, N. (2007): Wald und Klimawandel in NRW. Abrufbar Internet: [www.wald-und-holz.nrw.de](http://www.wald-und-holz.nrw.de).

AUSGLEICHAGENTUR SCHLESWIG-HOLSTEIN GMBH (o.J.):  
Flächendaten und Beschreibungen von Flächenpools. Molfsee.

BAUGESETZBUCH - BAUGB in der Fassung vom 23. September 2004,  
zuletzt geändert am 20. November 2014.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2013): Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Infozentrum UmweltWirtschaft. Internet: [www.izu.bayern.de](http://www.izu.bayern.de). Augsburg. (zitiert: LFU 2013).

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2011): Kohlenstoffspeicherung von Bäumen. In: LWF Merkblatt 27. Freising. (zitiert: LWF 2011).

BREITSCHUH, T.; HELZEL, S. (2012): Berechnung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten für einen Landwirtschaftsbetrieb. In: Neue Landwirtschaft, 5/2012. Internet: [www.neuelandwirtschaft.agrarheute.com](http://www.neuelandwirtschaft.agrarheute.com). Hannover.

BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND, LANDESVERBAND BREMEN; ERLEBNIS BREMERHAVEN, GESELLSCHAFT FÜR TOURISTIK, MARKETING UND VERANSTALTUNGEN MBH (o.J.): Steckbrief Klimamoor "Dorumer Moor". Bremen, Bremerhaven. (zitiert: BUND LV BREMEN o.J.).

BUNDESAMT, S. (2014). Ertrag je Hektar (Feldfrüchte und Grünland): Deutschland, Jahre, Fruchtarten. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt.

BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2014): Sponsoring, Märkte und Vermarktung. Internet: [www.bfn.de](http://www.bfn.de). Bonn. (zitiert: BFN 2014)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2013): Verordnung über die Kompensation von Eingriffen in Natur und Landschaft (Bundeskompensationsverordnung . BkompV), Stand 2013. Bonn. (zitiert: BMUB 2013)

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (2011): Internationale Klimapolitik. Kyoto-Mechanismen. Projekte. Internet: [www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de). Berlin. (zitiert: BMUB 2011)

BUNDESNATURSCHUTZGESETZ - BNatSchG vom 29. Juli 2009, zuletzt geändert am 7. August 2013.

BUNDESPROGRAMM ÖKOLOGISCHER LANDBAU (o.J.): Vorgaben für den ökologischen Landbau. Internet: [www.bundesprogramm.de](http://www.bundesprogramm.de). Bonn. (zitiert: BÖLN o.J.).

BUND / LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENSCHUTZ (2010): LABO-Positionspapier - Klimawandel - Betroffenheit und Handlungsempfehlungen des Bodenschutzes. Abrufbar Internet: [www.labo-deutschland.de](http://www.labo-deutschland.de). Dresden 2010. (zitiert: LABO 2010).

CANTY AND ASSOCIATES (Stand 2014): weatherbase. Örtliche Wetterdatenbank. Internet: [www.weatherbase.com](http://www.weatherbase.com). Virginia, USA.

DECHOW, R.; FREIBAUER, A. (2011). Assessment of German nitrous oxide emissions using empirical modelling approaches. Nutrient Cycling in Agroecosystems 91(3): 235-254.

DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (2014): Kurzinfo Klimaschutz. Internet: [www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de). Berlin.

DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (2011): Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.

DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin.

DEUTSCHER BUNDESTAG (2007): Landwirtschaft und Klimaschutz. Berlin.

DEUTSCHER WETTERDIENST (Stand 2015): Jahreszeitreihen der Gebietsmittel aus Brandenburg inkl. Berlin, Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein; Lufttemperatur (Jahreswerte), 1881 bis 2014. Internet: [www.dwd.de](http://www.dwd.de). Offenbach. (zitiert: DWD 2015).

DEUTSCHLÄNDER, T; DALELANE, C. (2012): Auswertung regionaler Klimaprojektionen für Deutschland hinsichtlich der Änderung des Extremverhaltens von Temperatur, Niederschlag und Windgeschwindigkeit. Ein Forschungsvorhaben der ressortübergreifenden Behördenallianz Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bundesanstalt Technisches Hilfswerk, Deutscher Wetterdienst, Umweltbundesamt. Abschlussbericht, Offenbach am Main, Oktober 2012.

DRÖSLER, M. (2005): Trace gas exchange and climatic relevance of bog ecosystems, Southern Germany, Lehrstuhl für Vegetationsökologie, Departement Ökologie, TUM, München, 179 pp.

DRÖSLER, M.; FREIBAUER, A.; ADELMANN, W.; AUGUSTIN, J.; BERGMAN, L.; BEYER, C.; CHOJNICKI, B.; FÖRSTER, C.; GIEBELS, M.; GÖRLITZ, S.; HÖPER, H.; KANTELHARDT, J.; LIEBERSBACH, H.; HAHN-SCHÖFL, M.; MINKE, M.; PETSCHOW, U.; PFADENHAUER, J.; SCHALLER, L.; SCHÄGNER, P.; SOMMER, M.; THUILLE, A.; WEHRHAN, M. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis - Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt *sKlimaschutz - Moornutzungsstrategien%2006-2010*.

DUNGER, K.; STÜMER, W.; OEHMICHEN, K.; RIEDEL, T.; BOLTE, A. (2009): Der Kohlenstoffspeicher Wald und seine Entwicklung. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. In: Allgemeine Forst Zeitschrift (AFZ), Nr. 20 2009. Stuttgart.

EMSCHERGENOSSENSCHAFT / LIPPEVERBAND (Stand 2014):  
Flächendaten und -beschreibungen. Essen. (zitiert:  
EMSCHERGENOSSENSCHAFT Stand 2014).

EG (2013) BESCHLUSS Nr. 529/2013/EU DES EUROPÄISCHEN  
PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2013 über die  
Anrechnung und Verbuchung von Emissionen und des Abbaus von  
Treibhausgasen infolge von Tätigkeiten im Sektor Landnutzung,  
Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft und über  
Informationen zu Maßnahmen in Zusammenhang mit derartigen  
Tätigkeiten. Internet: [http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/  
PDF/?uri=CELEX:32013D0529&from=EN](http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0529&from=EN).

EG (2009) ENTSCHEIDUNG Nr. 406/2009/EG DES EUROPÄISCHEN  
PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. April 2009 über die  
Anstrengungen der Mitgliedstaaten zur Reduktion ihrer  
Treibhausgasemissionen mit Blick auf die Erfüllung der  
Verpflichtungen der Gemeinschaft zur Reduktion der  
Treibhausgasemissionen bis 2020. Internet: [http://eur-  
lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009D0406&  
rom=EN](http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009D0406&from=EN).

FARGIONE, J., HILL, J.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; HAWTHORNE, P.  
(2008). Land clearing and the biofuel carbon debt. *Science*  
319(5867): 1235-1238.

FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY, G. (2013): Submission under the  
United Nations Framework Convention on Climate Change and the  
Kyoto Protocol 2013. National Inventory Report for the German  
Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2011, Federal Environment  
Agency, Germany.

FLÄCHENAGENTUR BRANDENBURG GMBH (Stand 2014):  
Flächendaten und Beschreibungen von Flächenpools. Brandenburg  
an der Havel.

FLÄCHENAGENTUR BRANDENBURG GMBH (Stand 2014): Steckbrief  
Rehwiese / Fließgraben. Internet: [www.flaechenagentur.de](http://www.flaechenagentur.de).  
Brandenburg an der Havel.

FORSTLICHE VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT BADEN-WÜRTTEMBERG (1996): Lebensraum Waldrand. Schutz und Gestaltung. In: Merkblätter Waldökologie, Nr. 2. Internet: [www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de). Freiburg. (zitiert: FVA 1996).

FREIBAUER, A.; OSTERBURG, B.; REITER, K.; RÖDER N. (2012): The CAP post 2013: ineffective for mitigating climate change. EuroChoices 11(3): 4-9. Internet: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1746-692X.12002/pdf>.

FRITSCHKE, U. R.; SIMS, R. E. H.; MONTI, A. (2010): Direct and indirect land-use competition issues for energy crops and their sustainable production - an overview. Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr 4(6): 692-704.

GASCADE GASTRANSPORT GMBH (o.J.): Kompensationsflächen-daten zur statistischen Auswertung. Kassel.

GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN (Stand 2014): Bodendaten. Abrufbar Internet: [www.tim-online.nrw.de](http://www.tim-online.nrw.de). Krefeld. (zitiert: GD NRW Stand 2014).

GESETZ ÜBER DIE UMWELTVERTRÄGLICHKEITPRÜFUNG - UVPG vom 24. Februar 2010, zuletzt geändert am 25. Juli 2013.

GESETZ ZUR FÖRDERUNG DES KLIMASCHUTES IN NORDRHEIN-WESTFALEN - KLIMASCHUTZGESETZ NRW vom 29. Januar 2013.

GESETZ ZUM SCHUTZ VOR SCHÄDLICHEN BODENVERÄNDERUNGEN UND ZUR SANIERUNG VON ALTLASTEN - BUNDES-BODENSCHUTZGESETZ (BBodSchG) vom 17. März 1998, zuletzt geändert am 24. Februar 2012.

GESETZ ZUR SICHERUNG DES NATURHAUSHALTES UND ZUR ENTWICKLUNG DER LANDSCHAFT (LANDSCHAFTSGESETZ NORDRHEIN-WESTFALEN - LG NRW) in der Fassung vom 21. Juli 2000, zuletzt geändert am 16. März 2010.

- VON HAAREN, C., SAATHOFF, W., BODENSCHATZ, T., LANGE, M. (2010): Der Einfluss veränderter Landnutzungen auf Klimawandel und Biodiversität. Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 94. Bonn, Bad Godesberg.
- HAENEL, H.-D.; RÖSEMANN, C.; DÄMMGEN, U.; PODDEY, E.; FREIBAUER, A.; DÖHLER, H.; EURICH-MENDEN, B.; WULF, S.; DIETERLE, M.; OSTERBURG, B. (2012): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2010. Report on methods and data (RMD) Submission 2012. Sonderheft 356.
- HERBERT, M. (2009): Klimaänderungen und Eingriffsregelung am Beispiel der Straßenverkehrswegeplanung. Vortrag im Rahmen der KLIK 2009. Abrufbar Internet: [www.verband-flaechenagenturen.de](http://www.verband-flaechenagenturen.de). Bremen.
- HIRSCHFELD, J.; WEIß, J.; PREIDL, M.; KORBUN, T. (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. In: Schriftenreihe des IÖW, 186/08. Internet: [www.ioew.de](http://www.ioew.de). Berlin.
- IPCC (2007a): IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis. 2.10.2 Direct Global Warming Potentials. In: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014a): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- IPCC (2014b): 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- IPCC (2007b): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Published: IGES, Japan.
- JANDL, R., LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D. W.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K. A. (2007): How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137(3-4): 253-268.
- JANSSENS, I.A; FREIBAUER, A.; CIAIS, P.; SMITH, P.; NABUURS, G.-J.; FOLBERTH, G.; SCHLAMADINGER, B.; HUTJES, R.W.A.; CEULEMANS, R.; SCHULZE, E.-D.; VALENTINI, R.; DOLMAN, A.J. (2003): Europe's terrestrial biosphere absorbs 7-12 % of European anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions, *Science* 300(5625): 1538-1542, June 6, 2003.
- JESSEL, B.; SCHÖPS, A.; GALL, B.; SZARAMOWICZ, M. (2006): Flächenpools in der Eingriffsregelung und regionales Landschaftswassermanagement als Beiträge zu einer integrierten Landschaftsentwicklung am Beispiel der Mittleren Havel. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Heft 33. Bonn, Bad Godesberg.
- KÄNDLER, G. (2013): Stadtbäume als Kohlenstoffspeicher.
- KÄTTERER, T., BOLINDER, M. A., BERGLUND, K.; KIRCHMANN, H. (2012): Strategies for carbon sequestration in agricultural soils in northern Europe. Quebec.
- KLIMARETTER.INFO (o.J.): Clean Development Mechanism (CDM). Internet: [www.klimaretter.info](http://www.klimaretter.info). Berlin.

KOLBE, H. (2010): Site-adjusted organic matter. balance method for use in arable farming systems. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173(5): 678-691.

KTBL, K. f. T. u. B. i. d. L. (2009): Faustzahlen für die Landwirtschaft.

LANDESAMT FÜR BERGBAU, GEOLOGIE UND ROHSTOFFE BRANDENBURG (o.J.): Fachinformationssystem Boden. Internet: [www.geo.brandenburg.de](http://www.geo.brandenburg.de). Cottbus. (zitiert: LBGRB o.J.).

LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEIN (2014): Bodendaten der Projektflächen (BK 25). Flintbek. (zitiert: LLUR 2014).

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2010): Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen. Daten und Hintergründe. LANUV-Fachbericht 27. Abrufbar Internet: [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de). Recklinghausen. (zitiert: LANUV 2010).

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2008): Numerische Bewertung von Biotoptypen für die Eingriffsregelung in NRW. Internet: [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de). Recklinghausen. (zitiert: LANUV 2008).

LANDESAMT FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ BRANDENBURG (2014): Regionale Klimamodelle. Internet: [www.lugv.brandenburg.de](http://www.lugv.brandenburg.de). Potsdam. (zitiert: LUGV 2014).

LANDESBETRIEB STRASSENBAU NORDRHEIN-WESTFALEN (Stand 2014): Kompensationsflächendaten zur statistischen Auswertung. Gelsenkirchen.

LANDESBETRIEB STRASSENBAU NRW / BOSCH & PARTNER GMBH: Arbeitshilfen zum Einführungserlass zum Landschaftsgesetz für Eingriffe durch Straßenbauvorhaben (ELES) in der Baulast des Bundes oder des Landes NRW. Coesfeld / Herne 2012.

LANDESBETRIEB WALD UND HOLZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2012): Wald und Klimaschutz in NRW. Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz - Langfassung der Studie. Abrufbar Internet: [www.wald-und-holz.nrw.de](http://www.wald-und-holz.nrw.de). (zitiert: WALD UND HOLZ NRW 2012).

LANDKREIS OLPE (Stand 2014): Kompensationsflächendaten zur statistischen Auswertung. Olpe.

LANDKREIS SOEST (Stand 2014) Kompensationsflächendaten zur statistischen Auswertung. Soest.

LANDKREIS WESEL (Stand 2014): Kompensationsflächendaten zur statistischen Auswertung. Wesel.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN (2013): Landschaftselemente 2013. Typen, Definitionen und Codierung. Internet: [www.landwirtschaftskammer.de](http://www.landwirtschaftskammer.de). Münster. (zitiert: LWK 2013).

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER SCHLESWIG-HOLSTEIN (o. J.): Ausgleichsflächen in Schleswig-Holstein. Internet: [www.lksh.de](http://www.lksh.de). Rendsburg.

LEDER, B. (2012): Aufbau und Entwicklung klimaplastischer Wälder. Vortrag. Abrufbar Internet: [www.wald-und-holz.nrw.de](http://www.wald-und-holz.nrw.de).

LUYSSAERT, S., M. JAMMET, P. C. STOY, S. ESTEL, J. PONGRATZ, E. CESCHIA, G. CHURKINA, A. DON, K. ERB, M. FERLICOQ, B. GIELEN, T. GRUENWALD, R. A. HOUGHTON, K. KLUMPP, A. KNOHL, T. KOLB, T. KUEMMERLE, T. LAURILA, A. LOHILA, D. LOUSTAU, M. J. MCGRATH, P. MEYFROIDT, E. J. MOORS, K. NAUDTS, K. NOVICK, J. OTTO, K. PILEGAARD, C. A. PIO, S. RAMBAL, C. REBMANN, J. RYDER, A. E. SUYKER, A. VARLAGIN, M. WATTENBACH AND A. J. DOLMAN (2014): Land management and land-cover change have impacts of similar magnitude on surface temperature. *Nature Climate Change* 4(5): 389-393.

MINISTERIUM FÜR ENERGIEWENDE, LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND LÄNDLICHE RÄUME SCHLESWIG-HOLSTEIN (Stand 2014): Der Klimawandel in Schleswig-Holstein. Internet: [www.schleswig-holstein.de](http://www.schleswig-holstein.de). Kiel. (zitiert: MELUR Stand 2014).

MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2012): Definitionen zur Ausweisung von Landschaftselementen im Rahmen der Direktzahlungen und der flächenbezogenen ELER-Maßnahmen. Internet: [www.naturschutzinformationen-nrw.de](http://www.naturschutzinformationen-nrw.de). Bonn. (zitiert: MKULNV 2012).

MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2011): NRW-Programm ländlicher Raum 2007-2013. Internet: [www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de). Düsseldorf. (zitiert: MKULNV 2011a).

MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (2011): Verordnung zur Erhaltung von Dauergrünland NRW (Dauergrünlanderhaltungsverordnung DGL-VO NRW. Düsseldorf 2011. (zitiert: MKULNV 2011b).

MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (o.J.): Zukünftiges Klima in Nordrhein-Westfalen. Internet: [www.umwelt.nrw.de](http://www.umwelt.nrw.de). Bonn. (zitiert: MKULNV o.J.).

MINISTERKONFERENZ FÜR RAUMORDNUNG (2013): Umlaufbeschluss vom 06.02.2013. Raumordnung und Klimawandel. Abrufbar Internet: [www.bmvi.de](http://www.bmvi.de). Berlin. (zitiert: MKRO 2013).

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ MECKLENBURG-VORPOMMERN (o.J.): MoorFutures. Internet: [www.moorfutures.de](http://www.moorfutures.de). Schwerin. (zitiert: MLUV o.J.).

- NATURPARK LÜNEBURGER HEIDE (Stand 2014): Heidepflege.  
Internet: [www.naturpark-lueneburger-heide.de](http://www.naturpark-lueneburger-heide.de). Winsen (Luhe).
- VAN OOST, K. et al. (2007): The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle.
- PAUL, C., WEBER, M.; MOSANDL, R. (2009): Kohlenstoffbindung junger Aufforstungsflächen.
- PEßLER, C. (2012): Carbon Storage in Orchards. University of Natural Resources and Life Sciences. Vienna.
- PIETRZYKOWSKI, M.; KRZAKLEWSKI, W. (2007): Soil organic matter, C and N accumulation during natural succession and reclamation in an opencast sand quarry (southern Poland). Archives of Agronomy and Soil Science 53: 473 . 483.
- PLASSMANN, K. (2012) Accounting for carbon removals. Nature Climate Change 2(1):4-6.
- POEPLAU, C.; DON, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops . A meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 200(0): 33-41.
- POEPLAU, C.; DON, A.; VESTERDAL, L.; LEIFELD, J.; VAN WESEMAEL, B. A. S.; SCHUMACHER, J.; GENSITOR, A. (2011): Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone . carbon response functions as a model approach. Global Change Biology 17(7): 2415-2427.
- QUINTON, J.N.; GOVERS, G.; VAN OOST, K.; BARDGETT, R.D. (2010): The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. Nature Geosci 3, 311-314.
- RAJMIS, S.; HIRSCHFELD, J. (2011): Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel. Teilprojekt: Ökosystemdienstleistungen der landwirtschaftlich genutzten Landschaft & Ansätze zur ökonomischen Bewertung. Vortrag. Abrufbar Internet: [www.bfn.de](http://www.bfn.de). Berlin.

- RINNOFNER, T.; FRIEDEL, J. K.; KRUIJFF, R.; PIETSCH, G.; FREYER, B. (2008). Effect of catch crops on N dynamics and following crops in organic farming. *Agronomy for Sustainable Development* 28(4): 551-558.
- RUMBERG, M. (2013): Barrieren für die Umsetzung von forstlichen Klimaschutzprojekten im Rahmen des Clean Development Mechanism. *Freiburger Schriften zur Forst- und Umweltpolitik*, Band 26. Remagen.
- SCHULER, J.; BUES, A.; HENSELER, M.; KRÄMER, K.; KRAMPE, L.; KREINS, P.; LIEBERSBACH, H.; OSTERBURG, B.; RÖDER, N.; UCKERT, G. (2014): Instrumente zur Stärkung von Synergien zwischen Natur- und Klimaschutz im Bereich Landwirtschaft. *BfN-Skripten* 382. Bonn, Bad Godesberg.
- SEARCHINGER, T.; HEIMLICH, R.; HOUGHTON, R. A.; DONG, F. X.; ELOBEID, A.; FABIOSA, J.; TOKGOZ, S.; HAYES, D.; YU, T. H. (2008): Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 319(5867): 1238-1240.
- STADT GELSENKIRCHEN (o.J.): Kompensationsflächendaten zur statistischen Auswertung. Gelsenkirchen.
- STADT KÖLN (o.J.): Kompensationsflächendaten zur statistischen Auswertung. Köln.
- STADT MÜNSTER: Eingriffs- und Kompensationsmanagement . Gesamtkonzeption zur Abwicklung der Eingriffsregelung in der Stadt Münster. Münster 2000.
- TEUFFEL V., K.; BAUMGARTEN, M.; HANEWINKEL, M.; KONOLD, W.; SAUTER, U. H.; SPIECKER, H.; WILPERT V., K. (2005): *Waldumbau für eine zukunftsorientierte Waldwirtschaft*. Freiburg.
- THE ROYAL SOCIETY (2002): Understanding and managing leakage in forest-based greenhouse-gas-mitigation projects. Internet: [www.royalsocietypublishing.org](http://www.royalsocietypublishing.org). London.

UMWELTBUNDESAMT (2014): Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol, National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 . 2012, 2014. (zitiert: UBA 2014a).

UMWELTBUNDESAMT (2014): Bebauung und Versiegelung. Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de). Dessau-Roßlau. (zitiert: UBA 2014b).

UMWELTBUNDESAMT (2010): Analyse und Bewertung von Waldprojekten und entsprechender Standards zur freiwilligen Kompensation von Treibhausgasemissionen. Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de). Dessau-Roßlau. (zitiert: UBA 2010).

UMWELTBUNDESAMT (2005): Die Zukunft in unseren Händen. 21 Thesen zur Klimaschutzpolitik des 21. Jahrhunderts und ihre Begründungen. Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de). Dessau-Roßlau. (zitiert: UBA 2005).

URBAN, B.; BECKER, J.; MERSCH, I.; MEYER, W.; RECHID, D.; ROTTGARDT, E. (Hrsg.) (2014): Klimawandel in der Lüneburger Heide - Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 6. Hamburg.

WEIß, C.; REICH, M.; RODE, M.; VON HAAREN, C. (2011): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Biotope der Metropolregion und Konsequenzen für den Naturschutz. Teilprojekt 4. Klimawandel: lokales und regionales Naturschutzmanagement. Vortrag. Abrufbar Internet: [www.klimafolgenmanagement.de](http://www.klimafolgenmanagement.de).