

GeoBerichte 18



LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen



Niedersachsen



GeoBerichte 18

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen

GÜNTER GROSS, ANDREA KRAUSE,
CHRISTINA LENSSEN, UDO MÜLLER,
CHRISTINE VON BUTTLAR,
MARIANNE KARPENSTEIN-MACHAN,
ROLAND BAUBÖCK, DANIELA DRESSLER,
ACHIM LOEWEN, DOMINIKA LESSMANN,
IMKE MERSCH, EKKEHARD FRICKE,
CHRISTINA WEISS, MICHAEL REICH,
MICHAEL RODE, TINA WIXWAT, HERBERT RÖHM,
KATJA FÜRSTENBERG, ANDREAS MATHEJA,
MARTIN MEINKEN & BJÖRN BEERMANN

Hannover 2011

Hinweis

Die in diesem Bericht verwendeten Klimaszenarien und die darauf aufbauenden Klimaprojektionsdaten sowie deren Auswertungsmethodik entsprechen nicht mehr dem aktuellen Stand der Wissenschaft. In der Klimaforschung werden fortlaufend neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus den neusten Klimamodellsimulation veröffentlicht. Aktuelle Daten und Informationen befinden sich auf der Internetpräsenz des LBEG sowie auf dem NIBIS®-Kartenserver.

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

1. Auflage.

Version: 19.01.2021

Redaktion: Ricarda Nettelmann
e-mail: bodenkundlicheberatung@lbeg.niedersachsen.de

Titelbild: Montage von D. Leßmann; Bilder von C. Bardek, D. Leßmann, M. Karpenstein-Machan, U. Simon, B. Sluzewski, Metropolregion H-BS-GÖ (Karte).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_18_2011

GeoBer.	18	S. 3 – 174	103 Abb.	23 Tab.	Hannover 2011
---------	----	------------	----------	---------	---------------

Klimafolgenmanagement in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen

GÜNTER GROSS, ANDREA KRAUSE, CHRISTINA LENSSEN, UDO MÜLLER, CHRISTINE VON BUTTLAR, MARIANNE KARPENSTEIN-MACHAN, ROLAND BAUBÖCK, DANIELA DRESSLER, ACHIM LOEWEN, DOMINIKA LESSMANN, IMKE MERSCH, EKKEHARD FRICKE, CHRISTINA WEISS, MICHAEL REICH, MICHAEL RODE, TINA WIXWAT, HERBERT RÖHM, KATJA FÜRSTENBERG, ANDREAS MATHEJA, MARTIN MEINKEN & BJÖRN BEERMANN

Kurzfassung

Das Verbundprojekt „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen“ (KFM) wurde im Zeitraum von 2007–2011 durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Ziel dieses Forschungsprojekts war es, die Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion zu analysieren sowie mögliche Anpassungsstrategien zu entwickeln. Hierfür wird eine problemorientierte, feinskalige Anpassung der Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien an die kleinräumigen geographischen Strukturen in der Metropolregion benötigt.

Der Schwerpunkt des Verbundprojekts liegt auf den Themenkomplexen Wasserwirtschaft, Energiepflanzen, Feldberegnung und Naturschutz, die in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen. Die Ergebnisse aller Teilprojekte werden in einer Informations- und Kommunikationsplattform (I+K-Plattform) zusammengefasst. Sie gibt dem interessierten Nutzer nicht nur einen umfassenden Überblick über die Veränderung der meteorologischen Parameter in der Metropolregion, sondern es werden auch Auswirkungen auf einzelne Lebensbereiche des Menschen und mögliche Anpassungsstrategien aufgezeigt.

Grundlage für die Analyse im Verbundprojekt KFM sind die Ergebnisse der regionalen Klimasimulationen des CLM (Climate Local Model). Um konkrete Aussagen auf lokaler Ebene treffen zu können wurde ein statistisch-dynamisches downscaling mit dem mesoskaligen Modell FITNAH durchgeführt.

Inhalt

Einführung	5
Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen	5
1 Teilprojekt 1: Lokaler Klimawandel	8
1.1 Auswirkungen des Klimawandels auf die Metropolregion	8
2 Teilprojekt 2: Energiepflanzen	23
2.1 Einfluss des Klimawandels auf Standortpotenziale von Bioenergiepflanzen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen.....	23
2.2 Potenziale für den Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen unter Berücksichtigung des regionalisierten Klimawandels.....	40
2.3 Ganzheitliche Bewertung regional angepasster Bioenergiekonzepte unter dem Aspekt des Klimawandels.....	59
2.4 Integrative Flächenbewertung zur Ausweisung von potenziellen Standorten für Bioenergieanlagen und Analyse der Anbauflächenpotenziale der Metropolregion	73
3 Teilprojekt 3: Feldberegnung	86
3.1 Potenziale zur Substitution von Grundwasser für die Feldberegnung – „Wasser wächst auf Feldern“	86
4 Teilprojekt 4: Naturschutz	103
4.1 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Netzwerk Natura 2000 in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg und Konsequenzen für den Naturschutz	103
5 Teilprojekt 5: Wasserwirtschaft	117
5.1 Der Einfluss des Klimawandels auf den regionalen Wasserhaushalt.....	117
5.2 Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien im Grundwasserkörper Fuhse-Wietze vor dem Hintergrund des Klimawandels.....	138
6 Teilprojekt 6: Informations- und Kommunikationsplattform	159
6.1 Die internetbasierte Informations- und Kommunikationsplattform zum Klimafolgenmanagement in der Metropolregion	159

Einführung

Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen

GÜNTER GROSS

Der Klimawandel und dessen Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft ist eines der zentralen Themen der heutigen Politik. Zu diesem Zwecke wurde im Jahr 2006 der Förderschwerpunkt „Klimazwei – Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen“ ins Leben gerufen. Darin werden rund 40 Projekte durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in dem Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA) gefördert. Die Projekte gliedern sich in zwei thematische Schwerpunkte – Mitigation und Adaption. Unter „Mitigation“ werden all jene Projekte zusammengefasst, die sich mit der Vermeidung des Ausstoßes klimaschädlicher Gase wie Kohlendioxid, Methan und Lachgas beschäftigen. Unter dem Förderschwerpunkt „Adaption“ werden Projekte gefördert, die sich mit Anpassungsstrategien an die veränderten Umweltbedingungen beschäftigen.

Das Verbundprojekt „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen“ (KFM) wurde über einen Zeitraum von etwa vier Jahren (2007–2011) gefördert. Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, die Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion zu analysieren sowie mögliche Anpassungsstrategien zu entwickeln. Hierfür wird eine problemorientierte, feinskalige Anpassung der Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien an die kleinräumigen geographischen Strukturen in der Metropolregion benötigt.

Der Schwerpunkt des Verbundprojekts liegt auf den Themenkomplexen Wasserwirtschaft, Energiepflanzen, Feldberegnung und Naturschutz, die in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen. Die Ergebnisse aller Teilprojekte werden in einer Informations- und Kommunikationsplattform (I+K-Plattform) zusammengefasst. Sie gibt dem interessierten Nutzer nicht nur einen umfassenden Überblick über die Veränderung der meteorologischen Parameter in der Metropolregion, wie z. B. Niederschlag, Temperatur und Sonneneinstrahlung, sondern es werden auch Auswirkungen auf einzelne Lebensbereiche des Menschen und mögliche Anpassungsstrategien aufgezeigt. Der prinzipielle Aufbau des Forschungsverbundes ist in der Abbildung 1 skizziert.

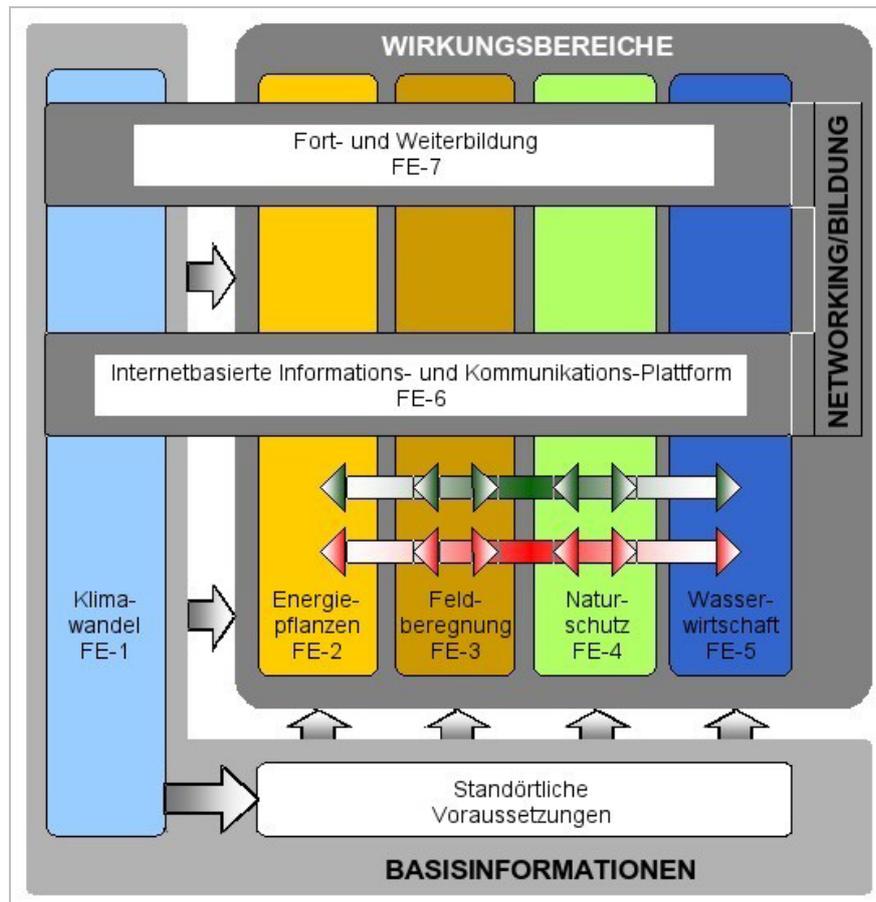


Abb. 1: Aufbau und Themen des Forschungsprojekts.

Die Ergebnisse von Klimaszenarienrechnungen liefern die Kenntnis über die Entwicklung des globalen und des regionalen Klimas in den nächsten Dekaden. Diese Rechnungen basieren auf einer Reihe von Annahmen, wie beispielsweise die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen, und sind mit spezifischen Unsicherheiten behaftet. Die Ergebnisse der Klimaszenarienrechnungen sind daher nicht als Vorhersagen über die Entwicklung des Klimas zu verstehen, sondern beschreiben die Bandbreite, in der sich ausgewählte meteorologische Parameter, wie die Temperatur und der Niederschlag, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit in der nahen Zukunft bewegen.

Grundlage für die Analyse in dem Verbundprojekt KFM sind die Ergebnisse der regionalen Klimasimulationen des CLM (Climate Local Model). Diese beschreiben die Auswirkungen des globalen Klimawandels in der Metropolre-

gion mit einer räumlichen Auflösung von etwa 16 x 18 km. Um konkrete Aussagen auf lokaler Ebene treffen zu können, wurde in einem weiteren Schritt ein statistisch-dynamisches downscaling mit dem mesoskaligen Modell FITNAH durchgeführt. Dabei wurden unter Berücksichtigung detaillierter Informationen zu Orographie und Landnutzung die Klimadaten des CLM auf eine räumliche Auflösung von 1 x 1 km „intelligent“ interpoliert. Diese Vorgehensweise erlaubt es, die Effekte lokaler Besonderheiten auf die Verteilung der meteorologischen Variablen zu berücksichtigen (z. B. der Einfluss des Harzes auf Niederschlag und Temperatur) und die aus Beobachtungen her bekannten Strukturen der Klimaparameter in der Metropolregion gut nachzubilden.

In der Metropolregion werden sich insbesondere die aus Modellergebnissen abgeleiteten erhöhten Mitteltemperaturen und das saisonal

veränderte Niederschlagsregime auf einzelne Lebensbereiche auswirken. Daneben hat auch die Abschätzung der Entwicklung von Extremereignissen einen hohen Stellenwert, da diese mit einem großen Schadenspotenzial verbunden sein können. Diese Ergebnisse bilden die klimatischen Rahmenbedingungen für die Fragestellungen der einzelnen Teilprojekte wie:

- Landwirtschafts- und Naturschutzflächen werden naturgemäß direkt und in starkem Maß vom Klimawandel betroffen sein. Durch die Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter und die höheren Mitteltemperaturen verändern sich die Standortbedingungen und damit auch die Anbau- und Wachstumsbedingungen für Nutz- und Wildpflanzen.
- In der Metropolregion werden sich die landwirtschaftlichen Berechnungsflächen aufgrund des veränderten Niederschlagsdargebots vergrößern. Hier sind lokale Anpassungsstrategien zu entwickeln. Insbesondere der Substitution des Grundwassers für die Feldberegnung, beispielsweise durch Klarwasser, kommt dabei ein hoher Stellenwert bei.
- Der Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen leisten bereits heute einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz in der Metropolregion. Erklärtes Ziel der Europäischen Union und der Bundesregierung ist es, den Anteil regenerativer Energien langfristig auf 20 % zu steigern. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung eines klimaangepassten Anbau- und Nutzungskonzepts unter geänderten klimatischen Rahmenbedingungen von besonderer Relevanz.
- Die Klimaprognosen gehen für den lokalen Betrachtungsraum insgesamt von einer geringfügigen Erhöhung des jährlichen Wasserdargebots aus. Dennoch sind zeitweise erhebliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt zu erwarten, denn die prognostizierte Verteilung der Grundwasserneubildung kann im Winter vermehrt Vernässungen und im Sommer das Austrocknen der Vorfluter bedingen. Zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Grundwasserkörper und damit zur Sicherung der Wasserversorgung sind geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln, um die ungünstige Verteilung des veränderten Grundwasserdargebotes auszugleichen.

- Zwischen den Belangen der Landwirtschaft, des Naturschutzes und der Wasserwirtschaft bestehen vielfältige räumliche und funktionale Verknüpfungen. Diese sind durch ein hohes Potenzial an Konflikten gekennzeichnet, die sich vor dem Hintergrund des Klimawandels noch verstärken werden.
- Um auf metropolitaner Ebene Risiken angemessen bewerten und Potenziale optimal entwickeln zu können, ist eine wissenschaftsbasierte Informations- und Kommunikationsplattform entwickelt worden. Hier stehen für alle Akteure die Ergebnisse des Verbundvorhabens in benutzerfreundlicher und bedarfsorientierter Aufbereitung zur Verfügung.
- Die Kommunikation der Ergebnisse sowie der Austausch mit den Akteuren aus Politik und Verwaltung haben in diesem Forschungsprojekt ebenfalls einen großen Stellenwert. Im Rahmen von Fort- und Weiterbildungen wurden die Forschungsergebnisse anwenderorientiert kommuniziert und über mögliche Anpassungsstrategien diskutiert.

In dem vorliegenden Heft werden ausgewählte Ergebnisse aus den einzelnen Teilbereichen des Verbundvorhabens präsentiert. Eine vollständige Übersicht ist unter www.klimafolgenmanagement.de zu finden.

Das Verbundvorhaben wurde vom BMBF (<http://www.bmbf.bund.de/>) im Rahmen der Fördermaßnahme „klimazwei“ (<http://www.klimazwei.de/>) unter dem Kennzeichen 01LS05038A gefördert.

1 Teilprojekt 1: Lokaler Klimawandel

1.1 Auswirkungen des Klimawandels auf die Metropolregion

ANDREA KRAUSE & GÜNTER GROSS

1.1.1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der weltweiten Klimaänderungen stellt sich auch immer wieder die Frage, wie sich das Klima lokal verändern wird. Insbesondere in Planung und Politik ist die Konkretisierung der Auswirkungen der Klimaänderungen auf lokaler regionaler Ebene gefordert, um mögliche Entwicklungspfade und Anpassungsstrategien aufzuzeigen.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen“ wurden im Teilprojekt 1 „Lokaler Klimawandel“ die regionalen Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion anhand der Klimaszenarienrechnungen des CLM (Climate Local Model) untersucht.

In der Metropolregion leben rund vier Millionen Menschen auf einer Fläche von rund 19 000 km². Das Gebiet erstreckt sich von der Lüneburger Heide im Norden bis zur hessischen Landesgrenze im Süden und umfasst urbane und ländliche Räume.

Die Metropolregion ist regional stark gegliedert, welches die Abbildung 1.1.1 verdeutlicht.



Abb. 1.1.1: Naturräume in der Metropolregion, verändert nach SEEDORF & MEYER (1992).

Das Gebiet der Metropolregion lässt sich grob in fünf Großlandschaften gliedern. Dies sind die Lüneburger Heide im Norden, das Altmoränengebiet, welches sich nördlich von Hannover erstreckt, die Lössböden südlich von Hannover sowie der Harz mit dem Harzvorland und das Weser- und Leinebergland im Süden der Metropolregion. Jede dieser Landschaften ist durch eine andere Landnutzung gekennzeichnet. Die Landnutzung wiederum ist abhängig von der vorherrschenden Orographie und den sich daraus ergebenden veränderten Temperatur- und Niederschlagsverhältnissen. Die Landnutzung geht bislang nur unzureichend in die regionale Klimamodellierung mit ein. Zudem wird die Orographie im CLM-Modell nicht wirklichkeitstreu wiedergegeben. So ist der Harz im CLM beispielsweise nur 400 m hoch. Um aber regionale Aussagen zur Veränderung der Grundwasserneubildung, des Grundwasserdargebots oder des Grundwasserflurabstands zu treffen, ist es notwendig, diese Faktoren mit zu berücksichtigen.

Ziel des Forschungsprojekts ist es daher, eine problemorientierte, feinskalige Anpassung der Ergebnisse der regionalen Klimaszenarien an die kleinräumigen Strukturen in der Metropolregion zu erlangen.

1.1.2 Material und Methoden

Die Auswirkungen des Klimawandels in der Metropolregion wurden auf Basis der Klimaszenarienrechnungen des CLM analysiert. Hierfür wurde das Szenario A1B für die Untersuchungszeiträume 2021–2050 und 2071–2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 (C20-Lauf) gewählt. Die Daten wurden von der „Service Gruppe Anpassung“ (SGA), die am Max-Planck-Institut in Hamburg angesiedelt ist, bereitgestellt. Für das Szenario A1B stehen insgesamt zwei Realisierungen zur Verfügung, und für den C20-Lauf wurden drei Rechnungen mit dem CLM durchgeführt. Für die weiterführenden Berechnungen wurden die Läufe A1B_1 und C20_2 gewählt.

Das CLM rechnet mit einer Gitterweite von etwa 16 x 18 km. In dieser Auflösung sind regionale Aussagen zu den Klimaänderungen und deren Auswirkungen jedoch nur begrenzt möglich. Daher wurde in einem zweiten Schritt das mesoskalige Modell FITNAH verwendet.

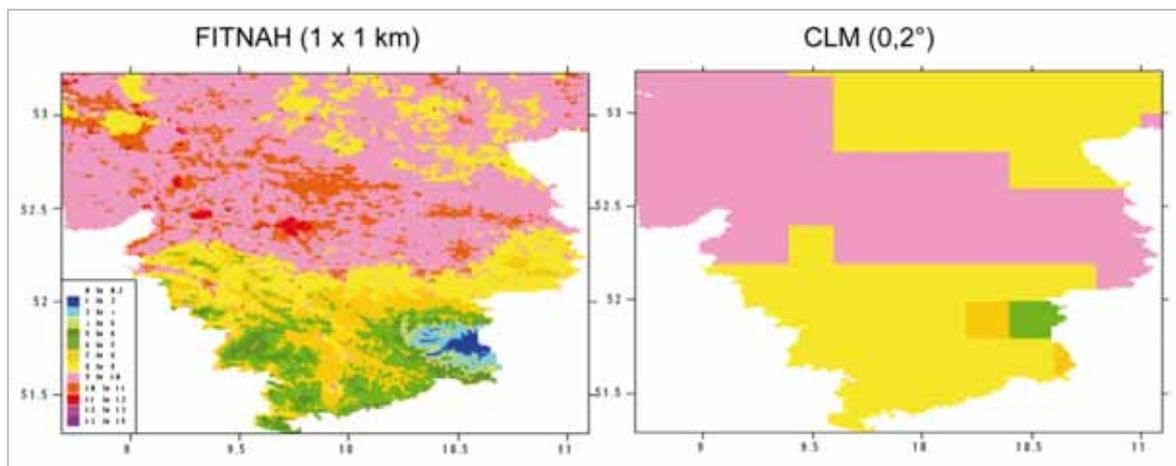


Abb. 1.1.2: Darstellung der Temperaturänderungen in der Metropolregion, links mit dem FITNAH und rechts mit dem CLM.

Mit dem FITNAH werden die mesoskaligen dreidimensionalen Simulationen nicht parallel zu einem regionalen Klimamodell ausgeführt, sondern vielmehr erfolgt die Übertragung der regionalen Ergebnisse auf die lokale Ebene durch ein statistisch-dynamisches Verfahren. Dabei werden die größerskaligen Ergebnisse statistisch ausgewertet und mit den Ergebnissen einer Vielzahl von mesoskaligen Simulationen verknüpft. Es werden keine lokalen Klimaszenarienrechnungen für die nächsten Dekaden durchgeführt, sondern die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle „intelligent“ auf kleinere Raumeinheiten interpoliert, wobei eine Berücksichtigung der lokalen Besonderheiten einer Landschaft mit unterschiedlicher Landnutzung und Relief erfolgt (GROSS 1989). Dies ermöglicht es, auch kleinräumige Unterschiede der einzelnen Klimaparameter sichtbar zu machen, wie sie insbesondere von den anderen Teilprojekten benötigt wurden. Im Mittel bleiben die Gitterpunktinformationen des CLM jedoch erhalten. Der durch die feinere Auflösung erzielte Mehrgewinn an Informationen ist in der Abbildung 1.1.2 am Beispiel der Temperatur in der Metropolregion verdeutlicht.

Die Daten zu Topographie und Landnutzung wurden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zur Verfügung gestellt. Sie basieren auf einem 1000-m-Raster im Gauß-Krüger-Koordinatensystem auf Basis des geodätischen Referenzsystems WGS84 (World Geodetic System 1984), welches von der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) bereitgestellt wurde. An dieses Raster wurden sowohl die Topographie- als auch die Landnutzungsdaten angepasst.

Aufgrund der Fülle an Informationen sind in diesem Bericht nur ausgewählte Klimaparameter und daraus abgeleitete Größen dargestellt. Eine vollständige Übersicht ist auf der Informations- und Kommunikationsplattform (I+K-Plattform) im Internet auf der Website www.klima folgenmanagement.de zu finden. Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten Analysen basieren größtenteils auf den CLM-Daten, da es sich hierbei zumeist um allgemeine Trendaussagen handelt. Die Untersuchung einzelner Klimaparameter und daraus abgeleiteter Größen wurde am Beispiel der Region Uetze/Celle auf einem Raster von 3 x 3 Gitterpunkten durchgeführt.

1.1.3 Temperatur

Die Analyse mit dem CLM ergibt für die Metropolregion bis zum Ende des 21. Jahrhunderts eine Erhöhung der Mitteltemperaturen um 3,3–3,5 K. In der Metropolregion zeigen sich sowohl regionale als auch saisonale Unterschiede, wie sie in der Abbildung 1.1.3 dargestellt sind. Im Jahresverlauf ist die größte Temperaturzunahme mit +4 K im Winter zu erwarten. Im Sommer zeigt sich die größte Temperaturzunahme im Süden der Metropolregion, wohingegen im Winter die höchsten Werte für den Norden und Osten simuliert werden. Beim Vergleich der Simulationsdaten mit den Messdaten des DWD im Zeitraum 1961–1990 wurde eine mittlere Abweichung von $\pm 0,5$ °C berechnet.

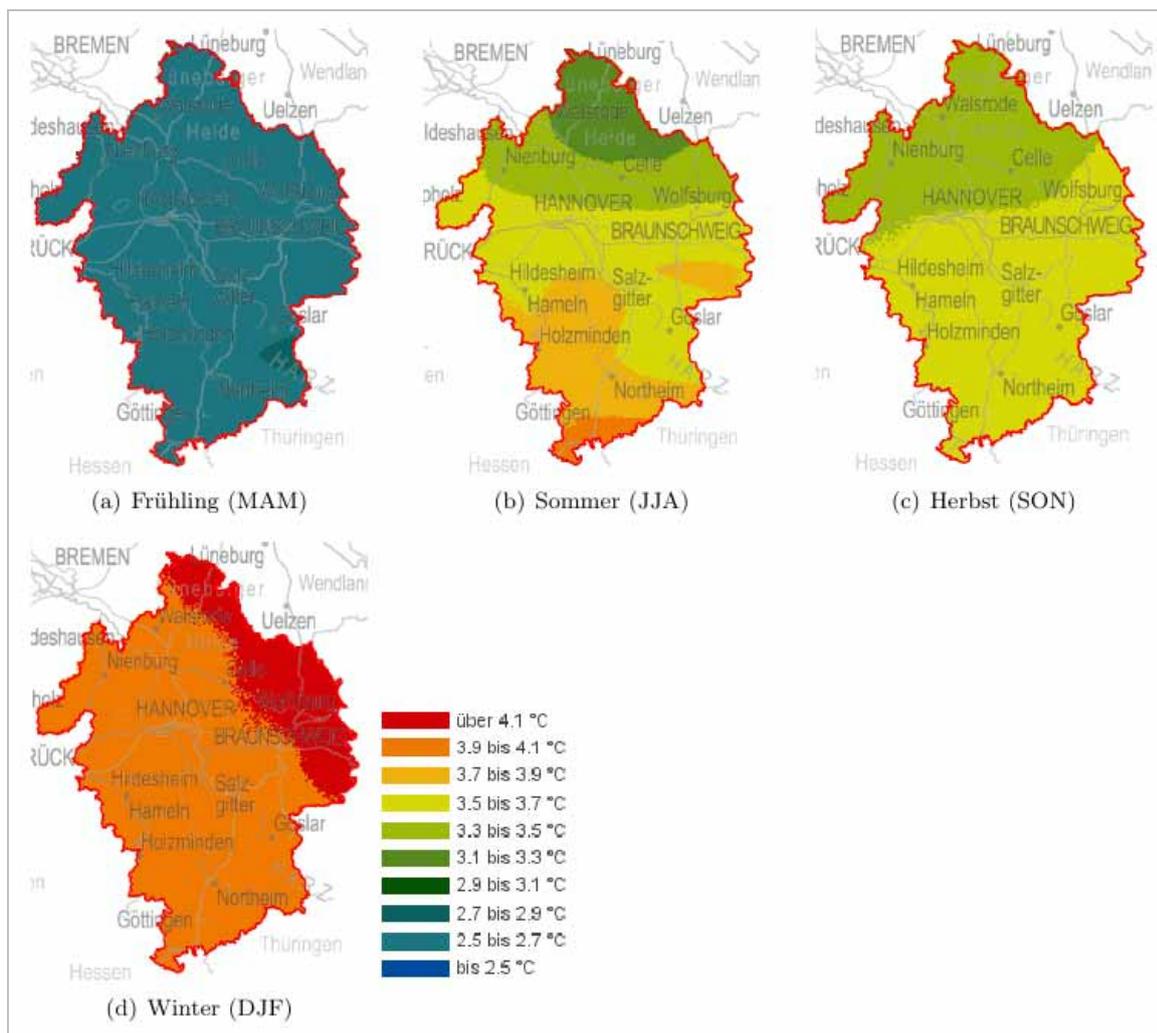


Abb. 1.1.3: Änderung der Temperatur in den Jahreszeiten für den Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 in der Metroregion, simuliert mit CLM.

Durch die Zunahme der Jahresmitteltemperaturen verschieben sich folglich auch die Ränder der Verteilungskurve, so dass Sommertage ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$) und heiße Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ °C}$) wahrscheinlicher werden und kalte Tage, wie z. B. Frost- und Eistage, abnehmen.

Die Abbildung 1.1.4 zeigt die Entwicklung der Frosttage, d. h. Tage mit einer Minimumtemperatur $< 0 \text{ °C}$, in der Metroregion im Zeitraum 1961–1990 und 2071–2100. Zum Ende des 21.

Jahrhunderts zeigt sich eine signifikante Abnahme der Frosttage in der gesamten Metroregion. Es zeigen sich jedoch auch regionale Unterschiede. Besonders betroffen sind die Höhenlagen des Harzes und des Sollings. Hier minimiert sich die Zahl der Frosttage zum Ende des 21. Jahrhunderts von über 107 Tagen pro Jahr auf nur noch 40 Tage pro Jahr, an denen die Minimumtemperatur unter 0 °C liegt. Dies entspricht einer Abnahme um 75 %.

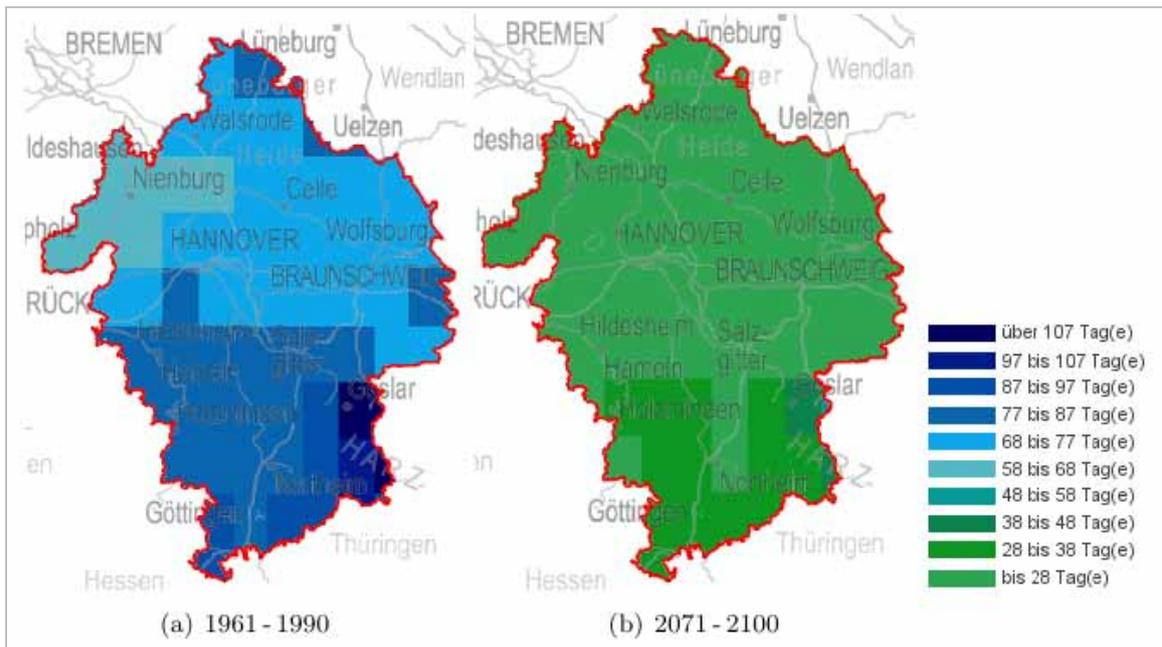


Abb. 1.1.4: Mittlere Anzahl der Frosttage pro Jahr im Zeitraum 1961–1990 und 2071–2100 im Vergleich in der Metropolregion, simuliert mit CLM.

Auch im Weser- und Leinebergland ist die Abnahme der Frosttage gegenüber dem Norden der Metropolregion erhöht. Nichtsdestoweniger nehmen auch im Norden der Metropolregion die Frosttage um mehr als die Hälfte ab. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass die Frosttage im CLM tendenziell eher überschätzt werden (KEULER et al. 2007). Vom DWD wurden beispielsweise an der Station Göttingen im Zeitraum 1961–1990 75 Frosttage gemessen, wohingegen vom CLM 87 Frosttage simuliert wurden. Es darf jedoch an dieser Stelle auch nicht vergessen werden, dass die Informationen im regionalen Klimamodell keinesfalls mit den genauen Positionen der Messstationen übereinstimmen. Für Trendaussagen kann das CLM somit als hinreichend genau betrachtet werden.

Die Sommertage ($T_{\max} \geq 25 \text{ }^\circ\text{C}$) und die heißen Tage ($T_{\max} \geq 30 \text{ }^\circ\text{C}$) werden sich laut Analysen mit dem CLM zum Ende des 21. Jahrhunderts

in der Metropolregion in etwa verdreifachen. In der Abbildung 1.1.5 ist die mit dem CLM simulierte Anzahl der Sommertage pro Jahr im Zeitraum 1960–2100 dargestellt. Die schwarze Kurve zeigt die Messdaten des DWD. Beim Vergleich der Simulationsdaten mit den Beobachtungsdaten fällt auf, dass vom Deutschen Wetterdienst mehr Sommertage in dieser Region gemessen wurden, als mit dem CLM simuliert wurden. Allerdings verläuft die Kurve annähernd parallel, so dass darauf geschlossen werden kann, dass das Niveau vom CLM um etwa zehn Tage pro Jahr erhöht werden kann. Der schwarze Punkt zeigt den Rekordwert von 59 Sommertagen im Jahr 2003. Die Abbildung verdeutlicht, dass Rekordwerte, wie im Hitzesommer 2003, zukünftig sehr viel häufiger auftreten könnten. Zudem scheinen noch extremere Sommer möglich. Die Entwicklung der Sommertage und heißen Tage ist zudem geprägt durch eine hohe Jahr-zu-Jahr-Variabilität.

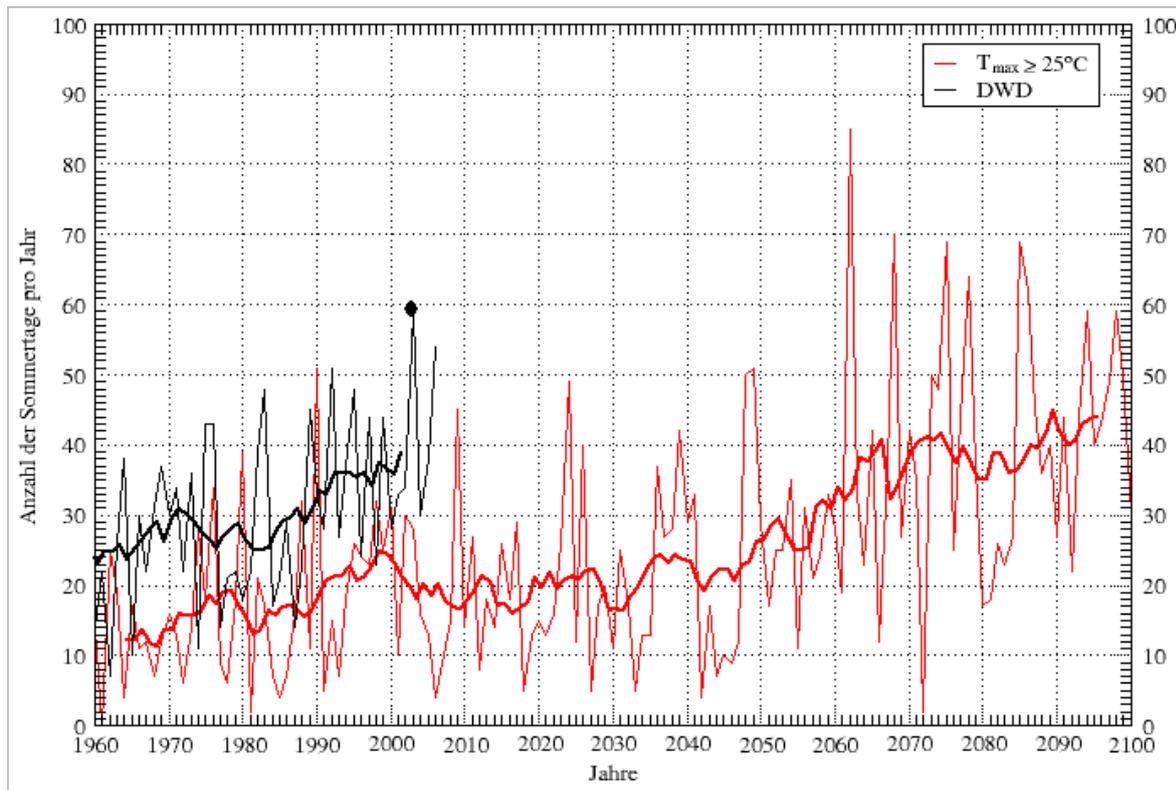


Abb. 1.1.5: Zahl der Sommertage ($T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$) pro Jahr in Uetze/Celle im Zeitraum 1960–2100, simuliert mit CLM (rot), im Vergleich mit den Beobachtungsdaten (schwarz).

1.1.4 Niederschlag

Die Simulation des Niederschlags stellt die Klimamodellierung vor eine große Herausforderung, da es sich hierbei um einen sehr komplexen Parameter handelt. Kleinräumige Effekte, wie z. B. Luv-Lee-Effekte, können von den globalen Klimamodellen aufgrund der großen Gitterweite kaum wiedergegeben werden. Zudem wird die Orographie von den globalen Modellen teilweise stark abgeflacht dargestellt. Demzufolge unterscheiden sich die Klimamodelle im Einzelnen teilweise auch sehr in den Aussagen zu den Niederschlagsänderungen. Beim Vergleich der Niederschlagssimulation verschiedener Globalmodelle zeigt sich, dass sich viele Modelle im globalen Maßstab nicht einmal im Vorzeichen der Niederschlagsänderung einig sind. Diese Unsicherheiten pflanzen sich auch in den regionalen Klimamodellen fort. Dies ist für den Anwender häufig sehr verwirrend.

Die Abbildung 1.1.6 zeigt die simulierten und tatsächlich gemessenen Niederschläge in der Region Hannover. Für den Zeitraum 1961–1990 wurde an der Station Hannover-Langenhagen ein mittlerer Jahresniederschlag von 655 mm gemessen. Vom CLM wird für den gleichen Zeitraum für diese Gitterbox ein mittlerer Jahresniederschlag von 788 mm simuliert. Die Differenz beträgt 133 mm, d. h. das CLM simuliert in diesem Fall 20 % mehr Niederschlag als tatsächlich gemessen. Auch in anderen Regionen der Metropolregion wird der Niederschlag vom CLM systematisch zu hoch berechnet. Wie hoch der Modellfehler ist, ist jedoch nicht exakt bestimmbar, da auch die Vergleichsdaten, also die gemessenen Niederschläge vom DWD, mit Fehlern behaftet sind. Allein bei der Niederschlagsmessung ergibt sich ein Messfehler von teilweise 10–20 % je nach Windverhältnissen. Darüber hinaus liegen die Niederschlagsmessstationen in Deutschland im Mittel 9 km voneinander entfernt.

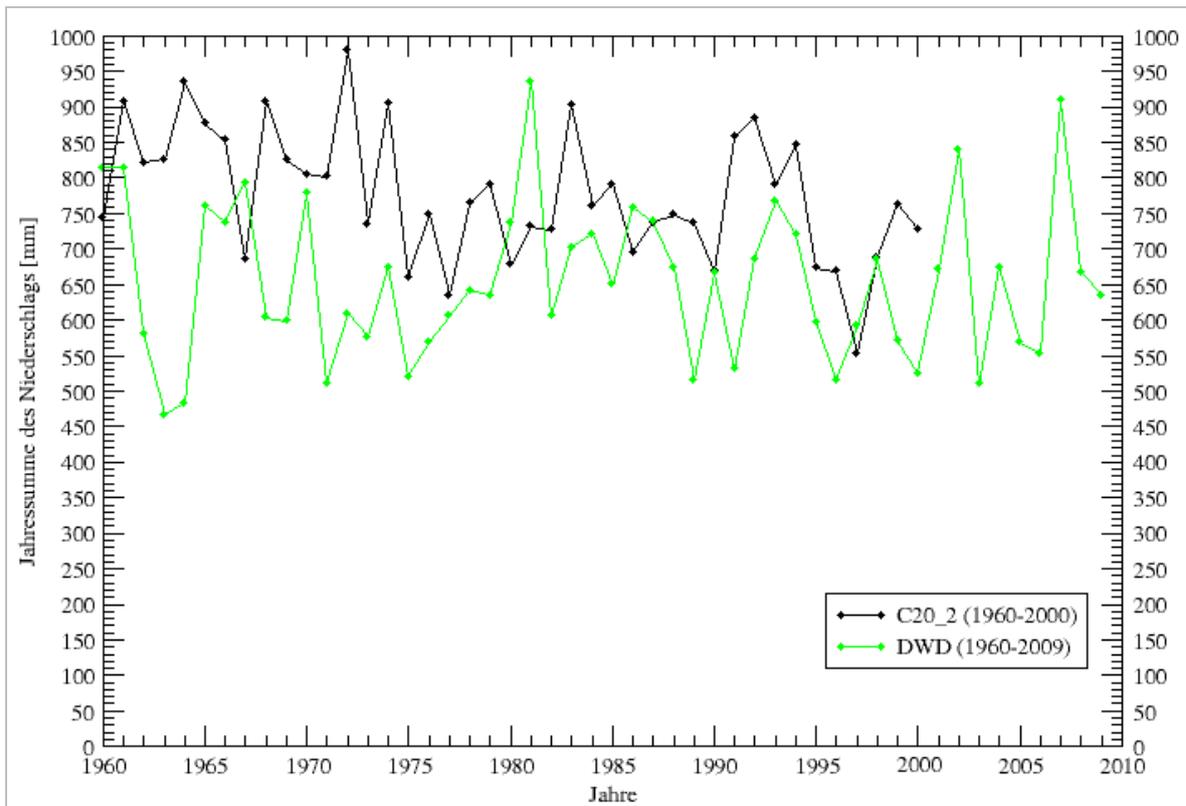


Abb. 1.1.6: Vergleich der DWD-Beobachtungsdaten für die Jahressumme des Niederschlags mit den CLM-Daten für den Gitterpunkt Hannover.

Die teils großen Abweichungen zwischen den DWD-Daten und den CLM-Simulationsergebnissen sind außerdem auf die immer noch sehr grobe Auflösung des CLM von ca. 16 x 18 km zurückzuführen, in der kleinräumige Phänomene, wie beispielsweise Luv-Lee-Effekte oder aber auch konvektive Niederschläge, nur unzureichend dargestellt werden können. Der Jahresgang des Niederschlags wird jedoch sehr gut vom CLM erfasst, wenngleich auch hier in allen Monaten zu hohe Niederschläge simuliert wurden.

Da jedoch Abweichungen von teilweise bis zu +200 mm Niederschlag in einigen Regionen der Metropolregion für beispielsweise die Berechnung der Grundwasserneubildung oder aber für die Abschätzung des zukünftigen Wasserbedarfs für die Feldberechnung viel zu groß sind, wurden im Projekt „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen“ als Referenzdaten für den Zeitraum 1961–

1990 die DWD-Daten verwendet. Die vom CLM berechneten Niederschlagsmengen wurden hinsichtlich bestehender Trends analysiert und quantifiziert. Die bereits heute zu beobachtenden Niederschlagszunahmen im Winter und die Niederschlagsabnahmen im Sommer werden vom CLM treffend wiedergegeben. Hier ergibt sich hauptsächlich das Problem, dass die simulierten absoluten Niederschlagssummen an sich zu hoch sind. Daher werden im Projekt im Allgemeinen nur relative Niederschlagsänderungen angegeben. Um aber auch Aussagen über absolute Niederschlagsänderungen treffen zu können, wie sie von den Teilprojekten „Wasserwirtschaft“, „Energiepflanzen“, „Feldberechnung“ und „Naturschutz“ für weiterführende Berechnungen benötigt werden, werden die vom CLM simulierten prozentualen Änderungen des Niederschlags an die DWD-Daten angepasst.

Beim Niederschlag zeigt sich im Jahresmittel kaum eine Veränderung, allerdings können zwischen einzelnen Jahren deutliche Schwankungen von bis zu ± 200 mm auftreten. Die Analyse mit dem CLM zeigt jedoch eine deutliche Verschiebung der Niederschläge im Jahresverlauf.

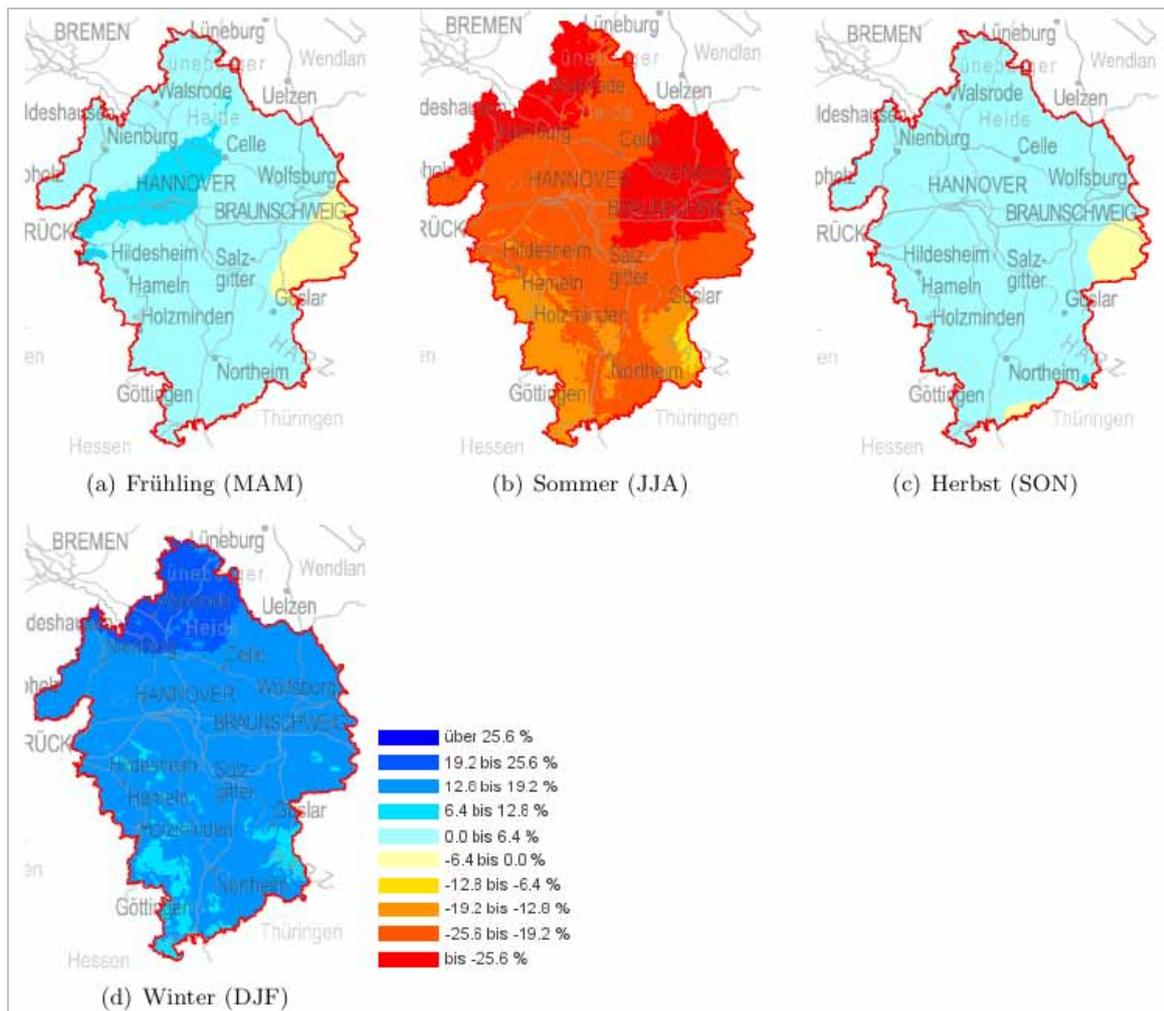


Abb. 1.1.7: Prozentuale Änderung der Niederschläge in den Jahreszeiten im Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 in der Metropolregion, simuliert mit CLM.

In der Abbildung 1.1.7 ist die prozentuale Veränderung der Niederschläge in den einzelnen Jahreszeiten im Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 dargestellt. Saisonal betrachtet zeigen sich in der Metropolregion in den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst unterschiedliche Tenden-

zen. Hier wird hauptsächlich im Osten eine leichte Abnahme von 4 % vom CLM projiziert, wohingegen im Rest der Metropolregion Niederschlagszunahmen um bis zu 8 % berechnet wurden. Im Winter sind die größten Niederschlagszunahmen von bis zu 20 % im Norden der Metropolregion zu verzeichnen. In den

Höhenlagen des Harzes, Sollings und des Weser- und Leineberglandes werden bis zu 15 % mehr Niederschlag berechnet. Im Sommer zeigt sich auch, wie im Winter, ein Nord-Süd-Gefälle, allerdings werden hier für den Norden auch die größten Niederschlagsabnahmen von -25 % berechnet. In den Höhenlagen liegt die Abnahme der Niederschläge in der gleichen Größenordnung wie die Zunahme im Winter. Bei der monatsweisen Betrachtung der Niederschlagsänderungen fällt auf, dass sich bereits mittelfristig bis 2050 die Niederschläge verändern, wobei diese aber noch vergleichsweise moderat ausfallen. Allerdings sind auch dort schon Abnahmen in der Hauptwachstumsperiode der Kulturpflanzen zu erkennen, die sich bis 2100 noch verstärken.

1.1.5 Extremereignisse

Um die möglichen Folgen der Klimaänderungen für die Metropolregion abzuschätzen, ist besonders die Entwicklung von Extremereignissen, die äußeren Ränder der Verteilungs-

kurve, von großer Relevanz, da sie mit einer hohen Schädigung verbunden sind. Extremereignisse sind zum Teil subjektiv und werden besonders stark dann wahrgenommen, wenn man selbst davon betroffen ist. Zudem erschwert die Seltenheit der Ereignisse es häufig, eindeutige Trends aus den Klimadaten abzuleiten, da eine leichte Zunahme seltener Ereignisse sich prozentual deutlich stärker auswirkt als eine Zunahme eines ohnehin schon häufigen Ereignisses.

Die Abbildung 1.1.8 zeigt am Beispiel der Region Uetze/Celle die jährliche Summe von Niederschlagstagen mit mehr als 10 bzw. 25 mm, wie sie mit dem CLM simuliert wurden. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um die reinen CLM-Daten handelt. Eine Anpassung an die DWD-Daten wurde hier nicht vorgenommen. In der Graphik ist die absolute Häufigkeit des Auftretens dieser Ereignisse im Simulationszeitraum 1960–2100 aufgetragen. Die dicken Linien stellen jeweils das zehnjährige gleitende Mittel für den Parameter dar.

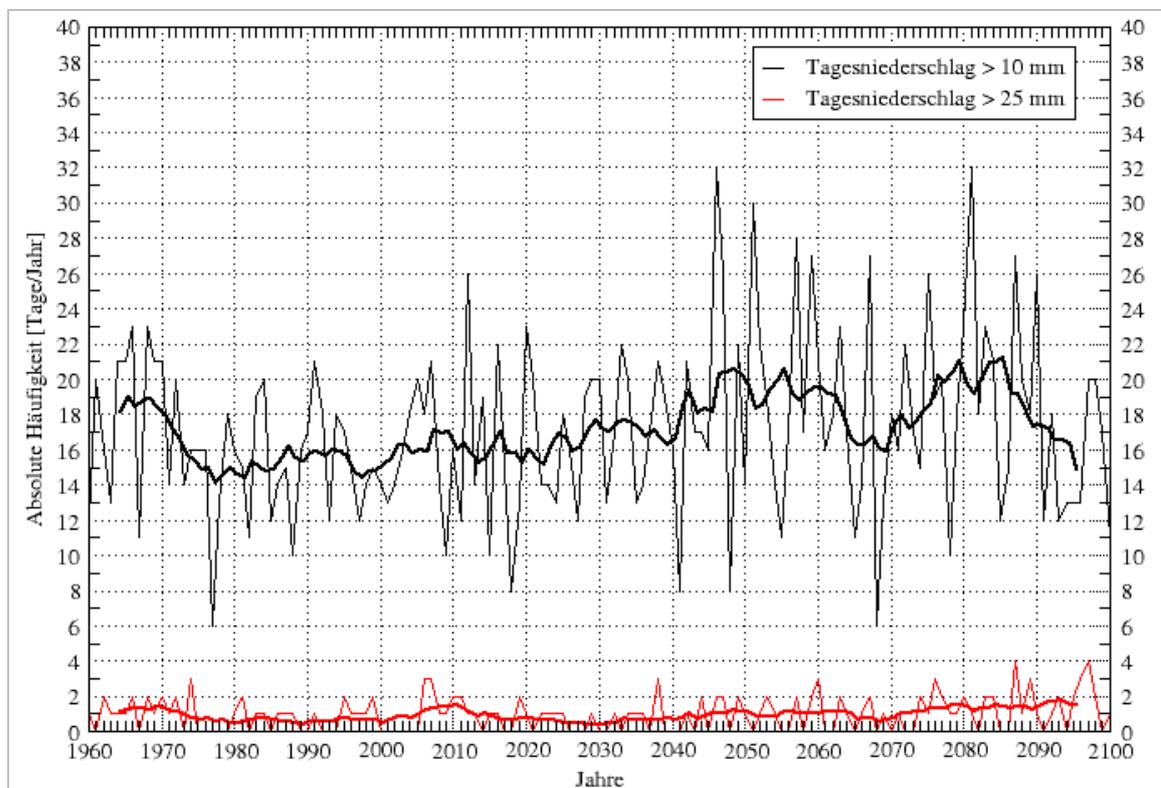


Abb. 1.1.8: Zahl der Tage pro Jahr mit Niederschlagssummen > 10 mm und > 25 mm in der Region Uetze/Celle, simuliert mit CLM.

Die Entwicklung der intensiven Niederschläge ist überprägt von einer großen Jahr-zu-Jahr-Variabilität. Die Spanne der mit dem CLM simulierten intensiven Niederschläge beträgt im gesamten Zeitraum 7–33 Tage pro Jahr mit Tagesniederschlagssummen > 10 mm. Im Zeitraum 1961–1990 simuliert das CLM 16 Tage mit intensivem Niederschlag. Mittelfristig bleibt dieses Niveau annähernd bestehen. Allerdings verstärkt sich auch die Variabilität intensiver Niederschläge zwischen 2050 und 2090. Insgesamt scheint sich die Zahl der intensiven Niederschlagstage in der Region Uetze/Celle bis 2090 um 2–3 Tage im Vergleich zum Referenzzeitraum leicht zu erhöhen. Danach zeigt das zehnjährige gleitende Mittel eine leicht rückläufige Tendenz. Ein signifikanter Anstieg der intensiven Niederschläge ist aus dieser Abbildung nicht zu erkennen. Ähnlich verhält es sich mit den nassen Tagen. Die Abbildung verdeutlicht, dass Tagesniederschlagssummen mit mehr als 25 mm in der Region Uetze/Celle ein seltenes Ereignis sind. Im gesamten Simulationszeitraum werden vom CLM pro Jahr 0–4 nasse Tage pro Jahr simuliert. Auch hier ist zunächst kein Trend einer Zunahme der Tage mit mehr als 25 mm Niederschlag pro Jahr zu erkennen. In den Vertiefungsregionen Hildesheim und Göttingen zeigt sich ein ähnlicher

Verlauf der Tage mit intensivem Niederschlag und der nassen Tage, so dass dieses Ergebnis stellvertretend für die Metropolregion angesehen werden kann. Bei der Analyse der maximalen stündlichen Niederschlagssummen pro Dekade in der Region Uetze/Celle wurde ein linearer Anstieg festgestellt. Die Schwankungsbreite liegt hier allerdings zwischen 8 und 14 mm, wohingegen vom DWD erst Niederschlagsmengen von mehr als 17,1 mm pro Stunde als Starkregenereignis definiert werden.

Bei den Extremtemperaturen ist nicht nur die absolute Anzahl, sondern insbesondere die Andauer solcher Ereignisse von Interesse. Analysen mit dem CLM für die Region Uetze/Celle haben ergeben, dass sich die absoluten Maximumtemperaturen im Verlauf des 21. Jahrhunderts erhöhen werden. So können auch Tageshöchsttemperaturen von mehr als 40 °C zum Ende des 21. Jahrhunderts verstärkt auftreten. Aber auch die Zahl und Andauer von Hitzeperioden verstärkt sich im Simulationszeitraum. Die Abbildung 1.1.9 zeigt die mit dem CLM simulierte Häufigkeit und Andauer von Hitzeperioden mit Maximumtemperaturen ≥ 30 °C und ≥ 35 °C am Beispiel von Hannover.

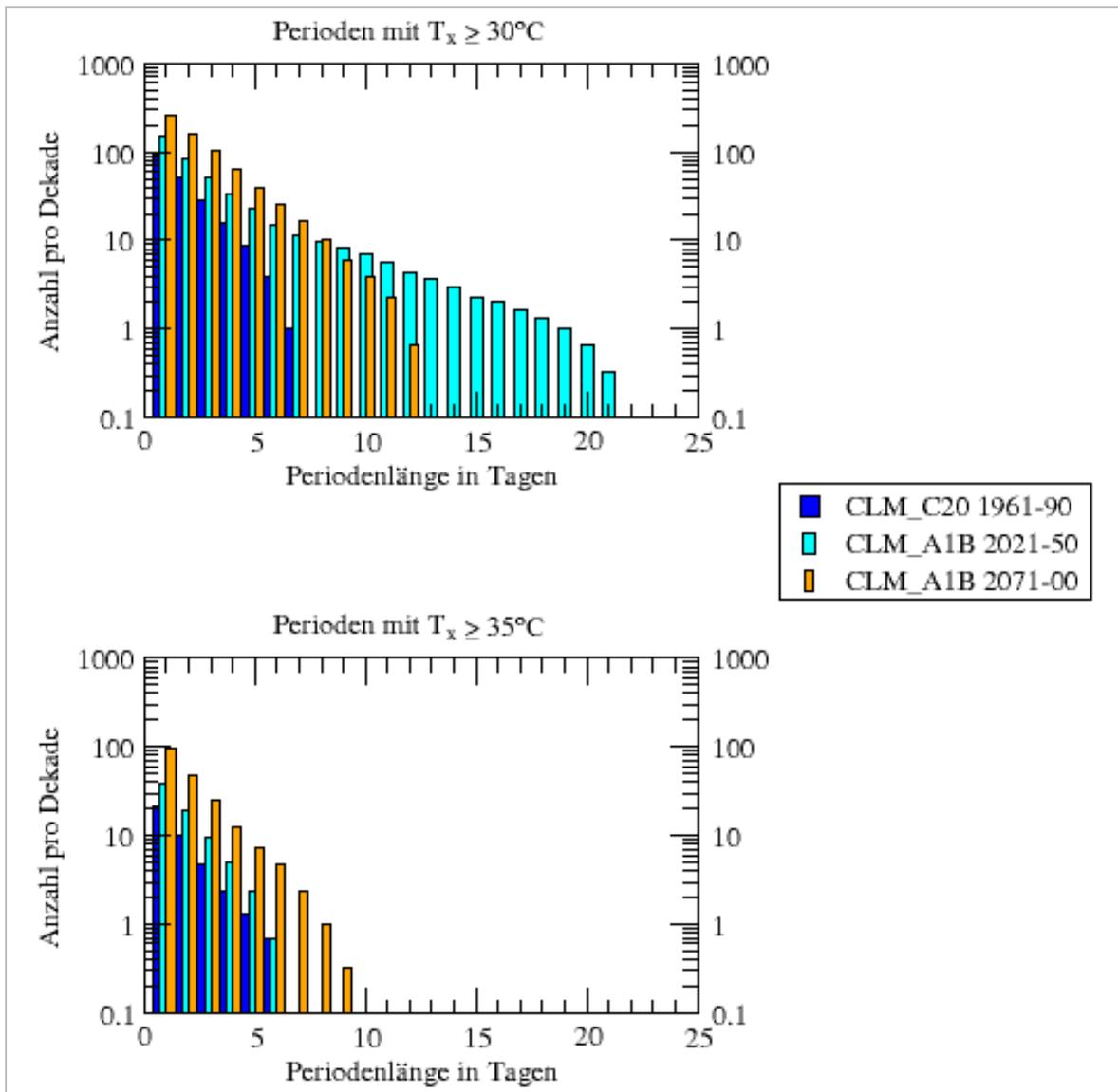


Abb. 1.1.9: Entwicklung der Häufigkeit und Andauer von Hitzeperioden mit $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$ und $\geq 35^\circ\text{C}$ in Hannover, simuliert mit CLM (SAUER 2009).

Der Vergleich der simulierten Hitzeperioden mit den Beobachtungsdaten des DWD hat ergeben, dass die Andauer vom CLM etwas überschätzt wird. Dennoch lassen sich aus der Analyse der Andauer von Hitzeperioden Trends für die Metropolregion ableiten. Perioden mit einem anhaltenden Tagesmaximum von mehr als 30°C könnten zum Ende des 21. Jahrhunderts bis zu 21 Tage andauern, wohingegen unter Berücksichtigung der Reanalyse-daten an maximal 4–5 aufeinanderfolgenden

Tagen Tageshöchstwerte von mehr als 35°C wahrscheinlich werden.

Die Veränderungen der Klimaparameter sowie der Extremereignisse sind jedoch meist erst dann von Relevanz, wenn sie persönlich bzw. die Auswirkungen anhand der Umwelt wahrgenommen werden. So haben die klimatischen Veränderungen beispielsweise einen großen Einfluss auf die Anbaubedingungen und die Produktivität von Kulturpflanzen.

1.1.6 Auswirkungen des Klimawandels auf die Anbaubedingungen von Kulturpflanzen

Durch den Klimawandel ergeben sich aus klimatologischer Sicht sowohl Risiken als auch Chancen für die Landwirtschaft. Durch die höheren Mitteltemperaturen, insbesondere im Winter, verschiebt sich die Vegetationsperiode. Dabei kommt es sowohl zu einer Verfrühung als auch zu einem späteren Ende der Vegetationszeit um 3–4 Wochen. In der Abbildung 1.1.10 sind Beginn und Ende der Vegetationsperiode in der Region Uetze/Celle dargestellt.

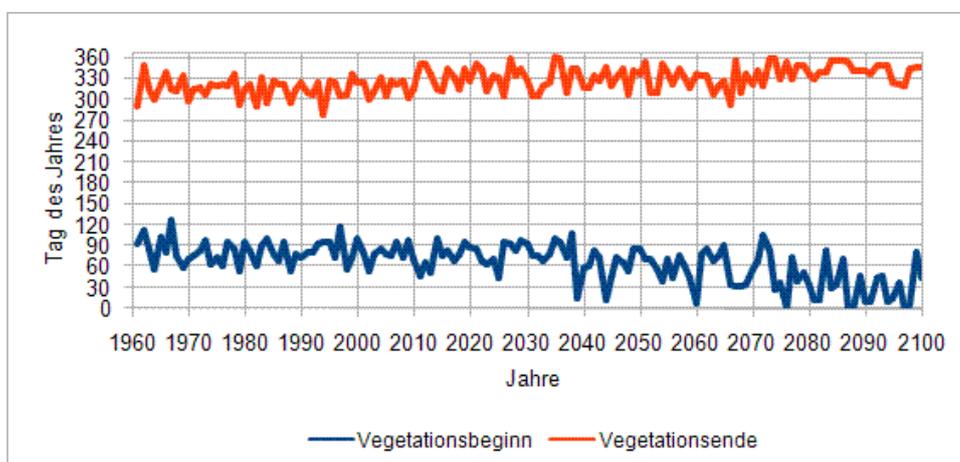


Abb. 1.1.10: Beginn und Ende der Vegetationsperiode in der Region Uetze/Celle, Schwellenwert 5 °C.

Tab. 1.1.1: Beginn und Ende der Vegetationsperiode in der Region Uetze/Celle, Schwellenwert 5 °C.

Zeitraum	Vegetationsbeginn (5°C) (Tag des Jahres)	Vegetationsende (Tag des Jahres)	Länge der Vegetationsperiode (Länge in Tagen)
1961–1990	81 (22. März)	315 (11. November)	234
2021–2050	73 (14. März)	330 (26. November)	257
2071–2100	37 (6. Februar)	341 (7. Dezember)	304

Der Vegetationsbeginn ist definiert als der Tag des Jahres, an dem an fünf aufeinanderfolgenden Tagen eine Mitteltemperatur von 5 °C nicht mehr unterschritten wird. Die Abbildung 1.1.10 zeigt, dass sich der bereits zu beobachtende Trend eines früheren Vegetationsbeginns als auch eines späteren Vegetationsendes zukünftig fortsetzen wird. Dadurch verlängert sich insgesamt die Vegetationsperiode. Die durch-

schnittlichen Eintrittstermine für die drei Betrachtungszeiträume 1961–1990, 2021–2050 und 2071–2100 sind in der Tabelle 1.1.1 zusammengefasst. Die durchschnittliche Länge der Vegetationsperiode im Referenzzeitraum 1961–1990 deckt sich sehr gut mit den Beobachtungsdaten, die in der Abbildung 1.1.11 dargestellt sind.

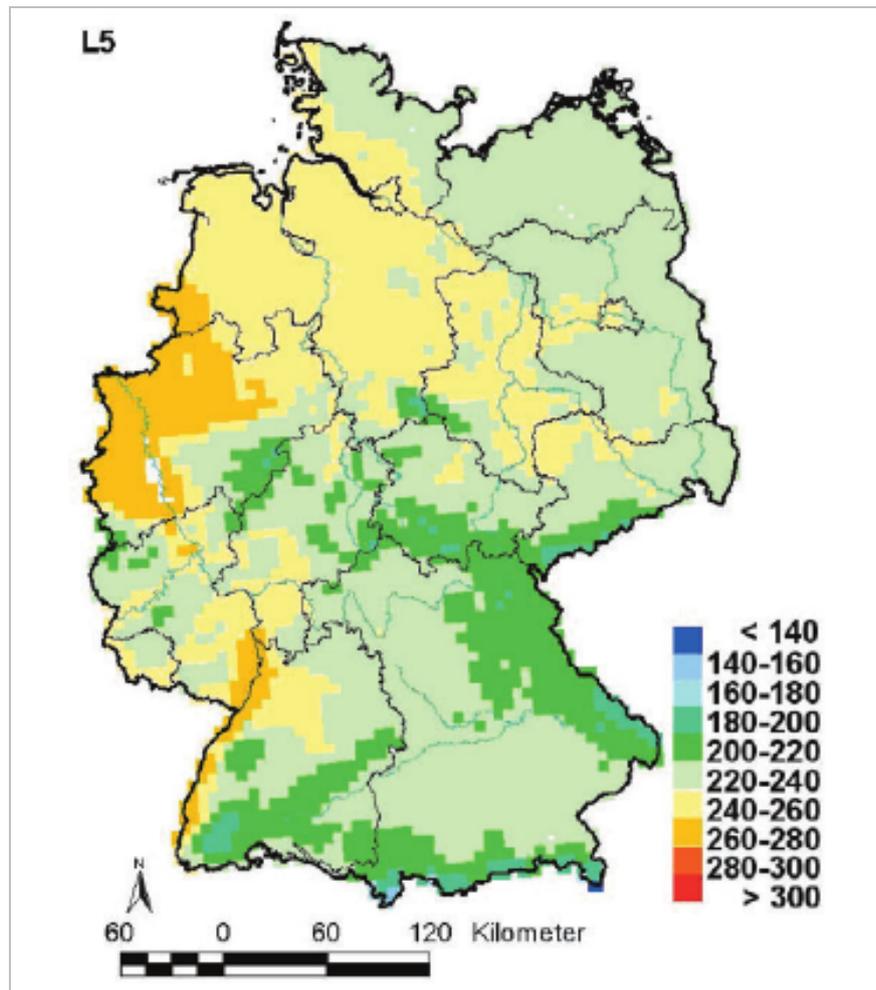


Abb. 1.1.11: Mittlere Länge der thermischen Vegetationsperiode in Deutschland im Zeitraum 1961–2000 in Tagen (nach CHMIELEWSKI 2007).

Mit dem CLM wurde im Zeitraum 1961–1990 ein durchschnittlicher Vegetationsbeginn am 81. Tag des Jahres berechnet. Dies entspricht dem 22. März. Bis zum mittelfristigen Zeitraum 2021–2050 wird eine Verfrüfung um acht Tage, also den 14. März, berechnet. Laut KÖRNER (2006) führt eine mittlere Erwärmung um 1 °C zu einer Verfrüfung des Vegetationsbeginns um circa eine Woche. Die mit dem CLM berechnete Verfrüfung der Vegetationsperiode ist mit einem um durchschnittlich 44 Tage früheren Einsetzen im Zeitraum 2071–2100 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961–1990 jedoch deutlich höher. Werden dem Vegetationsbeginn die Wintertemperaturen zugrunde gelegt, so werden diese zum Ende des 21. Jahrhunderts um 4 °C höher simuliert als im

Referenzzeitraum 1961–1990. Dies würde nach Angaben von KÖRNER (2006) einer Verfrüfung um vier Wochen, also 28 Tagen, entsprechen. Hier gilt es jedoch zu berücksichtigen, dass es sich nur um Durchschnittswerte handelt. Die Abbildung 1.1.10 verdeutlicht, dass der Beginn der Vegetationsperiode zwischen einzelnen Jahren stark schwanken kann. Das Ende der Vegetationsperiode verzögert sich ebenfalls, allerdings mit durchschnittlich 26 Tagen in geringerem Maße als der Vegetationsbeginn. Die Analysen mit dem CLM bestätigen somit den bereits heute zu beobachtenden Trend einer Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode. Dies lässt sich auch auf andere Regionen in der Metropolregion und in Deutschland übertragen.

Mehrfährige Kulturen, wie z. B. die Zuckerrübe, könnten grundsätzlich von einer längeren Vegetationsperiode profitieren, da sie auch nach Erreichen der Reife noch weiterwachsen können. Darüber hinaus sind temperaturbedingt Ertragssteigerungen bei all denjenigen Pflanzen zu erwarten, die heute noch unterhalb ihres Temperaturoptimums wachsen. Hingegen könnten sich durch die höheren Mittel-, aber auch Extremtemperaturen die einzelnen Entwicklungsphasen der Pflanzen verschieben bzw. verkürzen, wodurch mit potenziellen Ernte- und Qualitätsverlusten zu rechnen ist. Dies betrifft beispielsweise die Kornfüllungsphase des Weizens, in der bereits Temperaturen von mehr als 30 °C zu reduziertem Wachstum führen.

Die Analysen mit dem CLM haben gezeigt, dass die Gefahr von Spätfrostereignissen, d. h. Minimumtemperaturen unter 0 °C nach Einsetzen der Vegetationsperiode, nicht steigt. Durch die längere Vegetationszeit scheint bei angepasster Sortenwahl eine frühere Ernte im Jahr bzw. sogar zwei Ernten pro Jahr grundsätzlich möglich.

Der limitierende Faktor in der Landwirtschaft bleibt weiterhin das Wasser. Die Wahrscheinlichkeit trocken-heißer Perioden steigt im Verlauf des 21. Jahrhunderts. Dies bedeutet, dass auf den ohnehin schon trockenen Standorten im Norden der Metropolregion, auf denen sandige Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität dominieren, zukünftig verstärkt beregnet werden muss, um die Erträge zu sichern. Hier stellt sich die Frage, woher das zusätzliche Wasser für die Feldberegung entnommen wird. Nutzungskonflikte, z. B. mit dem Naturschutz, sind sehr wahrscheinlich. Inwieweit die erhöhte Wassernutzungseffizienz durch den CO₂-Düngeeffekt den Wassermangel kompensieren kann, bleibt fraglich. Gleichzeitig können auch vermehrt extreme Niederschlagsmengen auftreten, z. B. durch sommerliche Gewitter. Dadurch steigen die Gefahr von Erosion und die Auswaschung von Nährstoffen, wenn diese auf die ausgetrockneten Böden treffen. Die allgemeine Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter kann zusätzlich die Bodenbewirtschaftung erschweren, wenn die Böden aufgrund von Staunässe nicht mehr befahrbar sind.

1.1.7 Zusammenfassung

Die genaue Abschätzung all dieser Faktoren ist schon heute für die Landwirtschaft, einem der wichtigsten ökonomischen Zweige in der Metropolregion, von hoher Relevanz. Aus den Klimadaten lässt sich eine grobe Tendenz ableiten, allerdings ist dieser Trend von einer großen Jahr-zu-Jahr-Variabilität überlagert, auf die die Landwirte schon heute reagieren müssen. Die Trockenjahre 2003 und zum Teil auch 2006 haben gezeigt, dass eine rasche Anpassung an solche Extremsituationen nicht immer möglich ist. Die Folge sind Ertragseinbußen und damit auch ökonomische Verluste. Hier ist es die Aufgabe der Forschung, aber auch der Politik, weiterhin die ökologischen und ökonomischen Folgen durch den Klimawandel abzuschätzen und kurz-, mittel- und langfristige Lösungsansätze zu erarbeiten.

Abschließend soll in diesem Zusammenhang noch einmal auf die Möglichkeiten und Grenzen der regionalen Klimamodellierung aufmerksam gemacht werden. Die hier gezeigten Ergebnisse dürfen nur als eine mögliche Entwicklung betrachtet werden, die, aufgrund der gegebenen Unsicherheiten, eine gewisse Bandbreite aufzeigen. Bei Verwendung eines anderen Regionalisierungsmodells können die Klimaänderungssignale, z. B. beim Niederschlag, teilweise deutlich variieren. Zudem handelt es sich bei den hier gezeigten Ergebnissen nicht um Prognosen im Sinne einer Wettervorhersage, sondern um Klimaszenarienrechnungen, die unter bestimmten Annahmen getroffen werden. Allerdings bilden diese Trendaussagen den derzeit besten Stand der Forschung und ermöglichen es schon heute, auf den Klimawandel in der Metropolregion zu reagieren und vorausschauend geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln.

1.1.8 Literatur

- CHMIELEWSKI, F.-M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. — In: ENDLICHER, W. & GERSTENGARBE, F.-M. (Hrsg.): Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke: 75–85. – Geographisches Institut, Humboldt-Universität zu Berlin.
- GROSS, G. (1989): Numerical simulations of the nocturnal flow system in the Freiburg area for different topographies. — Beitr. Phys. Atmosph.: 57–72.
- KEULER, K., WILL, A., RADTKE, K. & WOLDT, M. (2007): Hinweise zur Nutzung von CLM-Ergebnissen. — CLM-Workshop und Kontaktforum 7. Dezember 2007, Powerpoint-Präsentation; Hamburg.
- KÖRNER, C. (2006): Significance of temperature in plant life. — In: MORISON, J. I. L. & MORECROFT, M. D. (Hrsg.): Plant Growth and Climate Change: 48–69. – Oxford (Blackwell).
- KRAUSE, A. (2011): Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen. — Institutsbericht **77**, 120 S., Institut für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover.
- SAUER, M. (2009): Analyse regionaler Klimaszenarien für Niedersachsen. — Bachelorarbeit am Institut für Meteorologie und Klimatologie, 76 S., Leibniz Universität Hannover.
- SEEDORF, H. H. & MEYER, H.-H. (1992): Landeskunde Niedersachsen - Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes, Band 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. – 517 S.; Neumünster (Wachholtz).

2 Teilprojekt 2: Energiepflanzen

2.1 Einfluss des Klimawandels auf Standortpotenziale von Bioenergiepflanzen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen

CHRISTINA LENSSEN & UDO MÜLLER

Kurzfassung

Die Berechnungen der Biomassepotenziale und die Identifikation empfindlicher Standorte beruhen auf bodenkundlichen Auswertungsmethoden des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS[®]) unter Verwendung von Klimaszenarien des Klimamodells CLM.

Geringere Niederschläge und höhere Temperatursummen in der Vegetationszeit führen zu Wassermangel, Hitzestress und dadurch zu reduzierten Biomasseerträgen. Legt man die Klimaszenarien des Klimamodells zu Grunde, nehmen die Erträge im Norden der Metropolregion deutlich ab. Der Süden der Region profitiert hingegen von den höheren Temperaturen im Klimawandel durch eine höhere Biomasseproduktion. Früher beginnende und länger andauernde Vegetationszeiten erlauben die Aufnahme von wärmeliebenden Bioenergiepflanzen in die Fruchtfolgen und den Anbau von Zweitkulturen und Zwischenfrüchten zur Bioenergiegewinnung. Im Norden können trockenheitstolerante Energiepflanzen eine Alternative auf für Marktfrüchte unrentabel gewordenen Grenzertragsstandorten bieten. Die geringsten Ertragspotenziale kommen im Nordosten der Metropolregion vor.

Die Auswertung zeigte, dass der Klimawandel sowohl Vorteile im Süden der Metropolregion als auch Nachteile im Norden mit sich bringt. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse können Maßnahmen ergriffen werden, um Ertragsverlusten rechtzeitig durch pflanzenbauliche und berechnungstechnische Entscheidungen entgegen zu wirken.

2.1.1 Einleitung

Die Förderung von regenerativer Energie verfolgt das Ziel, ihren Anteil in der EU auf 20 % bis zum Jahr 2020 zu erhöhen (BMU 2007). Dies soll auch bzw. vor allem durch den Ausbau der Bioenergienutzung erreicht werden. Der Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen leisten bereits heute einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen. In zahlreichen Anlagen wird bereits Biogas produziert, und das Interesse an einer Verwertung landwirtschaftlicher Produkte in diesem Segment wächst. Mit einem Flächenanteil von ca. 60 % besitzt die Landwirtschaft und hier das Segment der Bioenergie auch eine wichtige wirtschaftliche und soziale Bedeutung in der Metropolregion. Mit Blick auf die Wachstumszahlen wird sich diese Tendenz zukünftig verstärken und damit die Bedeutung des Wirtschaftsfaktors Bioenergie noch zunehmen.

In Folge des Klimawandels werden sich die Anbaubedingungen für Energiepflanzen lokal differenziert verändern. Bei einer Ausweitung der Anbauflächen von Bioenergiepflanzen ist damit zu rechnen, dass einerseits Konflikte zu anderen Nutzungen, wie z. B. der Futterpflanzen- und Nahrungsmittelproduktion, auftreten werden. Andererseits bieten integrative Konzepte für den Energiepflanzenanbau die Chance, ertragsarme Standorte in der landwirtschaftlichen Produktion zu halten. Die Standortwahl, sowohl für den Anbau der Bioenergiepflanzen als auch für die Errichtung der Anlagen zu deren Verwertung, spielt dabei eine zentrale Rolle, um Zielsetzungen des Klimaschutzes zu erreichen und die Energieversorgung aus regenerativen Quellen langfristig abzusichern.

Aufgrund der bisher bekannten Klimaszenarien gibt es eine Tendenz zu steigenden Temperaturen in der Vegetationsperiode bei gleichzeitig geringeren Niederschlägen. Dies bedeutet eine verstärkte Inanspruchnahme des Bodenwasserhaushaltes durch die steigende Verdunstung und wahrscheinlich eine geringere Grundwasserneubildung. Nicht ohne Grund werden die Wasserressourcen für die Auswirkungen des Klimawandels als besonders anfällig gesehen. Der Bodenwasserhaushalt hat einen unmittelbaren Einfluss auf die pflanzenbauliche Produktion (EHLERS 1996) und damit auch auf das Standortpotenzial für den Energiepflanzenbau.

Beim Betrieb von Biogasanlagen mittels Pflanzenmasse wird bisher vor allem Mais eingesetzt (HERRMANN & TAUBE 2006). Um das Ertragspotenzial anderer Bioenergiepflanzen zu fördern und die Anbauattraktivität zu steigern, werden neben pflanzenbaulichen vor allem züchterische Maßnahmen durchgeführt. Ein weiterer Weg zur verstärkten Gewinnung von Biomasse ist die möglichst ganzjährige Nutzung des Produktionsstandortes, z. B. durch Grünlandnutzung, den Anbau von mehrjährigen Futterpflanzen sowie Zweitfruchtbau (GRASS & SCHEFFER 2005). Allerdings wird bei diesem Anbausystem durch eine ständige Bodenbedeckung und die damit einhergehende Transpiration der Bodenwasserhaushalt besonders beansprucht. Bisher ist noch nicht geklärt, welche Auswirkungen der Klimawandel auf den standortabhängigen Bodenwasserhaushalt und damit auf die Anbausysteme für Energiepflanzennutzung hat (CHRISTEN 2006). Bekannte Probleme durch Bodenerosion und Stoffauswaschung können verschärft werden. Bei der Ausbringung von Gärresten ist deren Anrechnung in der Nährstoffbilanz vor allem für den Grundwasserschutz von Bedeutung (RODE & SCHLEGELMILCH 2006). Für den Anbau von Bioenergiepflanzen erscheinen Flächen, die für die Nahrungsmittelproduktion problematisch sein können, besonders gut geeignet. Hierzu zählen vor allem Standorte mit flächenhaften stofflichen Bodenbelastungen oder Rekultivierungsgebiete. Die Frage nach dem Nutzungspotenzial von ertragsarmen Grenzstandorten kann noch nicht endgültig beantwortet werden, da dies im Wesentlichen von den Marktbedingungen und den standörtlichen Anforderungen abhängt (WERNER et al. 2005). Die Ansprüche von Pappeln oder Weiden (Kurzumtriebsplantagen) an den Standort sind beispielsweise gering (JUG 1997). Positiv sind Anbauverfahren zu bewerten, die sich im Rahmen der guten fachlichen Praxis bewegen und die Anforderungen nach Cross Compliance erfüllen. Dazu zählen die Minimierung von Bodenerosion und Bodenverdichtung, die bedarfsgerechte Düngung und Minimierung des Stoffaustrages, die Einhaltung der Fruchtfolge und der Humusbilanz sowie die Reduzierung des chemischen Pflanzenschutzes.

Es liegen umfangreiche wissenschaftliche Arbeiten zum Anbau von zahlreichen potenziellen Energiepflanzen auf unterschiedlichen Standorten vor (KARPENSTEIN-MACHAN 1997, 2005, 2006; KARPENSTEIN-MACHAN, HONERMEIER &

HARTMANN 1994). Unterschiedliche Kulturpflanzen wurden in Mischungen und Fruchtfolgen auf nordhessischen und südniedersächsischen Versuchsstandorten erprobt und im Rahmen des Bioenergiedorf-Projektes zum ersten Mal großflächig in die Praxis eingeführt (RUPPERT 2006). Auf fruchtbaren Standorten wurden die Zweikulturnutzung an die klimatischen Bedingungen von Vormittelgebirgsstandorten angepasst und erstmals Anbaukonzepte auf der Grundlage von Winterhauptkultur und sommerannueller Zwischenkultur (KARPENSTEIN-MACHAN 2005) erfolgreich durchgeführt.

Mit dem voranschreitenden Klimawandel ist in der Landwirtschaft mit veränderten Anbaubedingungen zu rechnen. Um die ökonomischen Auswirkungen durch Ertragsverluste rechtzeitig abschätzen und diesen entgegen wirken zu können, sind Kenntnisse über die Standortpotenziale für die Entwicklung der Biomasse im Klimawandel notwendig. Auch für Gebiete, die vom Klimawandel profitieren, lassen sich frühzeitig Konzepte zur effektiven Nutzung der Potenziale entwickeln.

2.1.2 Methode zur Bewertung standortbezogener Biomassepotenziale

Am Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) wurden standortbezogene Biomassepotenziale in Abhängigkeit vom Klimawandel ermittelt. In die Methode zur Berechnung der Biomassepotenziale (t/ha Trockenmasse) fließen Klima-, Boden- und Pflanzen-daten ein (Abb. 2.1.1). Die Bodendaten wurden der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 50 000 (BÜK 50) entnommen, die am LBEG im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS[®]) vorliegt. Bodenkundliche Kennwerte wurden mit dem Methodenmanagementsystem MeMaS[®] nach den Auswertungsmethoden im Bodenschutz (MÜLLER 2004) ausgewertet.

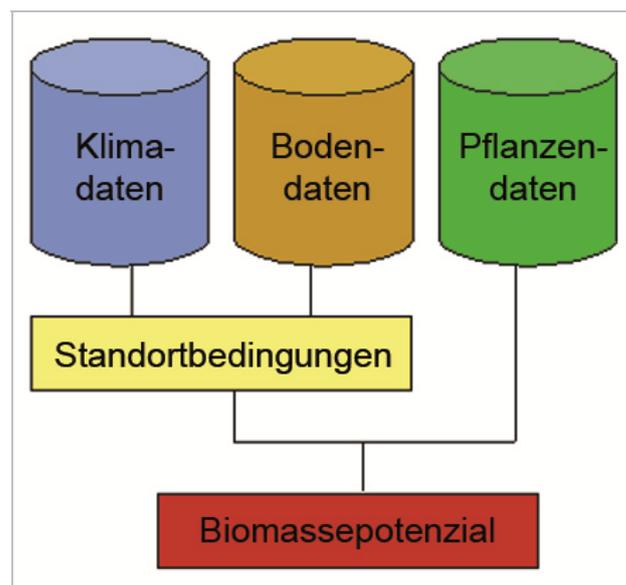


Abb. 2.1.1: Schema der Methode zur Berechnung der Biomassepotenziale.

Zur Berechnung der Biomassepotenziale wird zunächst die pflanzenspezifische Verdunstung mittels kulturspezifischer Faktoren (Tab. 2.1.1) aus der potenziellen Grasreferenzverdunstung für Monatswerte (DVWK 1996) abgeleitet.

Tab. 2.1.1: Pflanzenspezifische Verdunstungsfaktoren (kc-Faktoren)
(Quellen: SPONAGEL (1980), DOMMERMUTH & TRAMPF (1991), DVWK (1996)).

Pflanze	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Zuckerrübe	0,65	0,65	0,6	0,5	0,75	1,05	1,4	1,3	1,1	0,9	0,65	0,65
Mais	0,65	0,65	0,6	0,45	0,6	0,9	1	1,05	1,05	0,8	0,65	0,65
Kartoffeln früh	0,65	0,65	0,6	0,5	0,9	1,05	1,45	1,2	0,9	0,6	0,65	0,65
Kartoffeln spät	0,65	0,65	0,6	0,5	0,7	1,1	1,4	1,35	1,1	0,6	0,65	0,65
Sommergetreide	0,65	0,65	0,8	0,9	1,2	1,35	1,2	0,6	0,65	0,6	0,65	0,65
Winterweizen	0,65	0,65	0,8	0,85	1,15	1,45	1,4	1	0,65	0,7	0,65	0,65
Wintergerste	0,65	0,65	0,85	0,95	1,3	1,35	1,25	0,6	0,65	0,9	0,65	0,65
Winterroggen	0,65	0,65	0,85	0,9	1,2	1,3	1,25	0,95	0,65	0,7	0,65	0,65
Triticale	0,65	0,65	0,85	0,9	1,2	1,3	1,25	0,95	0,65	0,7	0,65	0,65
Raps	0,65	0,65	0,85	1	1,35	1,35	1,1	0,6	0,85	0,9	0,65	0,65
Sonnenblume	0,65	0,65	0,6	0,49	0,75	1,04	1,33	1,24	1,03	0,7	0,65	0,65
Silphie	0,65	0,65	0,77	0,80	1,09	1,27	1,28	0,96	0,80	0,74	0,65	0,65
Hirse	0,65	0,65	0,6	0,45	0,6	0,9	1	1,05	1,05	0,8	0,65	0,65
Topinambur	0,65	0,65	0,6	0,5	0,7	1,1	1,4	1,35	1,1	0,6	0,65	0,65
Ackergras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Die Beziehung zwischen Verdunstung und Trockenmasseproduktion liefert der Transpirationskoeffizient (TK). Er beschreibt den Wasserbedarf der Pflanze zum Aufbau eines Kilogramms Trockenmasse. Einige Pflanzen, wie Hirsen, Winterroggen, Wintergerste oder Mais, sind wassereffizient und benötigen etwa 200–400 l zur Synthese eines Kilogramms oberirdischer Biomasse (Trockenmasse). Kartoffeln oder Raps hingegen benötigen mehr Wasser

(Tab. 2.1.2). Anhand der pflanzenspezifischen aktuellen Verdunstung kann mittels des Transpirationskoeffizienten (Wasserverbrauch zum Aufbau eines Kilogramms Trockenmasse) die in der Vegetationsperiode gebildete oberirdische Biomasse berechnet werden. Vorausgesetzt wird eine optimale Versorgung der Pflanze mit Nährstoffen und eine ausreichende Wasserversorgung.

Tab. 2.1.2: Transpirationskoeffizienten (TK) der einiger Kulturpflanzen (Quellen: HOFHANSEL (2007), LOISKANDL (2008), STEUDLE (2002)).

Kultur	TK (mm)
Mais	250
Zuckerrüben	350
Kartoffeln	550
Sommergetreide	400
Winterweizen	400
Wintergerste	300
Winterroggen	300

Kultur	TK (mm)
Triticale	350
Raps	650
Sonnenblumen	550
Silphie	250
Hirse	250
Topinambur	350
Miscanthus	350

Limitierender Faktor für die Biomassesynthese ist vor allem in den Sommermonaten die Wasserverfügbarkeit. Das den Pflanzen zur Verfügung stehende Wasser wurde über die Kennwerte nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe), den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser und den Niederschlag für jeden Monat der Vegetationszeit berechnet. Reicht das Wasserangebot aus, kann die maximale Biomasse produziert werden. Über den Transpirationskoeffizienten wird die realisierbare Biomasse bestimmt. Bei Bodenwassergehalten unter 40–50 % geraten viele Kulturpflanzen in Trockenstress. Sie schränken ihre Verdunstung ein, was einen geringeren Biomasseaufbau zur Folge hat (EHLERS 1996; OBERFORSTER, FLAMM & PRIELER 2008).

Vom IPCC (2007) wird für die kommenden 50 Jahre ein Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentration von 380 ppm auf 550 ppm prognostiziert. Eine erhöhte Konzentration wirkt sich positiv auf die Biomassebildung aus, wenn Wasser- und Nährstoffangebot nicht begrenzt sind (PENDALL et al. 2001). Die Ertragssteigerung liegt in Feldversuchen zwischen 5 und 35 % (WEIGEL 2007; MANDERSCHIED, FRÜHAUF & WEIGEL 2003). Da das Ausmaß jedoch noch unsicher ist, wurden Ertragssteigerungen von 5 % für den Zeitraum von 2021–2050 und 10 % für 2071–2100 angenommen. Die berechneten Biomasseerträge wurden mit Daten des statistischen Landesamtes (KECKL 2010) und Werten aus der Literatur (KTBL 2005; KTBL 2006; FNR 2008; LÜTKE, ENTRUP & OEHMICHEN 2000; KARPENSTEIN-MACHAN 2005) verglichen und ergänzt.

2.1.3 Ergebnisse der Szenarienberechnung

Die Auswirkungen des Klimawandels wurden für die Metropolregion Hannover – Göttingen – Braunschweig auf Basis der globalen und regionalen Klimaszenarien (ECHAM5, CLM; BÖHM et al. 2006) berechnet, mit Hilfe mesoskaliger Modelle auf 1 x 1 km regionalisiert und für das Gebiet der Metropolregion dargestellt. Der Referenzzeitraum ist 1961–1990. Für die Auswertungen wurden die Prognosezeiträume 2021–2050 und 2071–2100 herangezogen.

In Abbildung 2.1.2 sind die bodenkundlichen Standorteigenschaften dargestellt. Der nördliche Teil der Region bis etwa zum Mittellandkanal ist durch sandige Böden mit geringerem Wasserspeichervermögen und geringeren Bodenzahlen gekennzeichnet. Es schließt sich ein Lössgürtel (Börden) mit Böden hohen Wasserspeichervermögens und entsprechend hohem Ertragspotenzial an. Der südliche Teil der Region ist von Böden aus Festgestein abwechselnd mit Lössbecken geprägt. Die Bodeneigenschaften sind entsprechend wechselnd (s. Abb. 2.1.2).

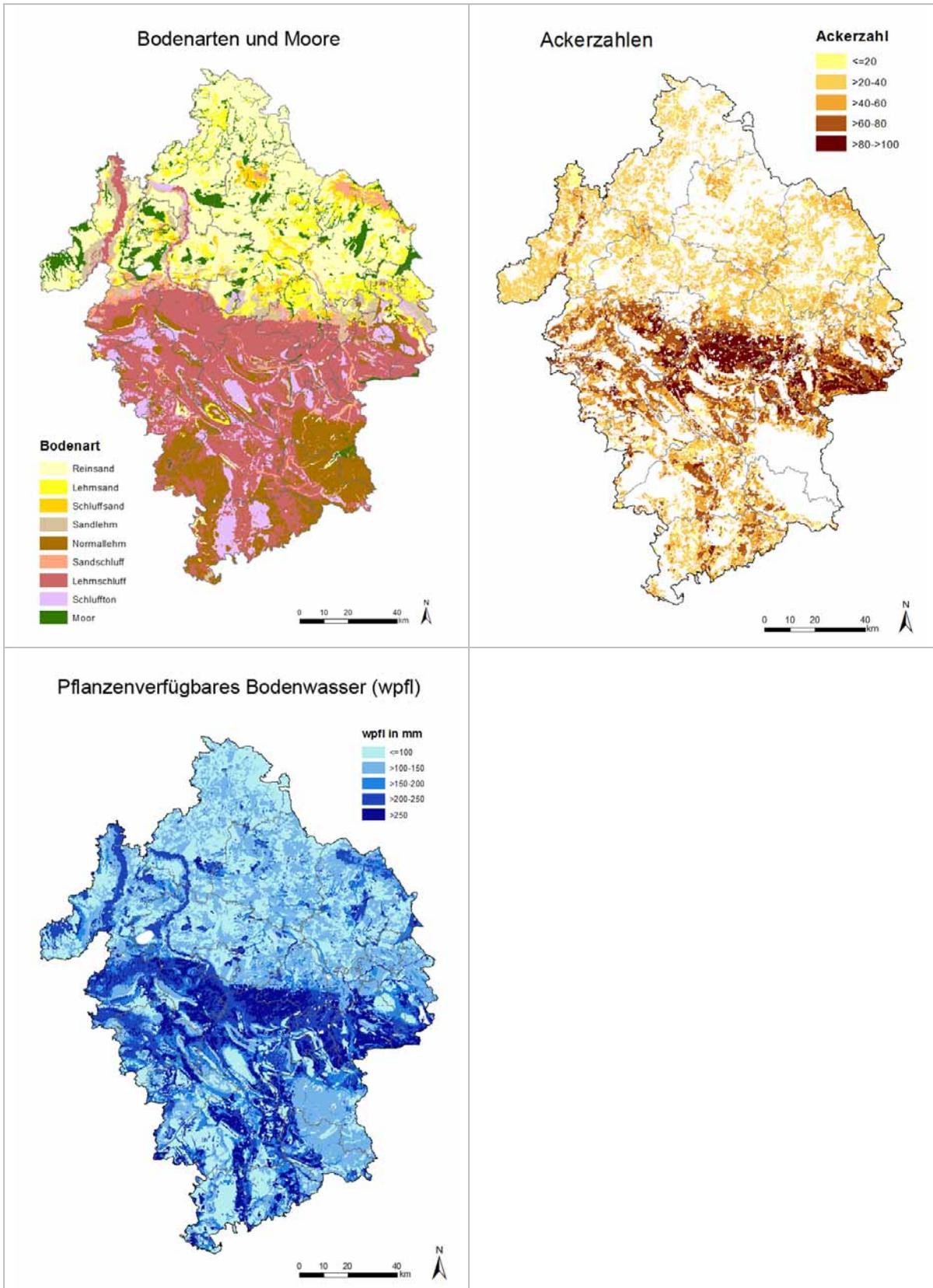


Abb. 2.1.2: Bodenarten, Ackerzahlen und pflanzenverfügbares Bodenwasser in der Metropolregion.

Ist-Zustand 1961–1990

Die höchsten Biomassepotenziale der Sommerungen (Kulturen, die im Frühjahr ausgebracht und im Sommer/Herbst geerntet werden) liegen im Lössgürtel der Metropolregion. Die tiefgründigen und nährstoffreichen Böden erwärmen sich zu Beginn der Vegetationszeit rasch und ermöglichen einen frühen Beginn der Biomasseentwicklung. Im kühleren und feuchteren Süden der Region liegen die Biomassepotenziale niedriger. Im Nordteil sind die Biomasse-

potenziale auf Standorten mit einem hohem Anteil pflanzenverfügbarem Bodenwasser ebenso hoch wie in der Bördelandschaft. Die Temperaturen erlauben bei ausreichender Wasserverfügbarkeit eine hohe Biomasseproduktion. Deutlich geringer sind die Potenziale in den Beregnungsregionen im östlichen Bereich der Metropolregion. Hier fallen im Vergleich zum übrigen Betrachtungsraum die geringsten Niederschläge. Ohne Beregnung sind die Erträge gering (Beispiel Kartoffeln und Hirse, Abb. 2.1.3).

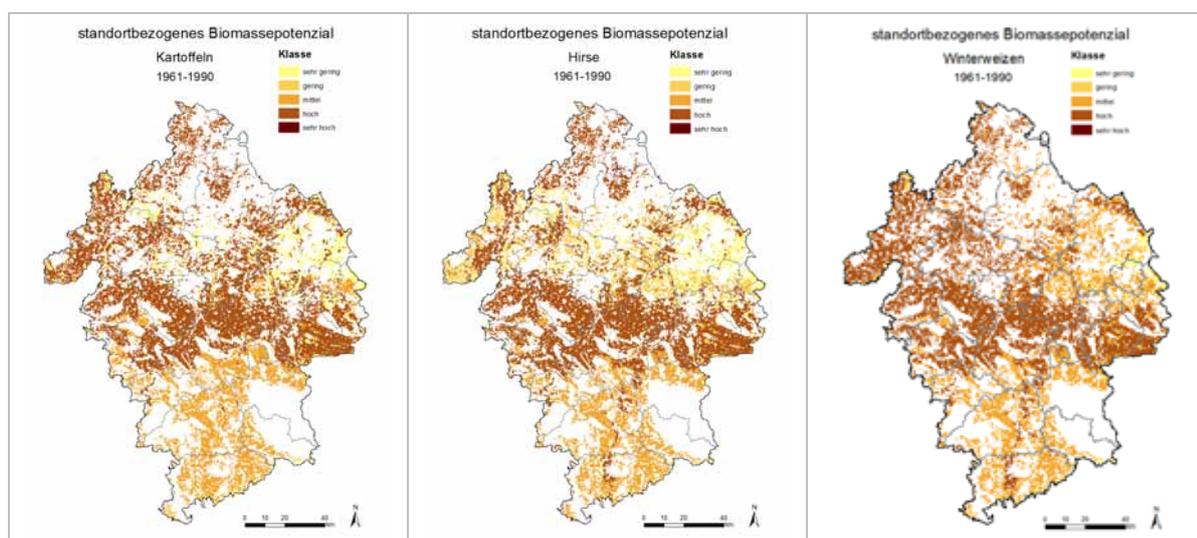


Abb. 2.1.3: Biomassepotenziale für Sommerungen (Kartoffeln und Hirse) und Winterung (Winterweizen) in der Metropolregion (Ist-Szenario).

Für die Winterungen (Kulturen, die im Herbst ausgebracht und im Sommer des Folgejahres geerntet werden) lassen sich ähnliche Biomassepotenziale in der gesamten Metropolregion erkennen. Die frühen Kulturen mit geringem bis mittlerem Wasserbedarf können auf die über den Winter aufgefüllten Bodenwasserspeicher zurückgreifen. Zusammen mit den Frühjahrsniederschlägen wird der Wasserbedarf ausreichend gedeckt. Der Bodenwasserhaushalt

bleibt bei den Winterungen im positiven Bereich, und auch die nutzbare Feldkapazität fällt nicht unter die kritische Grenze von 50–40 %. Geringere Biomassepotenziale sind bei den Winterungen im Osten der Region und auf vereinzelten Flächen mit geringem pflanzenverfügbarem Bodenwasser vorwiegend im Norden festzustellen (Beispiel Winterweizen, Abb. 2.1.3, Tab. 2.1.3).

Tab. 2.1.3: Biomassepotenziale im Ist-Szenario für Sommerungen und Winterungen.

Ist-Szenario	Sommerungen	Winterungen
Norden	hohe Potenziale bei guter, geringe Potenziale bei schlechter Wasserversorgung	ähnlich hohe Potenziale im gesamten Bereich der Metropolregion
Mitte	höchste Potenziale im Lössgürtel	
Süden	geringere Potenziale durch niedrige Temperatursummen	

Zukunftsszenario 2071–2100

Die verminderten Niederschläge in den Sommermonaten und die steigenden Temperaturen verursachen bei den Pflanzen Trockenstress. Im Norden der Metropolregion sind bei den Sommerungen deutliche Einbußen der Biomasseproduktion zu erwarten, die Erträge nehmen um mehr als 20 % ab. Ausnahmen kommen in den Auenbereichen der Nordhälfte vor. Die hier tiefgründigen und speicherfähigen Böden mit Grundwasseranschluss gleichen fehlendes Niederschlagswasser durch hohe pflanzenverfügbare Bodenwasserspeicher aus.

In der Metropolregion bewirkt der Klimawandel durch höhere Temperaturen einen früheren Beginn der Vegetationszeit (s. Tab. 1.1.1, Kap. 1.1; s. Abb. 2.2.4, Kap. 2.2.) im Vergleich zu den derzeit typischen Vegetationsperioden (Abb. 2.1.4). Bereits im Frühjahr können hohe

Biomasseleistungen durch höhere Verdunstungsraten realisiert werden. Geringere Niederschläge wirken sich bei den bisher verhältnismäßig hohen Regenmengen in der Mittelgebirgslandschaft bis zum Ende des Jahrhunderts noch nicht negativ aus. Abnehmende Potenziale sind im südlichen Bereich nur auf einzelnen flachgründigen und tonreichen Flächen mit geringen pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalten zu verzeichnen. Die wassereffizienteren C₄-Pflanzen (Pflanzen mit einem höheren Kohlenstoff(C)-Aneignungsvermögen bei der Photosynthese), wie beispielsweise Hirsen, reagieren auf die zunehmende Wasserknappheit im Norden der Metropolregion ebenso mit verminderter Biomasseproduktion wie die übrigen Sommerungen (Beispiel Kartoffeln: Abb. 2.1.5, Hirsen: Abb. 2.1.6).

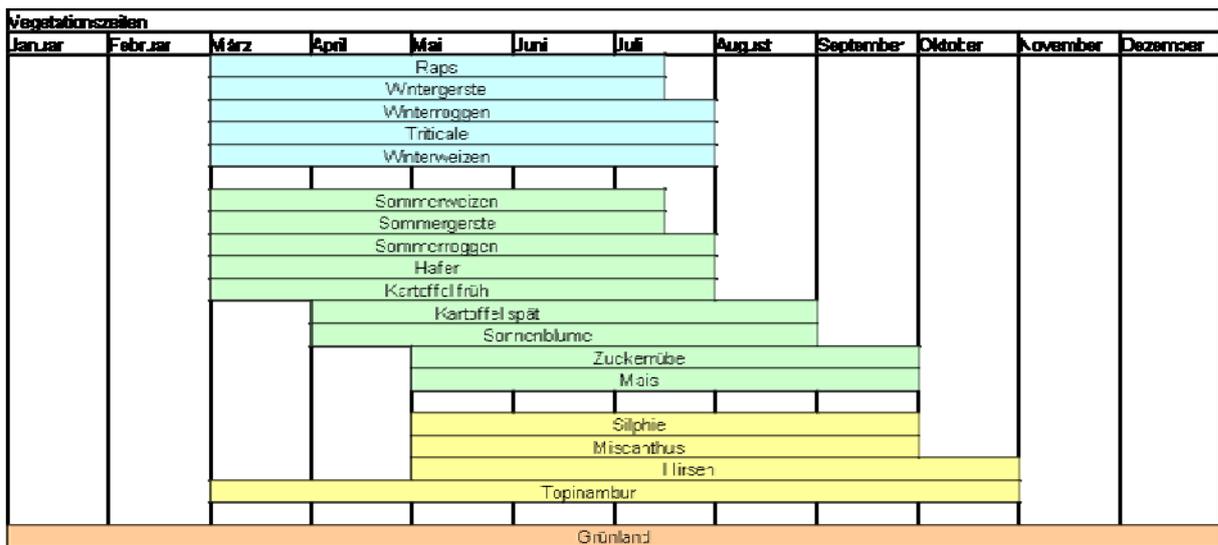


Abb. 2.1.4: Vegetationszeiten verschiedener Kulturpflanzen (nach KTBL 2005, KTBL 2006, LÜTKE ENTRUP & OEHMICHEN 2000).

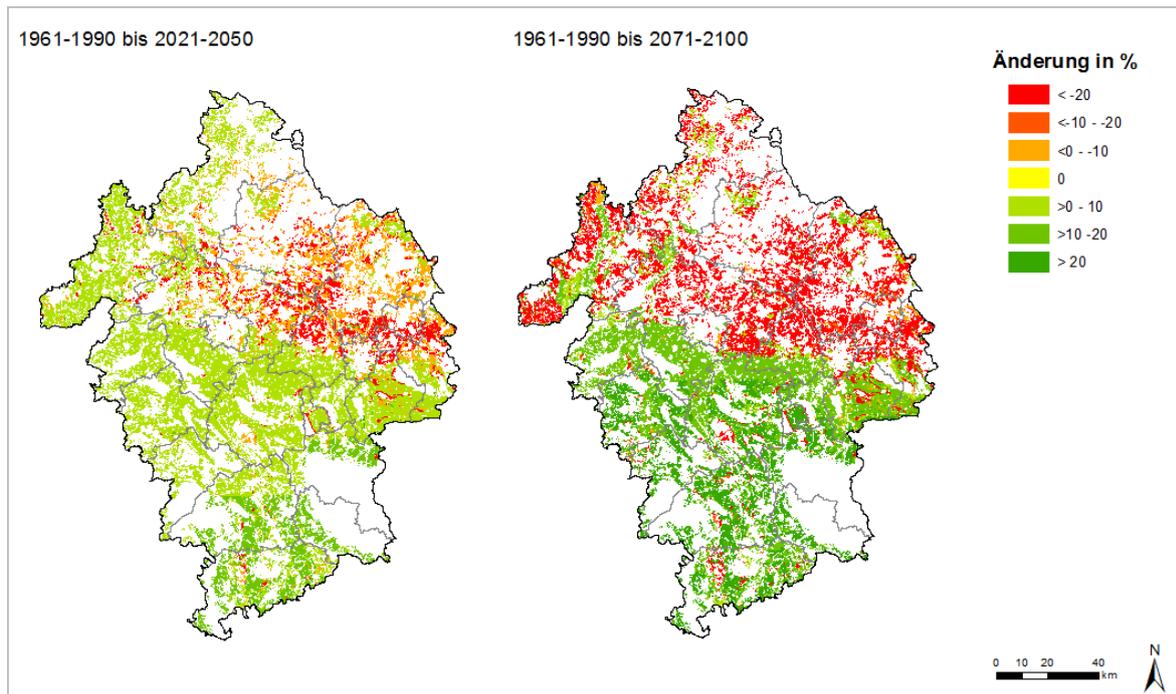


Abb. 2.1.5: Veränderung der Biomassepotenziale [%] bei Kartoffeln.

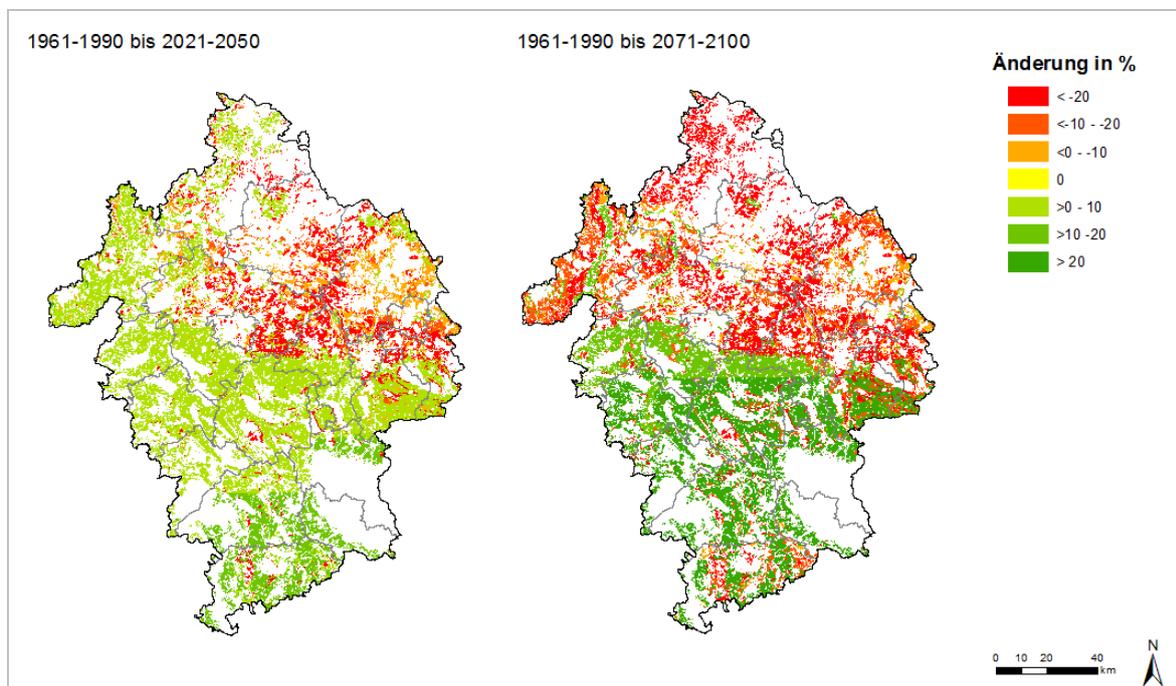


Abb. 2.1.6: Veränderung der Biomassepotenziale [%] bei Hirsen.

Auf die Winterungen wirkt sich der Klimawandel schwächer aus. Beinahe in der gesamten Region sind leichte Steigerungen des Biomassepotenzials zu erkennen (Beispiel Wintergerste: Abb. 2.1.7). Die höheren Temperaturen in den frühen Vegetationsmonaten sorgen vor allem im Süden für stärkeren Biomasseertrag von 10–20 %. Der relativ niedrige Wasserbedarf wird über Frühjahrsniederschläge und Bodenwasser auf den meisten Standorten nach

wie vor gedeckt, so dass auch im Norden die Potenziale mit bis zu 10 % leicht zunehmen. Ausgenommen hiervon ist der Osten der nördlichen Metropolregion. In den trockenen Beregnungsgebieten mit geringem Bodenwasserspeicher reicht das Wasserangebot auch für die Winterungen nicht aus, um effiziente Biomasseerträge zu erzielen, die Potenziale nehmen um mehr als 20 % ab (Beispiel Winterweizen: Abb. 2.1.7, Tab. 2.1.4).

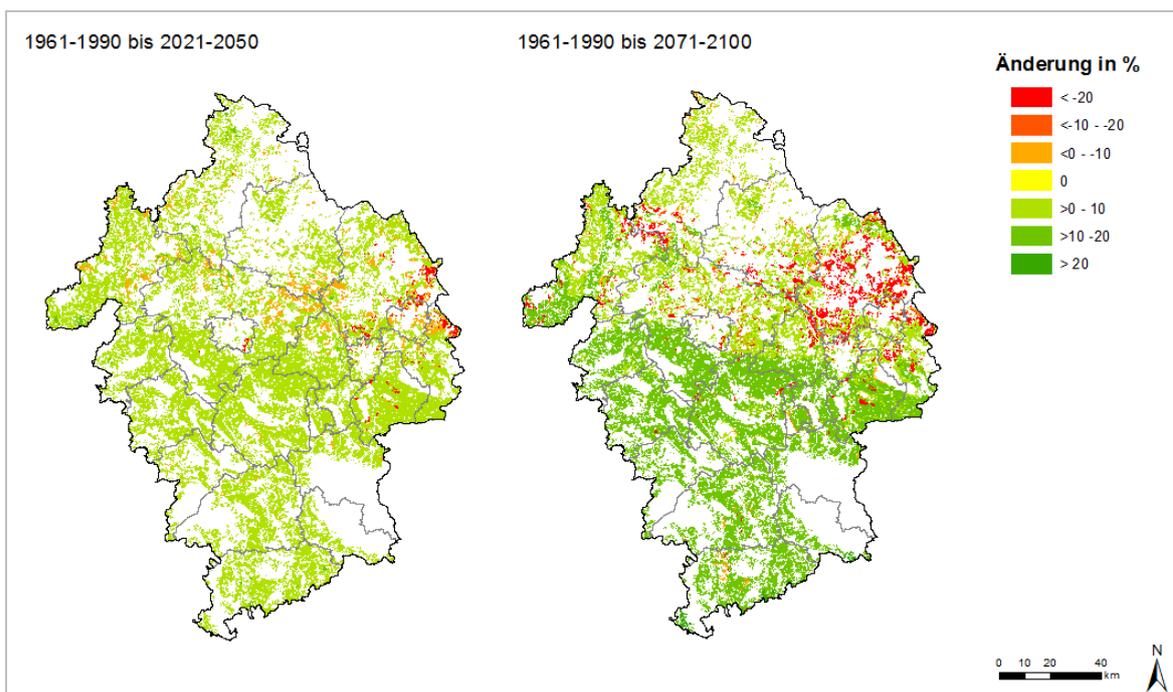


Abb. 2.1.7: Veränderung der Biomassepotenziale [%] bei Winterweizen.

Tab. 2.1.4: Biomassepotenziale im Zukunftsszenario 2071–2100 für Sommerungen und Winterungen.

Zukunftsszenario 2071–2100	Sommerungen	Winterungen
Norden	abnehmende Potenziale durch Wassermangel und Hitzestress Ausnahme: Flussauen mit hohem Anteil pflanzenverfügbarem Bodenwasser (Wpfl)	Zunahmen auch auf Standorten mit geringem Wpfl, da ausreichend Frühjahrsniederschläge Abnahmen im trockeneren Osten mit sehr geringem Wpfl
Mitte	höhere Verdunstungsleistung bei ausreichend pflanzenverfügbarem Bodenwasser	
Süden	Vorteile durch frühere und längere Vegetationszeit und höhere Temperatursummen, trotz Niederschlagsabnahme ausreichend Wasser verfügbar Ausnahmen: flachgründige Standorte, Rendzinen, Ranker	

Feuchtes Szenario 2071–2100

Feuchte Jahre mit verstärktem Niederschlag wirken sich im Norden der Region positiv auf die Sommerungen aus, da der bestehende Wassermangel ausgeglichen wird. Außer auf Standorten mit hohem Bodenwasserspeicher steigen die Biomassepotenziale um mehr als 20 % an. Auf den gut mit Wasser versorgten Flächen fällt die Menge des zusätzlichen Niederschlagswassers nicht ins Gewicht.

Die Winterungen reagieren auf vermehrten Niederschlag im Osten der nördlichen Metropolregion mit Zunahmen um mehr als 20 %. Im übrigen Nordteil wirkt sich dieses Szenario leicht mindernd auf das Ertragspotenzial aus. Im Süden der Metropolregion steigen die Biomassepotenziale bei allen Kulturen nur bei sehr geringen pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalten leicht an. Ansonsten zeigen sich auch hier die negativen Effekte dieses Szenarios mit tendenziell leicht abnehmenden Potenzialen bis 10 % (Abb. 2.1.8 und 2.1.9, Tab. 2.1.5).

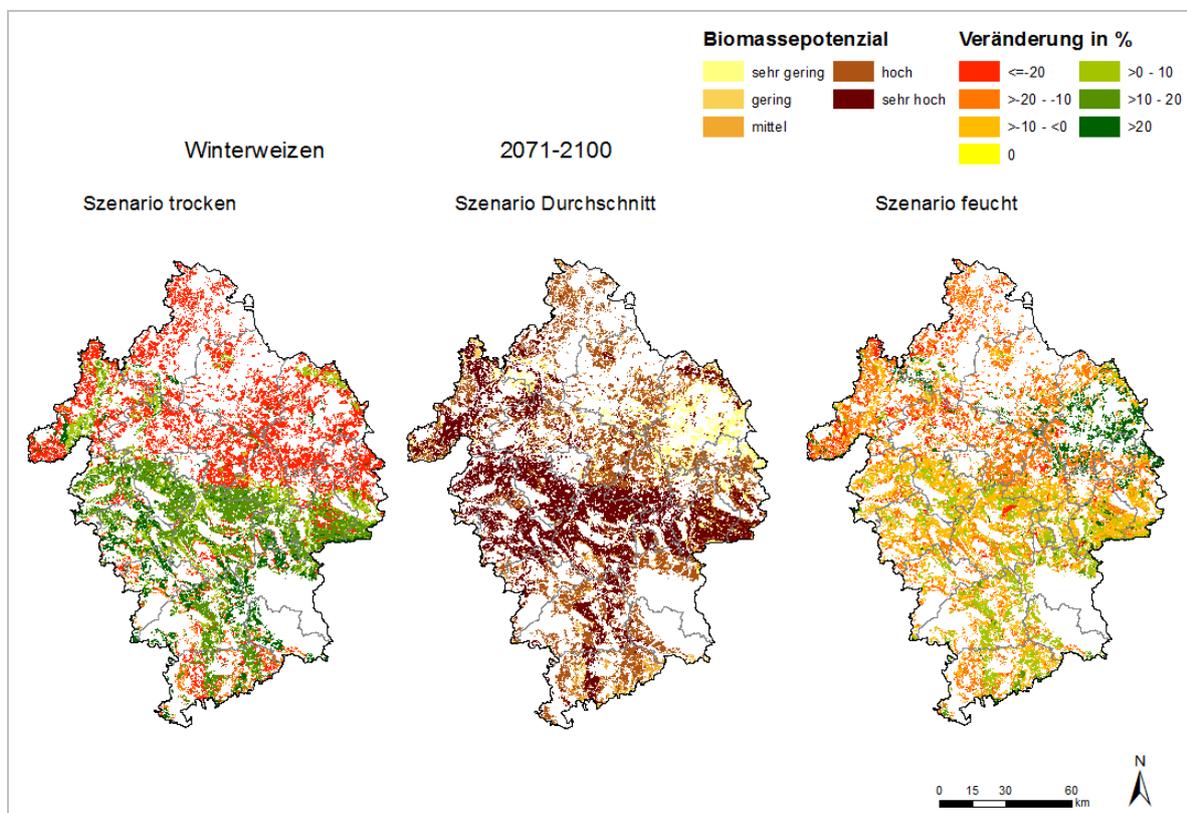


Abb. 2.1.8: Veränderung [%] der Biomassepotenziale bei trockenen und feuchten Szenarien im Vergleich zum Durchschnittsszenario (2071–2100, Winterweizen).

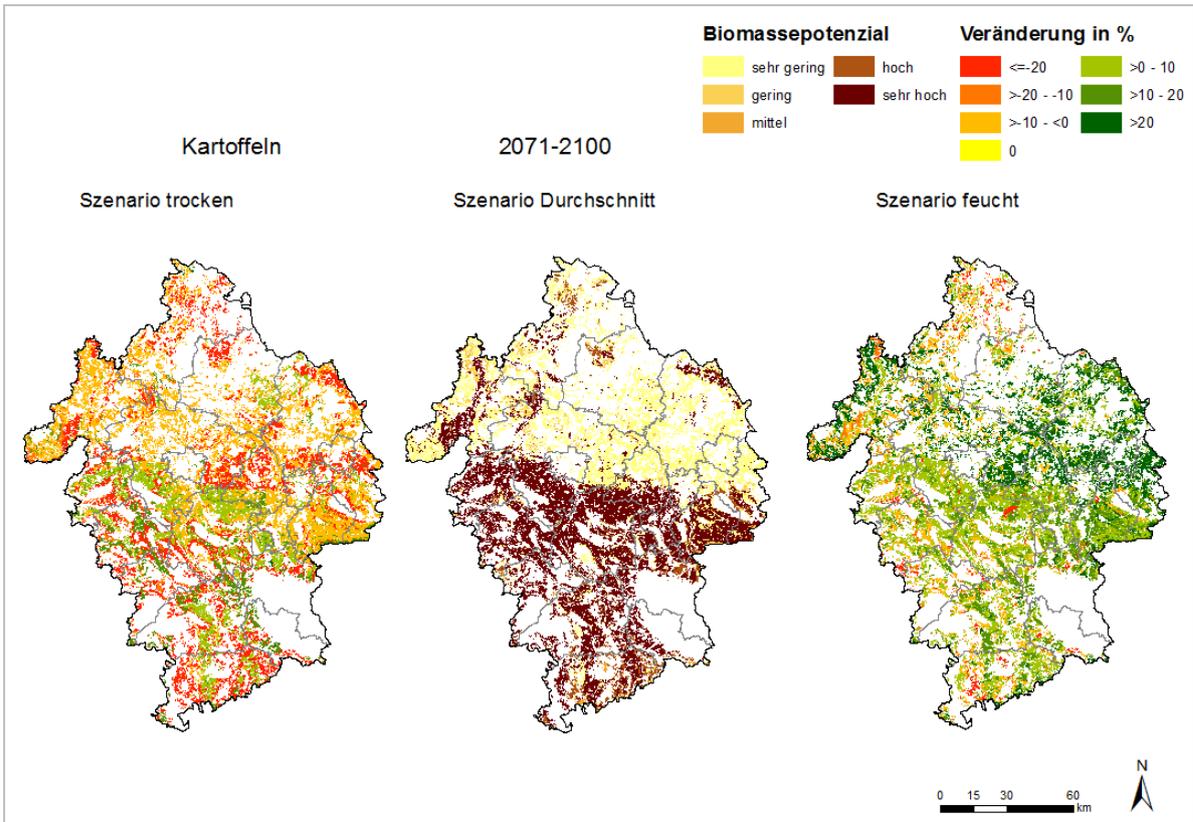


Abb. 2.1.9: Veränderung [%] der Biomassepotenziale bei trockenen und feuchten Szenarien im Vergleich zum Durchschnittsszenario (2071–2100, Kartoffeln).

Trockenes Szenario 2071–2100

Stärkere Sonneneinstrahlung und höhere Temperaturen bei trockenen Szenarien fördern im Südtteil der Region bei den Winterungen die Biomassesynthese durch vermehrte Transpirationsleistungen. Standorte mit geringen Bodenwasserspeichern leiden in trockenen Jahren unter Ertragsverlusten von mehr als 20 %. Die Sommerungen reagieren im Süden unterschiedlich auf trockenere Jahre im Klimawandel. Auf Flächen mit hohem Anteil pflanzenver-

fügbarem Bodenwasser kann es zu leichten Steigerungen der Erträge bis 10 % kommen. Nachteile bei allen Kulturen hat in trockenen Jahren der Norden der Metropolregion zu erwarten. Der Wassermangel nimmt zu und führt bei den Pflanzen zu Trockenstress. Mit Ausnahme sehr gut mit pflanzenverfügbarem Bodenwasser versorgten Böden mit Grundwasseranschluss kann der Boden die Auswirkungen des Klimawandels nicht mehr abpuffern (Abb. 2.1.8 und 2.1.9, Tab. 2.1.5).

Tab. 2.1.5: Vor- und Nachteile durch feuchte und trockene Szenarien im Klimawandel in der Metropolregion.

Zukunftsszenario 2071–2100	Sommerungen	Winterungen
Norden	abnehmende Potenziale durch Wassermangel und Hitzestress Ausnahme: Flussauen mit hohem Anteil pflanzenverfügbarem Bodenwasser (Wpfl)	Zunahmen auch auf Standorten mit geringem Wpfl, da ausreichend Frühjahrsniederschläge Abnahmen im trockeneren Osten mit sehr geringem Wpfl
Mitte	höhere Verdunstungsleistung bei ausreichend pflanzenverfügbarem Bodenwasser	
Süden	Vorteile durch frühere und längere Vegetationszeit und höhere Temperatursummen, trotz Niederschlagsabnahme ausreichend Wasser verfügbar Ausnahmen: flachgründige Standorte, Rendzinen, Ranker	

2.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den Ergebnissen der Biomassepotenzialberechnung lässt sich folgern, dass der Klimawandel sowohl Vor- als auch Nachteile für die Landwirtschaft mit sich bringt.

Auf warmen und trockenen Standorten, wie im Norden der Metropolregion, verschärft sich bereits bestehender Wassermangel zunehmend. Pflanzenbaulich können Veränderungen in der Fruchtfolgegestaltung und der Auswahl der Arten vorgenommen sowie anpassungsfähigere Sorten gewählt werden. Wassereffiziente und hitzetolerantere C₄-Pflanzen, wie Mais, Hirse oder Miscanthus, bieten auf solchen Flächen eine Alternative. Verhältnismäßig sichere Erträge im Norden lassen die Winterungen erwarten, deren frühe Vegetationszeit die Ausnutzung der Frühjahrsniederschläge erlaubt. Der produktive Anbau einer Folgekultur wird jedoch durch die geringen Bodenwassergehalte erschwert. Als mögliche Bioenergiestandorte mit geringem Konkurrenzdruck kommen auch Grenzertragsstandorte in Frage, auf denen die qualitative Lebens- und Futtermittelerzeugung im Klimawandel unrentabel werden kann. Im Nordteil der Metropolregion sind insgesamt die Probleme durch den zu erwartenden Klimawandel hinsichtlich des Ertragspotenzials, auch für den Anbau von Bioenergiepflanzen, insgesamt größer. Ausnahmen stellen die Auenbereiche mit sehr hohen pflanzenverfügbaren Bodenwassergehalten dar, welche die Bedeu-

tung des Bodens und seine Ausgleichsfunktion im Klimawandel erkennen lassen.

Durch die länger andauernde Vegetationszeit wird der Anbau von Zweit- und Zwischenfrüchten interessanter. Ob der Bodenwasservorrat ausreicht, muss standortbezogen ermittelt werden.

Im Norden der Metropolregion sind die leichten Sandböden mit geringer Wasserspeicherkapazität anfällig gegenüber Erosion durch Wind und Nitratauswaschung. Die Verdichtungsgefährdung der Ton- und Leimböden der südlichen Metropolregion wird durch die Verlagerung der Niederschlagsverteilung in das Winterhalbjahr eher steigen, die Wassererosionsgefährdung zunehmen (Abb. 2.1.10). Entlang der Auenbereiche der Flusssysteme aus dem Harz gibt es höhere Belastungen mit Schwermetallen, verursacht durch den ehemaligen Bergbau (SCHNEIDER 1999, Abb. 2.1.11). Auf den sensiblen Böden kann eine ganzjährige Bodenbedeckung die Risiken für Erosion, Verdichtung und Nitratauswaschung verringern. Realisiert werden kann ein möglichst ganzjähriger Bewuchs durch bioenergetisch nutzbare Dauerkulturen oder den Anbau von Bioenergiepflanzen als Zweitkultur, Untersaat oder Zwischenfrucht. Auf belasteten Flächen bieten Bioenergiepflanzen eine Anbaualternative zu kontaminationsgefährdeten Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. Allerdings wird gerade im Norden der Region die Frage beantwortet werden müssen, ob der Bodenwasservorrat für eine ganzjährige Bedeckung bzw. Zwischenfruchtanbau ausreicht.

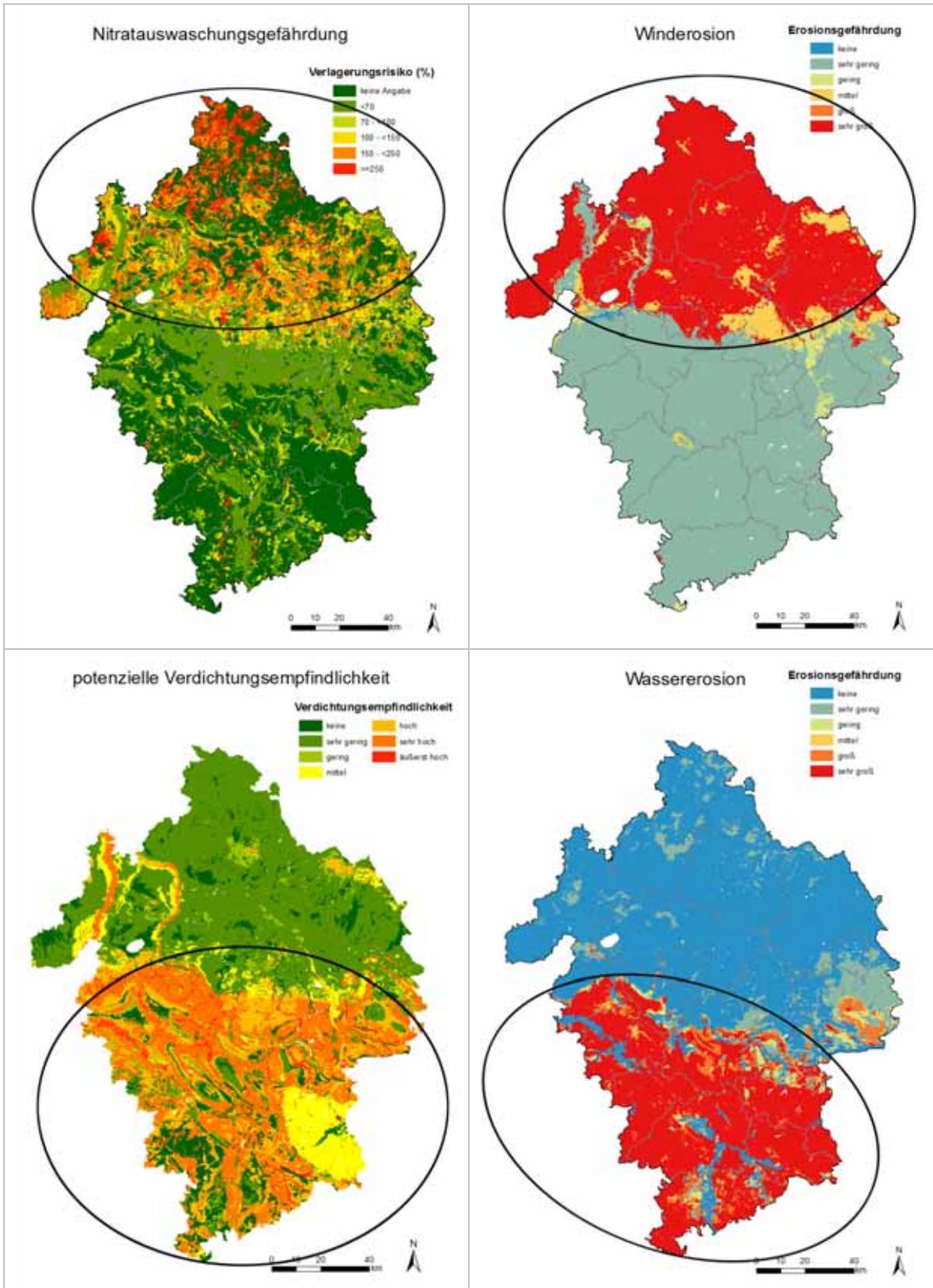


Abb. 2.1.10: Gebiete mit empfindlichen Bodenfunktionen in der Metropolregion.

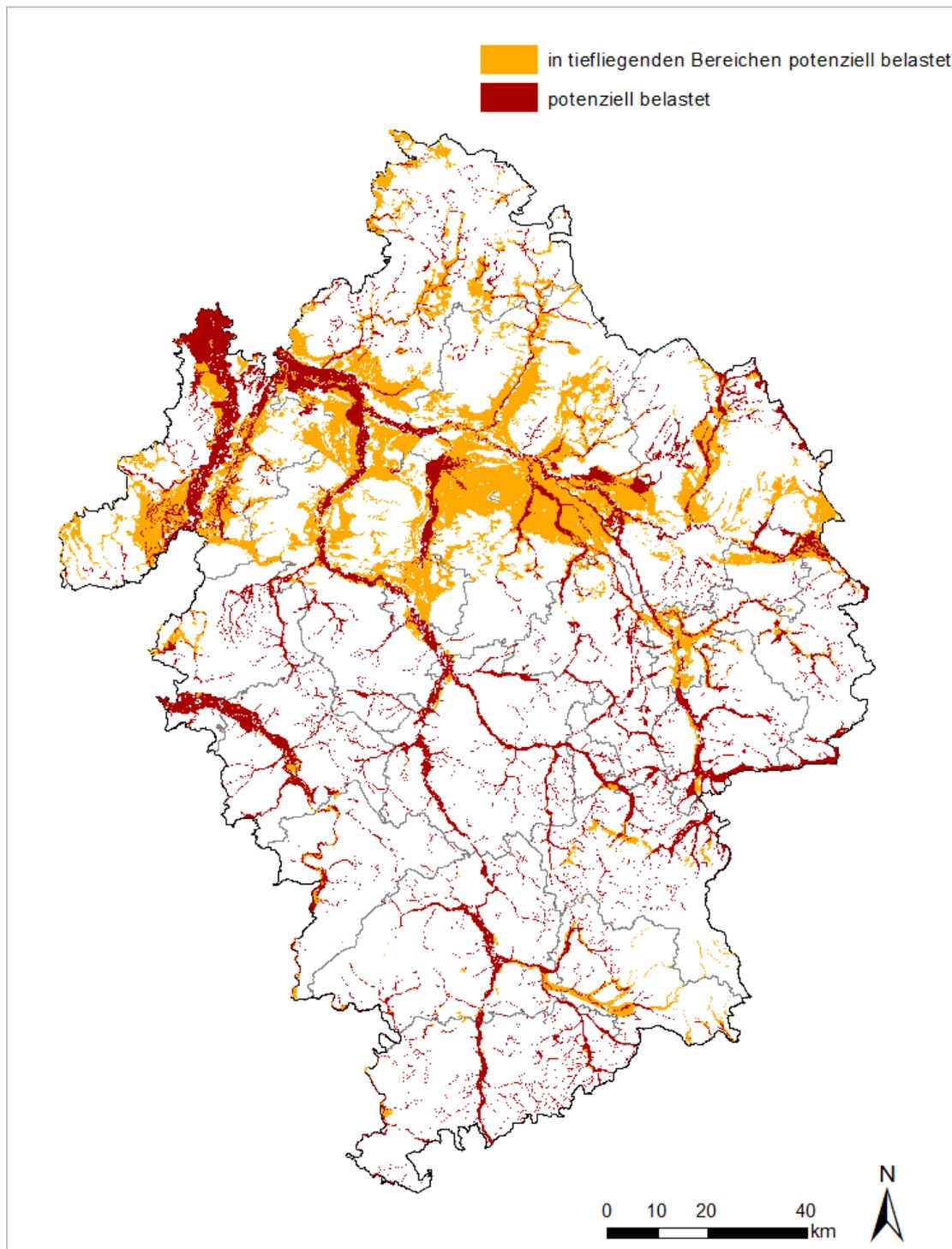


Abb. 2.1.11: Potenziell mit Schwermetallen belastete Gebiete.

2.1.5 Literatur und Datenquellen

- BMU - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2007): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. – BMU.
- BÖHM, U., KÜCKEN, M., AHRENS, W., BLOCK, A., HAUFFE, D., KEULER, K., ROCKEL, B. & WILL, A. (2006): CLM - The climate version of LM: Brief description and long-term application. – Proceedings from the COSMO General Meeting 2005, COSMO Newsletter **6**: 225–235.
- CHRISTEN, O. (2006): Klimawandel - Auswirkungen auf die Landwirtschaft in Mitteleuropa. – Archiv der DLG **101**: 69–81.
- DOMMERMUTH, H. & TRAMPF, W. (1991): Die Verdunstung in der Bundesrepublik, 1951 bis 1980, Teil 1–10. – Deutscher Wetterdienst; Offenbach.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – Merkblätter zur Wasserwirtschaft **238/1996**: 49; Bonn.
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze - Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag. – Stuttgart (Ulmer).
- FNR - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. – Gülzow.
- GRASS, R. & SCHEFFER, K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. – Natur und Landschaft **9/10**: 435–439.
- HOFHANSEL, A. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf die Bewirtschaftung von Sandböden in Mecklenburg-Vorpommern. – Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Powerpoint-Präsentation.
- HERRMANN, A. & TAUBE, F. (2006): Die energetische Nutzung von Mais in Biogasanlagen - Hinkt die Forschung der Praxis hinterher? – Ber. über Landwirtschaft **84(2)**: 161–320.
- IPCC (2007): Technical summary. – In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge (University Press).
- JUG, A. (1997): Standortkundliche Untersuchungen auf Schnellwuchsplantagen unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffhaushaltes. – Diss. LMU München.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (1997): Konzepte für den Energiepflanzenbau. – Frankfurt (DLG).
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2005): Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. – Frankfurt (DLG).
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2006): Mit Roggen Energie liefern. – Landwirtschaftliches Wochenblatt, Jg. 173/28: 18–19.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M., HONERMEIER, B. & HARTMANN, F. (1994): Produktion aktuell, Triticale. – Frankfurt (DLG).
- KECKL, G. (2010): Erntestatistik. – Informationen für die Ernte- und Betriebsberichterstatte **4/2010**, Landesbetrieb für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen; Hannover.
- KOLBE, H. (2003): Kartoffelanbau im Ökologischen Landbau. – Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft; Dresden.
- KTBL (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft. – 13. Aufl., Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.; Darmstadt.
- KTBL (2006): Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenbaus. – KTBL-Datensammlung mit Internetangebot, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.; Darmstadt.
- LOISKANDL, W. (2008): Bodenwasserwirtschaft. – Universität für Bodenkultur Wien, Powerpoint-Präsentation.
- LÜTKE ENTRUP, N. & OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen. – Gelsenkirchen (Th. Mann).

- MANDERSCHIED, R., FRÜHAUF, C. & WEIGEL, H. J. (2003): Wechselwirkung von CO₂-Anreicherung unter Feldbedingungen (FACE) und Stickstoffversorgung auf Wachstum und Ertrag von Zuckerrüben. – Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften **15**: 158–160.
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 7. erw. und erg. Aufl., Arb.-H. Boden 2004/2: 409 S., 3 Abb., 405 Tab.; Hannover (NLfB).
- OBERFORSTER, M., FLAMM, C. & PRIELER, W. (2008): Wirkung von Trockenstress auf die Kornerträge eines Sortiments von Winterweizen. Ernähren uns in der Zukunft Energiepflanzen? – Tagungsbericht 2008: 201–203, Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, veterinär- und Agrarwesen (ALVA); Raumberg-Gumpenstein.
- PENDALL, E., LEAVITT, ST. W., BROOKS, T., KIMBALL, B. A., PINTER, P. J., WALL, G. W., LA MORTE, R. L., WECHSUNG, G., WECHSUNG, F., ADAMSEN, F., MATTHIAS, A. D. & THOMPSON, T. L. (2001): Elevated CO₂ stimulates soil respiration in a FACE wheat field. – Basic and Applied Ecology **2**: 193–201.
- RODE, M. & SCHLEGELMILCH, S. (2006): Räumliche Dimension und Auswirkungen des Biomasseanbaus aus landespflegerischer Sicht. – Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege **79**: 58–66.
- RUPPERT, H. (Hrsg.) (2006): Bioenergiedörfer - Dörfer mit Zukunft. – 28 S.; Göttingen (IZNE).
- SCHNEIDER, J. (1999): Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden Niedersachsens. Schwermetallbelastung in den Böden der Talauen des Harzes und des Harzvorlandes. Schwermetalle in einem städtischen Belastungsraum. – Arb.-H. Boden 1999/2: 24 S., 3 Abb., 4 Tab., 3 Karten; Hannover (NLfB).
- SPONAGEL, H. (1980): Zur Bestimmung der realen Evapotranspiration landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. – Geol. Jb. **F 9**, 87 S., 28 Abb., 14 Tab.; Hannover (BGR).
- STEUDLE, E. (2002): Wasserabgabe durch Transpiration. – Universität Bayreuth, Powerpoint-Präsentation.
- WEIGEL, H. J. (2007): Gesunde Pflanzen unter zukünftigem Klima - Wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion? – Gesunde Pflanzen **57/1**: 6–17.
- WERNER, A., HUFNAGEL, J., GLEMNITZ, M. & WENKEL, K. O. (2005): Energiepflanzen - Erzeugung nach Guter fachlicher Praxis der Landwirtschaft. – Natur und Landschaft **9/10**: 430–434.

2.2 Potenziale für den Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen unter Berücksichtigung des regionalisierten Klimawandels

CHRISTINE VON BUTTLAR,
MARIANNE KARPENSTEIN-MACHAN &
ROLAND BAUBÖCK

2.2.1 Ausgangslage und Ziel der Untersuchungen

Der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen hat in der Metropolregion einen hohen Stellenwert. Daher stellt sich die Frage, wie Klimaveränderungen generell die pflanzliche Produktion in der Metropolregion beeinflussen. Sind vor dem Hintergrund des Klimawandels und durch die zu erwartende weitere Ausweitung der Anbauflächen für Energiepflanzen die multifunktionalen Aufgaben der ländlichen Räume (Nahrungs- und Futtermittelproduktion, Energieproduktion, Naturschutz, Wasserwirtschaft, Naherholung) weiterhin gesichert, oder sind steigende Nutzungskonkurrenzen die Folge? Dies wird weitgehend auch davon abhängen, ob die pflanzliche Produktion trotz Klimawandels weiterhin auf einem hohen Niveau erfolgen kann. Nur dann sind auch Energiepflanzen in der Lage, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten, Nutzungskonkurrenzen zu entschärfen und die Energieversorgung der Bevölkerung aus regenerativen Quellen langfristig abzusichern.

Ziel des Teilprojekts war die Bewertung möglicher Auswirkungen von Klimaänderungen in der Metropolregion auf den Anbau von Energiepflanzen und die Entwicklung von neuen klimaangepassten Anbaustrategien. Auf der Basis der vorliegenden Klimaszenarien aus Teilprojekt 1 konnten mithilfe eines pflanzenbaulichen Modellierungsprogramms die zukünftigen Ertragsentwicklungen verschiedener regional wichtiger Ackerkulturen, die auch gleichzeitig als Energiepflanzen angebaut werden können, und neuer potenzieller Energiepflanzen abgeschätzt werden. Darauf aufbauend wurden exemplarisch an die zukünftigen klimatischen Bedingungen angepasste Fruchtfolgen und Anbaukonzepte entworfen.

2.2.2 Vorgehensweise und Methodik

Grundlage waren die durch die Universität Hannover im Teilprojekt 1 bereitgestellten Klimadaten (KRAUSE 2011). Im Rahmen des Projektes wurden CLM-Klimadaten in einer Auflösung von 20 x 20 km auf eine Auflösung von 1 x 1 km regionalisiert und für drei Zeiträume, 1961–1900 (Ist-Zustand), 2021–2050 (Ende der ersten Hälfte des Jahrhunderts) und 2071–2100 (Ende der zweiten Hälfte des Jahrhunderts), Szenarien berechnet.

Es erfolgte eine Bestandsaufnahme zur Erfassung der standörtlichen Anbaubedingungen in den drei Landkreisen Celle, Hildesheim und Göttingen sowie eine Beschreibung der Eigenschaften potenzieller Energiepflanzen hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeiten an klimatische Veränderungen. Grundlage hierfür waren Interviews mit Pflanzenzüchtern sowie Literaturstudien.

Vertiefende Untersuchungen erfolgten hinsichtlich der zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Länge der Vegetationszeiten, die klimatisch bedingten Verschiebungen der Entwicklungsphasen der Kulturarten und die daraus resultierenden Folgen für die Biomasseerträge von Energiepflanzen. Die möglichen Folgen von Klimaextremen auf den Biomasseertrag wurden ebenfalls analysiert. Als repräsentative Untersuchungsgebiete für die Ertragsanalysen und die zu entwickelnden zukünftigen Fruchtfolgen wurden innerhalb der Metropolregion (MP) die drei Leitgebiete (LG) Uetze beim Landkreis Celle (repräsentativ für die nördliche MP), Alfeld im LK Hildesheim (zentrale MP) und Krebeck-Wollbrandshausen im LK Göttingen (südliche MP) ausgewählt (s. Abb. 2.2.1).

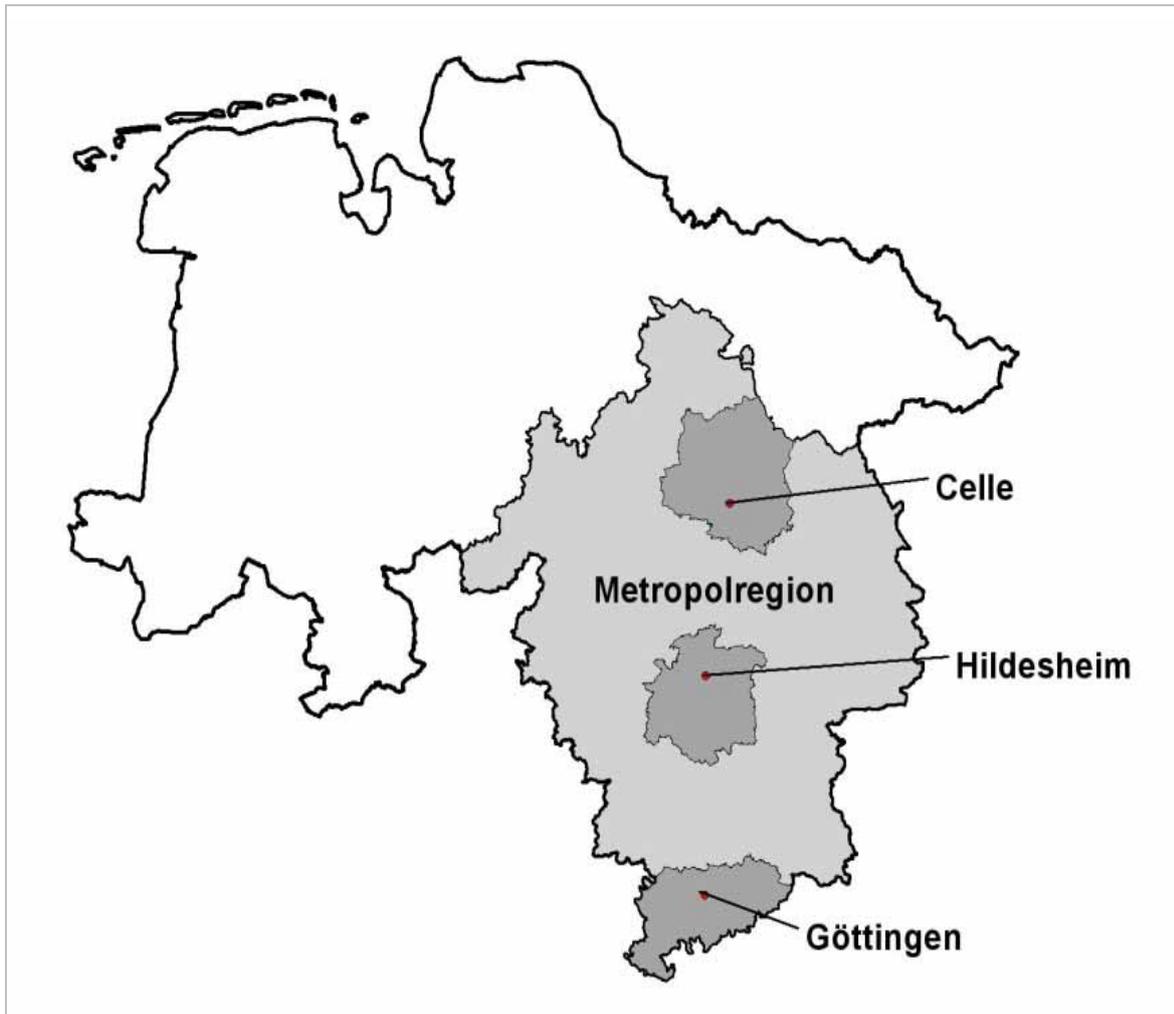


Abb. 2.2.1: Lage der Metropolregion und der Leitgebiete in Niedersachsen.

Für die Modellierung der zukünftig unter veränderten Klimabedingungen erzielbaren Biomasseerträge wurde das Pflanzenwachstumsmodell BioSTAR (Biomass Simulation Tool for Agricultural Resources) für Energiepflanzen weiterentwickelt (BAUBÖCK 2010). Bei dem Modell BioSTAR handelt es sich um ein kohlenstoffbasiertes Pflanzenmodell (AZAM-ALI, CROUT & BRADLEY 1994), mit dem anhand von Eingangsklimadaten (Niederschlagshöhe, Temperatur, Globalstrahlung, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit) sowie dem verfügbaren Bodenwasser (Feldkapazität) und Veränderung

des Blattflächenindex in der Vegetationszeit der Kulturen der Ertragszuwachs im Verlauf der Vegetationsperiode simuliert wird (s. Abb. 2.2.2). Die Transpirations- und Evapotranspirationsraten werden im Modell an die Brutto-Kohlenstoffassimilation gekoppelt und tägliche Ertragszuwächse berechnet. Dieser Modellansatz bezieht somit die Pflanzenentwicklung tagengenau im Modell mit ein und unterscheidet sich daher von der Berechnungsmethode des LBEG, die auf pflanzenspezifischen Verdunstungsfaktoren fußt (Kap. 2.1).

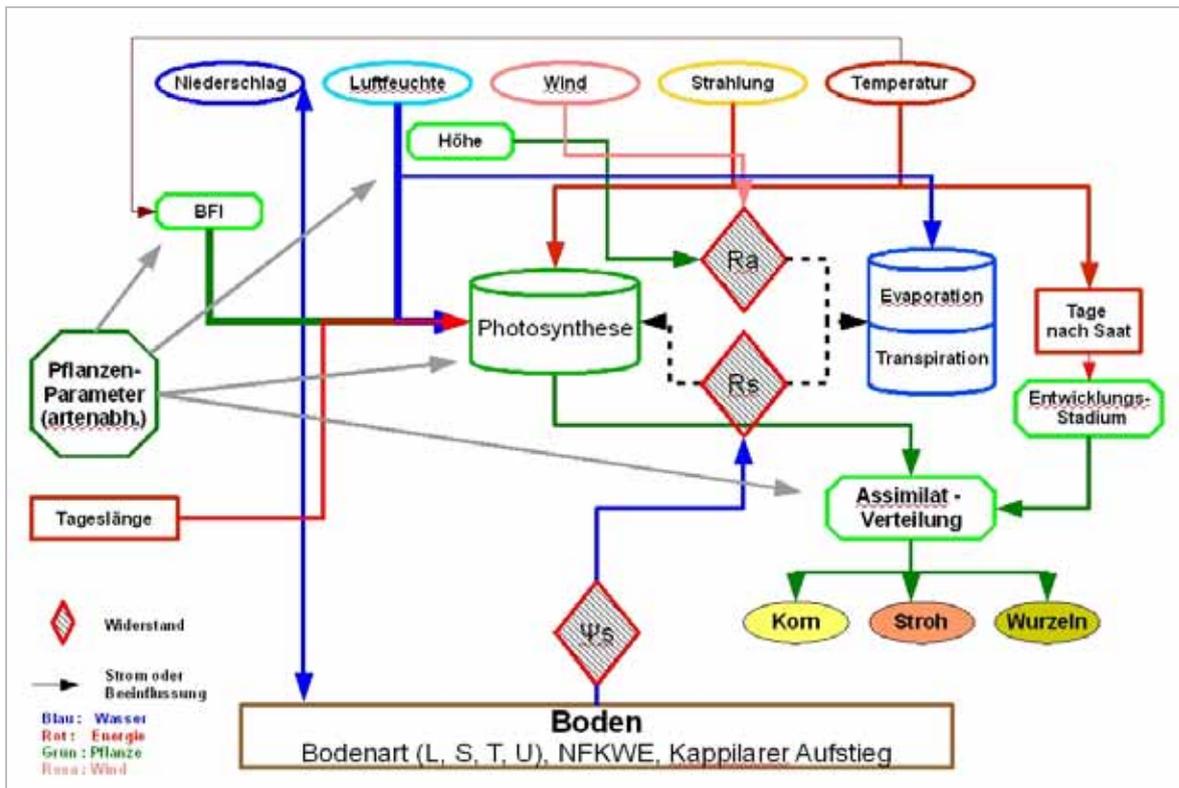


Abb. 2.2.2: Flussdiagramm des Pflanzenwachstumsmodells BioSTAR.

Darauf basierend wurden Fruchtfolgevorschlage und weitere Handlungsempfehlungen zur Anpassung des Ackerbaus an den Klimawandel entwickelt. Weiterhin erfolgte eine Bewertung der Klimafolgen hinsichtlich der Wasserversorgung der Kulturpflanzen, der Erhaltung einer ausgeglichenen Humusbilanz und der Gefahr einer Nitratverlagerung ins Grundwasser.

2.2.3 Ergebnisse und Diskussion

Ergebnisse der Klimaszenarien im Kontext Landwirtschaft

Klima

Die aus Sicht der Landwirtschaft entscheidenden Größen des Klimawandels in der Metropolregion (MP) sind

- ein erwarteter Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur um ca. 3 °C mit trockeneren und längeren Sommern,
- eine Abnahme an Niederschlag im hydrologischen Sommerhalbjahr um bis zu 17 % und feuchteren, milderer Wintern bei nahezu konstantem Jahresniederschlag,
- ein Anstieg der Kohlendioxidkonzentrationen in der Atmosphäre,
- die Zunahme an Hitzeperioden (>30 °C) und hinsichtlich der Extremniederschläge zwar keine Zunahme der Ereignisse, aber stärkere Jahresvariabilitäten.

Standort

Die durch leichte Böden mit niedriger nutzbarer Feldkapazität geprägte nördliche Metropolregion (113 mm nFK (mittlere nutzbare Feldkapazität)) ist durch einen tendenziell höheren Temperaturanstieg bei gleichzeitig stärkerer Abnahme der Sommerniederschläge stärker vom Klimawandel betroffen.

Die südliche Metropolregion mit ihren überwiegend gut wasserspeichernden Böden (132 mm nFK) zeigt dagegen einen weniger stark ausgeprägten Temperaturanstieg mit moderaterem Niederschlagsrückgang und bietet somit auch in Zukunft die besseren Standortvoraussetzungen für den Ackerbau. Die folgenden Tabellen geben die klimatischen und bodenkundlichen Eckdaten der Leitgebiete und, exemplarisch für die Vegetationszeit des Mais, die erwarteten Änderungen der Temperatur- und Niederschlagssummen für die drei Szenarienzeiträume wieder.

Tab. 2.2.1: Bodenkundliche Eckdaten der Leitgebiete, Niederschlags- sowie Temperatursummen in der Vegetationszeit am Beispiel Mais für drei Szenarienzeiträume.

LG Celle (Uetze)	Bodenpunkte: 35		
	mittlere nFK: 113		
Szenario	1961–90	2021–50	2071–100
CO ₂ [ppm]	380	450	600
Nd. [mm]	372	356	316
Temp. [°C]	2620	2958	3244

LG Hildesheim (Alfeld)	Bodenpunkte: 54		
	mittlere nFK: 132		
Szenario	1961–90	2021–50	2071–100
CO ₂ [ppm]	380	450	600
Nd. [mm]	414	407	367
Temp. [°C]	2526	2880	3221

LG Göttingen (Krebeck-W.)	Bodenpunkte: 62		
	mittlere nFK: 183		
Szenario	1961–90	2021–50	2071–100
CO ₂ [ppm]	380	450	600
Nd. [mm]	367	358	324
Temp. [°C]	2524	2904	3282



Abb. 2.2.3: Mais ist eine Kultur mit günstigen Ertrags-eigenschaften im Klimawandel.

Übersicht möglicher Wechselwirkungen und Handlungsfelder

Abbildung 2.2.4 stellt die vom Klimawandel betroffenen Aspekte des Pflanzenbaus schematisch dar.

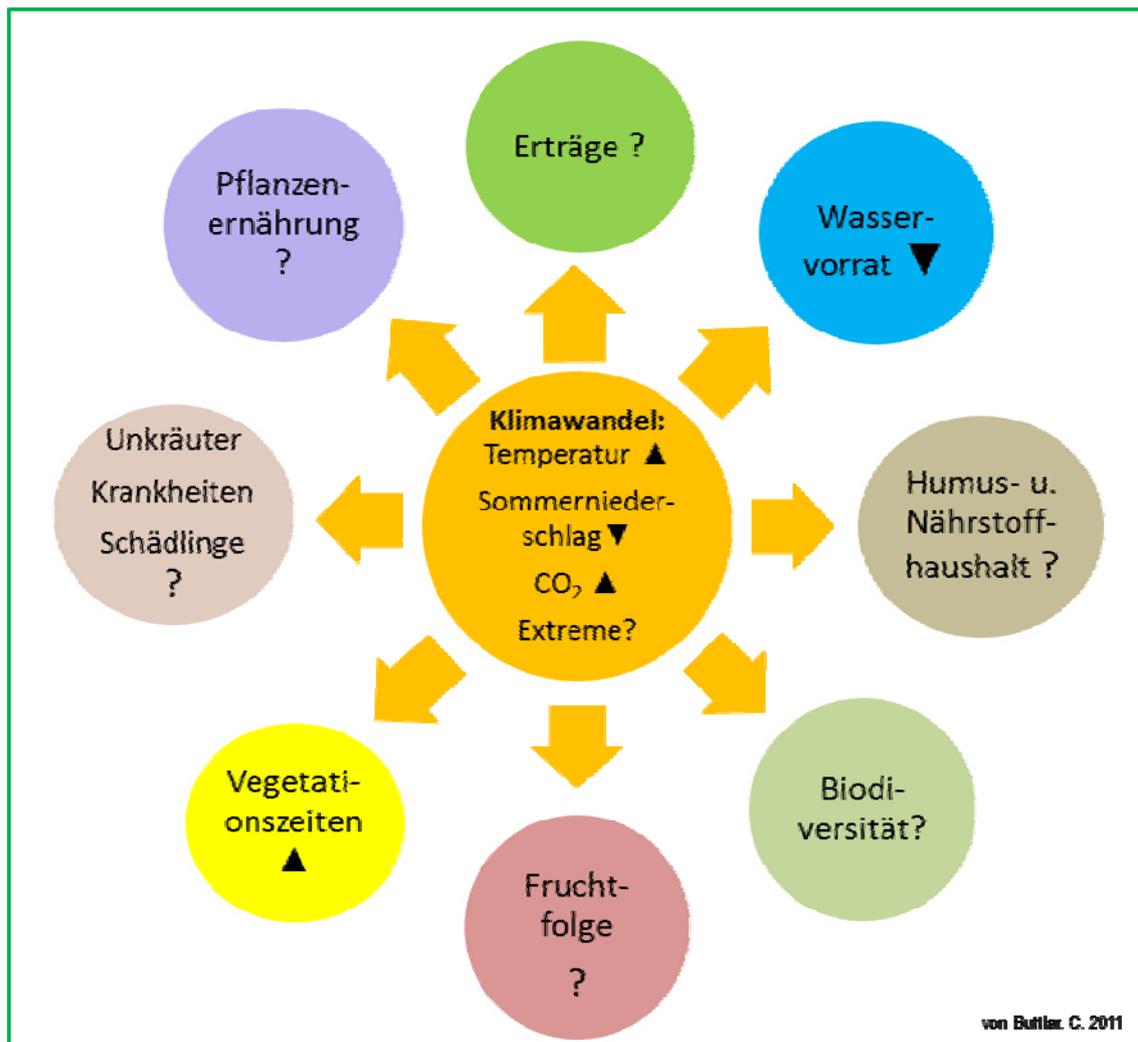


Abb. 2.2.4: Vom Klimawandel betroffene Aspekte des Pflanzenbaus.

Deutlich wird, dass das ganze Anbaugesüße vom Klimawandel betroffen sein kann. Unter geänderten Klimabedingungen reagieren Kulturen mit verändertem Wasser- und Nährstoffbedarf, sind einem sich ändernden Krankheitsdruck und Unkrautdruck ausgesetzt und reagieren mit geänderten Ertragsquantitäten und -qualitäten. Nach HOFFMANN-BAHNSEN (2011)

kann hier zwischen definierenden Faktoren wie dem Klima, limitierenden Faktoren wie der Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen sowie reduzierenden Faktoren, nämlich dem Unkraut- und Schädlingsdruck sowie eventuell veränderter Schadelementverfügbarkeit unterschieden werden. Ob der Klimawandel positive, neutrale oder negative Auswirkungen auf den Pflanzen-

bau und insbesondere die Ertragsleistung, Ertragsstabilität und die nachhaltige Erzeugung haben wird, ist von dem Grad der Klimaveränderung in der Region und den bodenkundlichen Standortvoraussetzungen abhängig. Insbesondere die standörtliche Wasserverfügbarkeit wird in Zukunft im Hinblick auf die Ertrags-sicherung an Bedeutung zunehmen. Aber auch die vielfältigen pflanzenbaulichen Möglichkeiten hinsichtlich der Kulturartenwahl zur Anpas-

sung an klimatische Änderungen (s. Abb. 2.2.5) bieten Handlungsspielraum und müssen im Hinblick auf geänderte Anbaubedingungen neu bewertet werden.

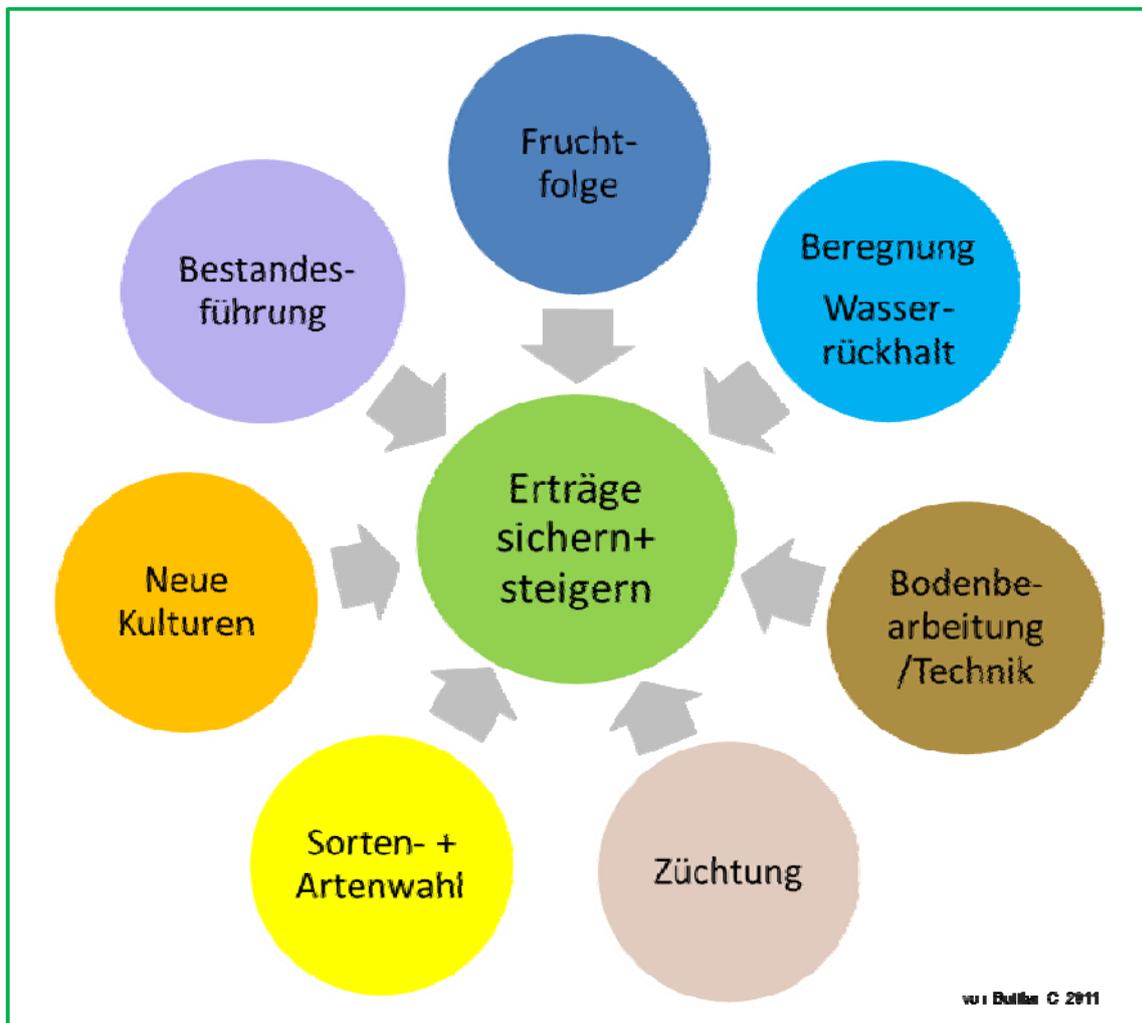


Abb. 2.2.5: Pflanzenbauliche Handlungsfelder zur Anpassung an den Klimawandel.

Änderung der Vegetationszeiten

Bedingt durch einen künftig früheren Vegetationsbeginn im Frühjahr und ein späteres Vegetationsende im Herbst werden die Vegetationszeiten in der gesamten Metropolregion in der Zukunft zunehmen. Abbildung 2.2.6 stellt die

berechneten Änderungen für unterschiedliche Feldaufgangstemperaturen im Mittel der drei Leitgebiete dar. Dabei werden Keimtemperaturen von 5 °C (z. B. Wintergetreide, Zuckerrüben), 8 °C (z. B. Sommergetreide, Sonnenblumen), 10 °C (z. B. Mais) und 12 °C (z. B. Sorghumarten) berücksichtigt.

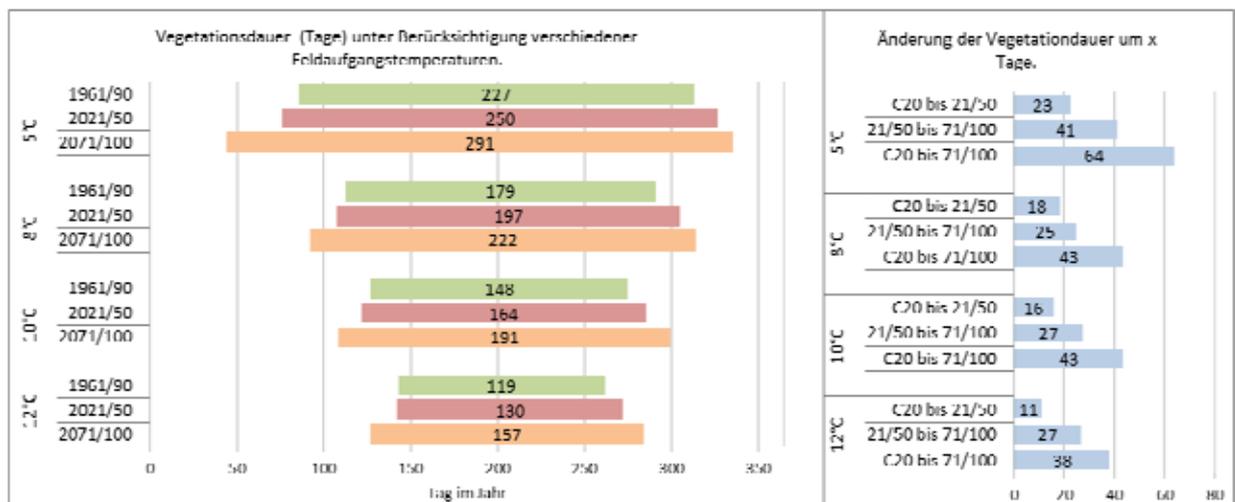


Abb. 2.2.6: Änderung der Vegetationsdauer (Summe Tage) zwischen den Szenarien C20 (1961–90), 2021–2050 und 2071–2100 unter Berücksichtigung verschiedener Feldaufgangstemperaturen im Mittel der Leitgebiete.

Die Ergebnisse lassen bis zum Jahr 2100 eine Verlängerung der Vegetationszeit für Kulturen mit 5 °C Keimtemperatur, wie z. B. Wintergetreide und Zuckerrüben, um rund zwei Monate und für Kulturen mit Keimtemperaturen >12 °C, wie z. B. Sorghum, um rund einen Monat erwarten. Ob der Vorteil einer längeren Vegetationsphase tatsächlich auch ackerbaulich genutzt werden kann, ist allerdings von weiteren Faktoren, wie z. B. der Niederschlagsmenge und -verteilung, von späten Frostereignissen in Extremjahren sowie der Befahrbarkeit der Flächen, abhängig.

Positive Kultureigenschaften im Klimawandel

Die Anpassungsmöglichkeiten unserer Ackerkulturen an klimatische Änderungen sind unterschiedlich und vielfältig. Entscheidende Größe ist eine hohe Wassereffizienz (geringer Transpirationskoeffizient), der Wasserbedarf pro Hektar sowie die Fähigkeit, Trockenphasen

zu überdauern. Weiter ist bei zunehmender Sommertrockenheit der Zeitpunkt des höchsten Wasserbedarfes von Bedeutung. Winterrungen werden ihren Wasserbedarf besser aus den Winterniederschlägen sichern können als Sommerungen. Auch der Zeitpunkt des Eintretens sensibler Wachstumsstadien, wie der Blüte oder der Kornfüllungsphase beim Getreide, wird im Hinblick auf die zunehmende Frühjahrstrockenheit in Zukunft stärker die Kulturen- bzw. Sorteneignung bestimmen. Tiefwurzeln Kulturen mit gutem Nährstoffaneignungsvermögen, wie z. B. Zuckerrüben, haben Vorteile gegenüber flachwurzeln Kulturen. Dauerkulturen, wie Gräser und schnellwachsende Baumarten, können nach Trockenphasen wieder austreiben und haben i. d. R. ein hohes Regenerationspotenzial. C₄-Pflanzen, wie Sorghum und Mais, profitieren von höheren Wärmesummen und sind in der Lage, den Wasserbedarf pro Kilogramm produzierter Biomasse gering zu halten.

Ertragsänderungen im Klimawandel

Eine Berechnung der zu erwartenden Biomasseerträge (Ganzpflanze) für die drei Szenarienzeiträume Ist-Zustand (1961–90), AB1 2021–2050 und AB1 2071–2100 erfolgte mit dem Ertragsmodell BioSTAR für die Kulturen Mais, Zuckerrüben, Sonnenblumen, Sorghum bicolor, Sommerweizen, Winterweizen, Wintertriticale, Winterroggen, Wintergerste sowie Raps (Kornertrag). Züchterische oder technische Weiterentwicklungen der Kulturarten wurden dabei aufgrund zu großer Unsicherheiten in der Abschätzung über einen so langen Zeitraum nicht berücksichtigt. Die Berechnungen erfolgten zudem ohne die Berücksichtigung von Beregnungsmaßnahmen, wie sie derzeit schon in Teilen der nördlichen Metropolregion üblich sind. Zur Beschreibung des Ist-Zustandes wurden Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, Zeitreihen 1961–90 für die Untersuchungsgebiete) und Ertragsdaten des niedersächsischen Landesamtes für Statistik (NLS, Ertragsdaten auf Gemeindeebene) sowie Versuchsergebnisse der Landwirtschaftskammer Niedersachsen herangezogen.

Es wurden in allen drei Leitgebieten sowohl Kulturen, deren Biomasseertrag durch den Klimawandel bis zum Ende des Jahrhunderts positiv beeinflusst wird, als auch solche, deren Ertragsleistung durch den Klimawandel negativ beeinflusst wird, identifiziert (s. Tab. 2.2.2).

Tab. 2.2.2: Modellerte Biomasseerträge für die Klimaperioden 2021–50 und 2070–2100, relativ zu 1991–90 (Basisertrag) für drei Leitgebiete (grün hinterlegt = Ertragsanstieg; orange hinterlegt = Ertragsrückgang im Klimawandel).

Leitgebiet Göttingen (Krebeck-Wollbr.)			
Szenario	1961–90	2021–50	2071–100
Kultur	Basis	rel. [%]	rel. [%]
Mais	100	105	111
Zuckerrüben	100	101	103
Sonnenblumen	100	105	100
Sorghum b.	100	104	106
SWeizen	100	93	85
WWeizen	100	98	89
WTriticale	100	98	89
WRoggen	100	98	87
WGerste	100	93	64
WRaps [Korn]	100	88	68

Leitgebiet Hildesheim (Alfeld)			
Szenario	1961–90	2021–50	2071–100
Kultur	Basis	rel. [%]	rel. [%]
Mais	100	107	113
Zuckerrüben	100	112	114
Sonnenblumen	100	108	102
Sorghum b.	100	106	101
SWeizen	100	94	89
WWeizen	100	98	88
WTriticale	100	97	89
WRoggen	100	98	85
WGerste	100	93	67
WRaps [Korn]	100	87	67

Leitgebiet Celle (Uetze)			
Szenario	1961–90	2021–50	2071–100
Kultur	Basis	rel. [%]	rel. [%]
Mais	100	97	96
Zuckerrüben	100	109	110
Sonnenblumen	100	106	103
Sorghum b.	100	104	104
SWeizen	100	96	92
WWeizen	100	106	93
WTriticale	100	100	85
WRoggen	100	102	87
WGerste	100	96	66
WRaps [Korn]	100	93	70

In den Leitgebieten der mittleren und südlichen Metropolregion (Leitgebiete Hildesheim, Göttingen) ergab die Ertragsmodellierung bis 2100 klimabedingte Biomasseertragssteigerungen für die C₄-Sommerungen Mais und Sorghum sowie die C₃-Kultur Zuckerrüben. Auch die Ertragsleistung von Sonnenblumen wird positiv beeinflusst, allerdings nur bis zur Mitte des Jahrhunderts, danach nimmt die Ertragsleistung wieder ab. Anders sieht es bei Winterweizen, Winterroggen und Wintertriticale aus. Sie reagieren bis Mitte des Jahrhunderts noch recht stabil und zeigen dann bis zum Ende des Jahrhunderts je nach Kulturart klimabedingte Ertragsrückgänge zwischen 11 und 15 %. Am stärksten fällt der Ertragsrückgang bei Wintergerste sowie bei Winterraps mit Mindererträgen von über 30 % aus.



Abb. 2.2.7: Sonnenblumen: Neue Energiepflanze zur Auflockerung der Fruchtfolge, verträgt Trockenheit weniger gut.

In der nördlichen Metropolregion (Leitgebiet Celle) wird der Maisertrag durch den Klimawandel leicht negativ beeinflusst und ist bis zum Ende des Jahrhunderts um rund 4 % rückläufig. Mit Biomasseertragssteigerungen reagieren auch in diesem Gebiet die Kulturen Zuckerrüben, Sonnenblumen und Sorghum. Ebenfalls abweichend zu den andern Gebieten steigen die Erträge von Winterweizen und Winterroggen bis zur Mitte des Jahrhunderts noch leicht an, bevor sie dann, ebenso wie Sommerweizen und Wintertriticale, rückläufige Erträge zeigen. Wie auch in den anderen Gebieten zeigen Winterraps und Wintergerste mit >30 % die deutlichsten Ertragsrückgänge.



Abb. 2.2.8: Wintergerste: Bedingt durch die frühe Abreife kann Frühjahrstrockenheit schneller zu Ertragsverlusten führen als bei anderen Winterungen.

Ertragsstabilität

Zur Bewertung der Beeinträchtigungen von Biomasseerträgen in extrem niederschlagsarmen Jahren wurden für die Leitgebiete Berechnungen mit einer um 30 % reduzierten Niederschlagsmenge in der Vegetationszeit durchgeführt (als Abschlag auf den mittleren Jahresniederschlag in den drei Szenarien). Dies führte für alle drei Szenarien im Mittel der untersuchten Kulturen zu einer Ertragsminderung von 20 % in der mittleren und südlichen Metropolregion und von 24 % in der nördlichen Metropolregion.

Weiter wurden Mais und Roggen am Standort Celle im Hinblick auf die Ertragsstabilität bei reduzierten Niederschlägen (-10 %) und CO₂-Gehalten (-10 %) in der Atmosphäre verglichen. Beide Kulturen weisen derzeit mit 13 t/ha ein ähnliches Ertragsniveau (ohne Zusatzbewässerung) auf. Im Ergebnis führten die reduzierten Niederschlags- und CO₂-Mengen beim Mais zu einem Ertragsrückgang um 3,6 t TM/ha und beim Roggen nur um 1,4 t TM/ha, wobei beim Roggen nicht das Wasser, sondern der CO₂-Gehalt die ausschlaggebende Größe war. Der Roggen kann somit bei den zugrunde gelegten Anbaubedingungen als die ertragsstabilere Kultur gelten.

Weiterhin wurde für das Leitgebiet Celle untersucht, wie sich das Ertragspotenzial von Mais und Roggen bei Einsatz von Zusatzbewässerung gestaltet. Zusatzwassergaben von 1 mm (150 mm in der Vegetationszeit) führten beim

Mais bei allen untersuchten nFK-Klassen (63–263 mm) zu Ertragssteigerungen. Maximale Mehrerträge lagen auf leichten Standorten bei 19 %. Weitere Wassergaben führten nur noch zu geringfügigen Ertragsänderungen. Beim Roggen führten auch auf ganz leichten Standorten (nFK 63 mm) Zusatzwassergaben von 1 mm zu lediglich 1 % Ertragsanstieg. Roggen kann somit auf leichten Standorten ohne Zusatzbewässerung durchaus einen zu Mais konkurrenzfähigen Ganzpflanzenertrag erbringen. Wird durch Zusatzbewässerung der limitierende Faktor Wasser aufgehoben, so kann der Mais daraus jedoch einen Ertragsvorteil von nahezu 20 % generieren. Dass künftig aber auch für Roggen die Bedeutung der Zusatzbewässerung zur Ertragssicherung steigen wird, zeigen die modellierten Ertragsrückgänge für Roggen ab der zweiten Jahrhunderthälfte (Tab. 2.2.2).

Folgen für die Kulturartenwahl

Im Hinblick auf die erwarteten klimatischen Anbaubedingungen im Jahr 2100 werden folgende Tendenzen für die Kulturartenwahl abgeleitet: C₄-Pflanzen wie Mais und Sorghum profitieren vom Temperaturanstieg, von einem

früheren Vegetationsbeginn und längeren Vegetationszeiten. Bei den C₃-Getreidearten werden die Sommerungen zunehmend durch die Winterungen (z. B. Weizen, Roggen, Triticale) ersetzt. Diese profitieren von den Winterniederschlägen und gehen schon mit gut bestocktem Bestand zeitig ins Frühjahr. C₃-Sommerungen (z. B. Sommergerste) werden durch C₄-Pflanzen, z. B. Mais, ersetzt. Die tiefwurzelnde Zuckerrübe bleibt ertragsstark im Anbau. Bei ausreichender Wasserversorgung werden aufgrund der längeren Vegetationszeit Zweikulturnutzungssysteme interessanter. In Energiefruchtfolgen kann z. B. Wintergetreide-GPS vor Mais gestellt werden. Dauerkulturen mit geringen Ansprüchen an den Wasserhaushalt nehmen zu: z. B. auf Standorten mit geringer Wasserspeicherkapazität Kurzumtriebsplantagen für die Energieholzbereitstellung oder Durchwachsene Silphie für die Biogas- oder BTL-Erzeugung. Bisher nicht angebaute wärmeliebende Kulturen werden zunehmend anbaufähig, z. B. Sorghum bicolor, Sudangräser, Soja, Hartweizen und Topinambur. Sommerzwischenfrüchte und Untersaaten werden durch Winterzwischenfrüchte ersetzt bzw. werden gar nicht mehr zum Anbau kommen, sofern keine Möglichkeiten der Zusatzbewässerung bestehen.

Tab. 2.2.3: Übersicht der potenziellen Gewinner und Verlierer im Klimawandel.

potenzielle Gewinner		potenzielle Verlierer
etablierte Kulturen	neue Kulturen mit Entwicklungspotenzial	etablierte Kulturen
Silomais Zuckerrüben Winterweizen, Winterroggen, Triticale in der ersten Jahrhunderthälfte Sonnenblumen Winterzwischenfrüchte noch bis Mitte des Jahrhunderts	Durchwachsene Silphie wassereffiziente Kurzumtriebshölzer (Pappel, Robinie) Sojabohne Sorghum bicolor Sudangräser (Sorghum sudanense) Topinambur Durumgetreide	Sommergetreidearten Wintergerste Winterweizen, Winterroggen, Triticale ab Mitte des Jahrhunderts. Winterraps (weiterer Untersuchungsbedarf) Kartoffeln intensive Feldgrasbestände Sommerzwischenfrüchte Untersaaten

Fruchtfolgeempfehlungen im Klimawandel

Bei zunehmenden klimatischen Unsicherheiten kann durch eine vielseitige Fruchtfolgegestaltung und Sortenwahl mit gestaffelten Saat- und Ernteterminen das Anbaurisiko gemindert werden. Die Grundforderungen zum Erhalt der Ackerflächen in einem „guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand“, also die Einhaltung der Anforderungen des Bodenschutzes, insbesondere durch Sicherung einer ausgeglichenen Humusbilanz und Vermeidung von Bodenerosion sowie durch eine diversifizierte Fruchtfolgegestaltung zum Erhalt der Agrarbioidiversität, bleiben zentraler Bestandteil des Ackerbaus.



Abb. 2.2.9: Phacelia: Zwischenfrüchte wirken günstig auf Humusbilanz und Bodenstruktur und mindern das Erosionsrisiko. Im Klimawandel kann Wassermangel potenziell den Anbau beschränken.

Umweltrisiken, wie das der Bodenerosion und der Nitratverlagerung, werden im Klimawandel aufgrund der stärkeren Klimaschwankungen tendenziell zunehmen. Die Standorteigenschaften, insbesondere hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffspeicherung, werden in Zukunft stärker das Ertragsergebnis beeinflussen. Eine entsprechende Ausrichtung der Fruchtfolgen und Anbauverfahren zur Vermeidung dieser potenziellen Probleme und zum Erhalt der nachhaltigen Ertragsfähigkeit des Bodens sind daher unabdingbar. Folgende grundsätzliche Aussagen für die Gestaltung von Energiepflanzenfruchtfolgen konnten erarbeitet werden:

Prinzipiell bietet sich die Verzahnung von Marktfrucht- Futterbau- und Energiefruchtfolgegliedern in einer Fruchtfolge für die Praxis an (s. auch KARPENSTEIN-MACHAN 2010) und ermöglicht vielfältigere Optionen zum Erhalt der Humusbilanz als reine Energiefruchtfolgen.

Biogas

Für Biogasfruchtfolgen wird durch die klimatische Entwicklung eine Ergänzung der Sommerung Mais durch Sorghumarten und Sudangräser sowie durch Zuckerrüben erwartet. Unter den Winterungen sind Roggen-GPS für die schwächeren und Triticale-GPS für die besseren Standorte auch im Klimawandel zu empfehlen (s. auch Untersuchungen zu Energiepflanzenfruchtfolgen in FNR 2008 und 2010).



Abb. 2.2.10: Sorghum Bicolor ist eine neue, spätsaatverträgliche und wärmeliebende Kultur mit Potenzial im Klimawandel.

Biodiesel und Rapsöl

Für die Biodiesel- bzw. Rapsölerzeugung wird derzeit in der Metropolregion ganz überwiegend Winterraps angebaut. Die Rapsenerträge werden im Klimawandel tendenziell unsicherer, so dass der Anbau von Sonnenblumenkorn künftig eine Alternative darstellen kann.



Abb. 2.2.11: Raps reagiert auf zunehmende Frühjahrs-trockenheit mit Ertragsverlusten.

Ethanol

Zur Ethanolherzeugung wird das Getreidekorn, meist von Winterweizen oder Winterroggen, aber auch die Zuckerrübe genutzt. Ergänzend ist Triticale als robuste, ertragreiche Alternative zum Weizen zu empfehlen. Sommergetreide haben schon heute für die Ethanolherzeugung eine untergeordnete Rolle und werden auch in Zukunft noch an Bedeutung verlieren. Die günstigen Ertragsprognosen für die Zuckerrübe werden diese Kulturart auch für die Ethanolherzeugung weiterhin interessant machen. Da auf Basis der Klimaszenarien und Ertragsmodellierungen bis Ende des Jahrhunderts mit Ertragsrückgängen auch beim Wintergetreide zu rechnen ist, sollten Überlegungen hinsichtlich einer neuen Artenwahl erfolgen. Durumweizen sind z. B. gut an trockene Klimate angepasst. Weiter ist bei der Sortenwahl auf ertragsstabile Typen zu achten.



Abb. 2.2.12: Zuckerrüben können die längeren Vegetationszeiten positiv in Ertrag umsetzen.

Biomass to Liquid (BTL)

Die neuen BTL-Verfahren ermöglichen den Einsatz von Ganzpflanzensilagen, Körnern, Stroh, aber auch holzartigen Biomassen und sind daher sehr flexibel hinsichtlich ihres Substrateinsatzes. Diese Substratflexibilität stellt auch künftig einen großen Vorteil dar, da die betrieblichen Entscheidungsspielräume erhalten bleiben.

Verbrennung

Für Verbrennungsverfahren kommen vor allem holzartige Biomassen wie Kurzumtriebshölzer (KuP) oder auch die Strohnutzung in Frage. Der Anbau von Kurzumtriebshölzern gewinnt gerade für schwächere Standorte zunehmend an Interesse. Im Anpflanzjahr muss ggf. durch Zusatzbewässerung ein gutes Anwachsen des Bestandes gesichert werden. In den Folgejahren wird der Wasserbedarf durch das tiefe Wurzelsystem gesichert. Mit zunehmender Sommertrockenheit kann auf trockenheitstolerante Arten ausgewichen werden. So kann die derzeit vorrangig zum Anbau kommende Pappel in Zukunft z. B. durch die Robinie ergänzt werden.



Abb. 2.2.13: Kurzumtriebsplantagen: Gehölze sind im Vergleich zu Ackerkulturen genügsam, haben geringe Standortansprüche und ein tiefes Wurzelsystem. Sie bieten im Klimawandel Anpassungspotenzial.

Neue Kulturen

Für weitere Arten aus anderen Regionen bzw. mediterranen und subtropischen Klimaräumen wird in Zukunft bedingt Anbaupotenzial gesehen. So kann die recht trockenheitstolerante durchwachsende Silphie, eine zur Biogas-erzeugung geeignete Dauerkultur, bei züchterischer Weiterbearbeitung verstärkt zum Anbau kommen. Auch für Soja oder Topinambur werden künftig Chancen erwartet.



Abb. 2.2.14: Durchgewachsene Silphie ist eine neue Dauerkultur mit Potenzial im Klimawandel. Auch für schwächere Standorte geeignet und nach der Anwuchsphase recht klimatolerant.



Abb. 2.2.15: Topinambur ist eine neue stärkehaltige und anspruchslose Kultur mit Potenzial als Energiepflanze für schwache Standorte.

Beispiele

Im Folgenden werden exemplarisch zwei Fruchtfolgebeispiele für die aktuellen klimatischen Anbaubedingungen und angepasst für das Szenario 2071–2100 dargestellt. Dabei werden jeweils die Ertragsänderungen und der daraus resultierende Wasserbedarf sowie die Humusbilanz nach VD-Lufa-Methode ausgewiesen (LANDESBETRIEB LANDWIRTSCHAFT HESSEN 2005). Für die südliche Metropolregion wird eine Marktfrucht-Bioenergie-Mischfruchtfolge und für die südliche Metropolregion eine reine Biogasfruchtfolge dargestellt.

Fruchtfolgebeispiel für die nördliche Metropolregion

Tab. 2.2.4: Humusstarke Biogasfruchtfolge für die nördliche Metropolregion. Angabe von Biomasseertrag, Humusbilanz und Wasserbedarf; links: aktuell (1961–90), rechts: Szenario A1B 2071–2100.

Aktuell (Ertragsmittel 1999-2007 LSKN, LK Celle u. LWK Versuche)						Szenario 2071-2100: Wasserbedarf reduziert					
Jahr:	Fruchtfolge:	Nutzung	Ertrag (dt/ha)	Humus C C (kg/ha)	Wasserbedarf (mm/ha)	Jahr:	Fruchtfolge:	Nutzung	Ertrag (dt/ha)	Humus C C (kg/ha)	Wasserbedarf (mm/ha)
1		Gärrest		261		1					
	Mais	Biogas	110	-560	385		Triticale Korn	Ethanol	38	-280	250
	Weidelgr US			200	210			Stroh Humus	34	339	
2		Gärrest		261		2					
	Mais	Biogas	110	-560	385		Mais	Biogas	106	-560	370
	Weidelgr US			200	210			Gärrest		251	
3						3					
	RoggenGPS	Biogas	84	-280	252		Roggen Korn	Biogas	38	-280	219
		Gärrest		200				Stroh Humus	35	346	
4		3 Schnitt				4					
	Luzernegras	Biogas	110	600	440		Sorghum	Biogas	83	-560	292
		Gärrest		261				Gärrest		198	
		Summe Korn:	0	Saldo	Mittel/Jahr			Summe Korn:	76	Saldo	Mittel/Jahr
FF Bewertung		Summe GPS:	414	146	471	FF Bewertung		Summe GPS:	189	-136	283
		Humusklasse:		D=hoch				Humusklasse:		A = sehr niedrig	

Aktuell

Die aktuelle Fruchtfolge umfasst zwei Jahre Maisanbau mit Weidelgrasuntersaaten ohne Nutzung, gefolgt von Roggen-GPS und Luzernegras. Im Mittel werden 414 dt TM/ha an Silage geerntet. Die Humusbilanz ist bei Gärrestrückfuhr auf die Anbauflächen in die Humusklasse D (= hoch) einzuordnen. Der mittlere Wasserbedarf beträgt 471 mm/ha und kann durch den mittleren Jahresniederschlag am Standort Uetze gerade gedeckt werden.



Abb. 2.2.16: Untersaaten im Mais haben positive Wirkung auf Humusbilanz, Nitratfixierung und Befahrbarkeit, aber bei abnehmender Wasserverfügbarkeit im Klimawandel schwierigere Anbaubedingungen.

Szenario A1B 2071–2100

Mit weiter zunehmender Frühsommertrockenheit muss auf den Luzernegrasanbau verzichtet werden. Als Ersatz wird Sorghum als viertes Fruchtfolgeglied aufgenommen. Um die Humusbilanz wieder ins Gleichgewicht zu bringen, wird als weitere Anpassung das Getreide wieder als Korn, jetzt für die Ethanolherzeugung, genutzt, und das Stroh verbleibt auf dem Feld. Die Fruchtfolge hat nur noch 283 mm an Wasserbedarf und ist damit an die klimatischen Änderungen angepasst. Es werden im Mittel 76 dt/ha Korn und 189 dt TM/ha GPS geerntet. Die Humusbilanz ist trotz der gewählten Anpassungsmaßnahmen nicht ausgeglichen und fällt nach dem bisherigen Bewertungsverfahren in die Humusklasse A (= sehr niedrig) ab. Es liegen bisher noch keine Untersuchungen vor, inwieweit durch klimatische Veränderungen, insbesondere lange Trockenphasen, die Humuszehrung in der Vegetation gehemmt wird, so dass für die Humusreproduktion auch geringere Mengen an organischem Material notwendig waren. Auf der Grundlage bisheriger Bewertungsverfahren wäre ein Ausgleich durch die Zufuhr organischer Dünger aus der Tierhaltung möglich.

Fruchtfolgebeispiel für die südliche Metropolregion

Tab. 2.2.5: Mischfruchtfolge Marktfrucht-Bioenergie, humus- und wasseroptimiert, für die südliche Metropolregion. Angabe von Biomassertrag, Humusbilanz und Wasserbedarf; links: aktuell (1961–90), rechts: Szenario A1B 2071–2100.

Aktuell (Ertragsmittel 1999-2007 LSN, LK Göttingen)						Szenario 2071 - 2100 humusoptimiert					
Jahr:	Fruchtfolge:	Nutzung	Ertrag (dt/ha)	Humus C (kg/ha)	Wasserbedarf (mm/ha)	Jahr:	Fruchtfolge:	Nutzung	Ertrag (dt/ha)	Humus C (kg/ha)	Wasserbedarf (mm/ha)
1	Mais	Biogas	140	-560	578	1	Mais	Biogas	155	-560	518
	Gärrest			392			Gärrest		349		
2	WiRoggen GPS	Biogas	120	-280	474	2	WiRoggen Korn	Korn	55	-280	447
	Klee gras US	keine		200				Stroh f Humus	49	493	
3	W WeizenKorn	Korn/Ethanol	67	-280	536	3	W WeizenKorn	Korn/Ethanol	59	-280	516
	WStroh	keine	53	533			WStroh		47	474	
4	RapsKorn	Korn/Biodiesel	32	-280	444	4	RapsKorn	Korn/Biodiesel	22	-280	377
	Rapsstroh	keine	55	548			Stroh f Humus	37	371		
	Phacelia		20	120			56	Auflaufraps	15	180	
5	Mais	Biogas	140	-560	578	5	Mais	Biogas	155	-560	518
	Gras US	keine	20	200			60				
	Gärrest			392			Gärrest		352		
		Summe Korn:	99	Saldo	Mittel/Jahr			Summe Korn:	81	Saldo	Mittel/Jahr
FF Bewertung		Summe GPS:	400	85	545	FF Bewertung		Summe GPS:	365	51	484
		Humusklasse:	C=optimal					Humusklasse:	C=optimal		

Aktuell

Aktuell werden zur Biogaserzeugung zweimal Mais und einmal Roggen-GPS angebaut. Als Marktfrüchte kommen Weizen und Raps mit Körnernutzung hinzu, wobei das Stroh nicht abgefahren wird. Die Fruchtfolge soll eine optimale Humusversorgung aufzeigen, deshalb sind Gräseruntersaaten im Roggen und Mais sowie Phacelia als Zwischenfrucht nach Raps aufgenommen worden. Die Silomaisserträge liegen bei 14 t TM/ha und die Weizenerträge bei 67 dt Korn/ha (NLS). Die Humusbilanz liegt im Mittel bei +85 kg C/ha und damit in der optimalen Versorgungsklasse. Der Wasserbedarf beträgt im Mittel der Jahr 545 mm/ha und kann auf den mittleren bis guten Böden aus den Sommerniederschlägen gedeckt werden.



Abb. 2.2.17: Winterroggen ist als Energiepflanze in Ergänzung zu Mais geeignet. Durch geringe Ansprüche an Standort und Klima wird eine gute Anpassung an den Klimawandel erwartet.

Szenario 2071–2100,
wasser- und humusoptimiert

Um neben dem Wasserbedarf auch die Humusbilanz wieder auszugleichen, sind weitere Umstellungen in der Fruchtfolge erforderlich. Der Humusausgleich kann geschaffen werden, wenn der Roggen nicht mehr als GPS für Biogas, sondern als Korn für die Ethanol- oder Futternutzung geerntet wird und das Stroh zur Humusmehrung auf der Fläche verbleibt. Außerdem müsste nach bisherigen Kenntnissen (s. o., Bewertung Humusbilanz) die Weizenstrohnutzung für die BTL-Erzeugung zugunsten der Humusstabilität eingestellt werden. Es wird ein Rapsnacherntemanagement mit Auflauftraps und reduzierter Bodenbearbeitung vorgesehen. Über die gesamte Fruchtfolge führen diese Maßnahmen zu einer Reduktion des Biomasseertrages und zu einer Steigerung des Kornertrages. Einschnitte müssen durch den Verzicht des Strohverkaufs hingenommen werden. Die Humusbilanz liegt dafür mit +66 kg C/ha wieder in der Klasse C (= optimal versorgt). Der Wasserbedarf bleibt niedrig. Der zusätzlich für den Auflauftraps berechnete Wasserbedarf wird aus den Herbstniederschlägen gedeckt.

Mögliche Konfliktfelder bei der Anbaugestaltung

Humusbilanz

Im Zusammenhang mit den prognostizierten Klimaveränderungen sind einerseits gesteigerte Humuszersetzungsraten für Herbst, Winter und Frühjahr und andererseits im Sommer aufgrund verminderter Niederschläge und längerer Trockenphasen geringere Humuszsetzungsphasen zu erwarten (BÖHM 2008). In welche Richtung sich der Humusgehalt auf einen Standort entwickelt, ist davon abhängig, welche der gegenläufigen Tendenzen überwiegen. Eine Abschätzung hierüber ist jedoch schwierig, so dass auch Humusbilanzierungen für zukünftige Fruchtfolgen mit Unsicherheit behaftet sind. Vor diesem Hintergrund sind auch die nachfolgenden Humusbilanzierungen auf der Basis heutiger Bewertungen zu sehen.

Gegenwärtig werden der Anbau von Sommer- und Winterzwischenfrüchten sowie Untersaaten in Reihenkulturen wie Mais zum Erhalt der Humusbilanz empfohlen. Sie tragen zusätzlich zur Erosionsvermeidung, zur besseren Bodenstruktur, Steigerung der Wasserspeicherfähigkeit und Befahrbarkeit bei. Die Deckung des zusätzlichen Wasserbedarfes von Sommerzwischenfrüchten wird bei abnehmenden Sommerniederschlägen künftig problematisch, so dass von einer rückläufigen Entwicklung auszugehen ist. Winterzwischenfrüchte können dagegen die Winterniederschläge nutzen und auch Nährstoffe über den Winter binden. Ob hierdurch noch bis Ende des Jahrhunderts der Anbau abgesichert werden kann, ist zurzeit ungewiss und müsste vertiefend untersucht werden. Für Untersaaten stellt sich das Problem der Wasserkonkurrenz noch deutlicher dar. Begrenzte Möglichkeiten bestehen durch die Sortenwahl. Fällt der Zwischenfrucht- und Untersaatenanbau aufgrund mangelnder Wasserverfügbarkeit bis zum Jahrhundertende aus, so kann dies die Folge haben, dass verstärkt über eine Humusreproduktion durch Strohdüngung nachgedacht werden muss. Anpassungsmöglichkeiten bestehen bei der Ganzpflanzennutzung durch eine Beerntung mit höheren Stopplern oder Ersatz zugunsten von Körnernutzungen ohne Strohexport.

Nitratverlagerung

Niederschlagsextreme können zu erhöhtem oberflächlichem Düngerabtrag in die Oberflächengewässer oder Auswaschungen ins Grundwasser führen. Auch Ertragseinbrüche in Folge von Sommertrockenheiten können zu Nitratüberschüssen führen, die über den Winter potenziell ausgewaschen werden. Abnehmende Sickerwassermengen führen zudem zu höheren Sickerwasserkonzentrationen. Die Anforderungen an einen gewässerschonenden Anbau werden somit in Zukunft steigen. Parallel wird eine Umsetzung der sehr effizienten Maßnahmen Zwischenfrucht- und Untersaatenanbau künftig unsicherer bzw. nur noch eingeschränkt möglich sein.

Erosion

Trotz recht konstanter mittlerer Jahresniederschläge wird auch in der Metropolregion eine Zunahme an extremen Einzelereignissen nicht auszuschließen sein. Zudem verschieben sich die Niederschläge in die Herbst- und Wintermonate, in denen nur teilweise schützende Vegetationsdecken auf den Äckern vorhanden sind. Somit wird auch die Erosionsgefahr im Klimawandel eher zunehmen. Zusätzliches Risikopotenzial besteht bei Starkniederschlagsereignissen nach der Ernte der Hauptfrüchte in den Sommermonaten, sofern keine Zweitkultur oder Zwischenfrucht zum Anbau kommt.

Zweikulturnutzung

Die künftig längeren Vegetationszeiten lassen Vorteile für den Anbau von zwei Hauptkulturen mit Ernteziel innerhalb eines Jahres erwarten (Zweikulturnutzung). Dieser Vorteil wird sich in klimatischen Durchschnittsjahren und auf besseren Standorten mit hoher nutzbarer Feldkapazität (nFK) realisieren lassen, setzt jedoch ebenfalls die züchterische Weiterentwicklung von Sorten mit hoher Frosttoleranz und früher Abreife voraus. Auf schwachen Standorten wird die Zweikulturnutzung durch den limitierenden Faktor Wasser wirtschaftlich unattraktiv bleiben, solange keine Zusatzbewässerung zur Verfügung steht.

Ackerbauliche Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Landwirtschaftliche Betriebe passen sich nicht nur durch die Kulturartenwahl und Fruchtfolgegestaltung, sondern auch mit der Sortenwahl, Wahl der Saat- und Erntetermine, den Bodenbearbeitungsverfahren, den Dünge- und Pflanzenschutzstrategien möglichst optimal an die gegebenen Anbaubedingungen an (s. Tab. 2.2.6). Diese in der Praxis geläufigen Anpassungsstrategien werden auch unter dem Aspekt des Klimawandels vorrangig zum Einsatz kommen. So kann z. B. heute schon zwischen einem breiten Spektrum an Maissorten mit unterschiedlichem Reifezeitpunkt sowie ertrags- bzw. stabilitätsorientierten Sorten gewählt werden. Neue Anbauoptionen, z. B. für Wärme liebende Kulturen, können in Zukunft hinzukommen. Auch hinsichtlich der Düngung und des Krankheits- sowie Unkrautdruckes sind in Zukunft Änderungen für die Metropolregion zu erwarten. Während CO₂- und Temperaturanstieg prinzipiell eher positive Auswirkungen auf die Erträge bedingen, werden die rückläufigen Sommerniederschläge und zunehmende Trockenphasen die Erträge negativ beeinflussen. Regionale Unterschiede werden künftig die Ertragsleistungen stärker prägen. Die derzeit zur Verfügung stehenden ackerbaulichen Maßnahmen zur Sicherung der Ertragsleistung und künftige Entwicklungen im technischen Bereich sowie der Pflanzenzüchtung sollten zur Ertragssicherung ergriffen werden. Sie können voraussichtlich, Extremsituationen ausgeschlossen, klimatisch bedingte Ertragseinbußen in der Metropolregion kompensieren.

Tab. 2.2.6: Übersicht möglicher Maßnahmen zur Ertragssicherung unter den Herausforderungen des Klimawandels – Schwerpunkt Ackerbau.

Kategorie	Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zur Ertragssicherung im Klimawandel
Fruchtfolgegestaltung	Fruchtartenwahl
	Fruchtfolgegestaltung
	Sortenwahl
Bestandesführung	angepasste Saat- und Erntetermine
	angepasstes Düngemanagement
	integrierter Pflanzenschutz
Bodenbearbeitung	konventionelle Bodenbearbeitung
	reduzierte Bodenbearbeitung
	Direktsaatverfahren
Aussaat und Pflanzverfahren	Engsaatverfahren
	Untersaaten
	Häufeln bzw. Anbau in Dämmen
	Folienanbau
weitere	Pflanzenzüchtung
	Nutzung von Agrarinformationsdiensten
Wasserverfügbarkeit	(s. Teilprojekt 3: Feldberegnung)

Weitere Ausführungen hierzu finden sich unter www.klimafolgenmanagement.de und im Fachteil des BMBF-Endberichts.

2.2.4 Zusammenfassung

Positive pflanzenbauliche Auswirkungen des Klimawandels resultieren in einem früheren Vegetationsbeginn und einer insgesamt längeren Vegetationszeit. Einschränkungen werden durch die zunehmende Sommertrockenheit bei gleichzeitig steigenden Temperaturen sowie durch die steigende Gefahr von Spätfrösten erwartet.

Die Ertragsmodellierung von Biomassekulturen mit Ganzpflanzennutzung für Leitgebiete der Metropolregion ergibt für die Kulturen Mais, Sorghum und Zuckerrübe tendenziell positive Ertragseffekte im Klimawandel (ohne Berücksichtigung von Technik- oder Züchtungsfortschritt). Die Wintergetreidearten bleiben noch bis Mitte des Jahrhunderts recht stabil und zeigen dann klimabedingte Ertragsminderungen. Raps und Sommergetreide können die prognostizierten Klimaänderungen am schlechtesten ausgleichen. Auch für den Anbau von Untersaaten und Sommerzwischenfrüchten werden bei rückläufiger Wasserverfügbarkeit

Einschränkungen erwartet. Anpassungsmöglichkeiten bestehen u. a. in der Kulturartenwahl, der Fruchtfolgegestaltung, der Sortenwahl und in der Wahl der Bodenbearbeitungssysteme (von reduzierter Bodenbearbeitung bis Direktsaat) sowie, insbesondere auf leichten Standorten, in der Zusatzbewässerung. Eine an den Erfordernissen des Klimawandels ausgerichtete Pflanzenzüchtung kann ebenfalls zur künftigen Ertragssicherheit beitragen. Fruchtfolgeszenarien weisen darauf hin, dass in Zukunft größere Anstrengungen zum Erhalt der Humusbilanz und zur Vermeidung von Nitratauswaschungen und Erosionserscheinungen unternommen werden müssen. Klimaänderungen bedeuten nicht nur neue Herausforderungen an die landwirtschaftliche Praxis, sondern auch eine Neuorientierung in der Fachberatung. Weiterer Forschungsbedarf ist hinsichtlich einer nachhaltigen Optimierung von Anbausystemen unter Berücksichtigung minimaler Treibhausgasemissionen, maximalem Grundwasser- und Bodenschutz und insbesondere zum Erhalt ausgeglichener Humusbilanzen gegeben.

2.2.5 Literatur und Datenquellen

- AZAM-ALI, S. N., CROUT, N. M. J. & BRADLEY, R. G. (1994): Perspectives in modelling resource capture by crops. – Chapter in: 'Resource Capture by Crops', Proceedings of the 52nd University of Nottingham Easter School: 125–148; Nottingham (University Press).
- BAUBÖCK, R. (2010): BioSTAR - A simple crop model for the assessment of biomass potentials in Lower Saxony, Germany. – In: Integration of Environmental Information in Europe, Tagungsband.
- BÖHM, J. J. (2008): Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf die Eigenschaften und Entwicklung der Böden in Schleswig-Holstein - eine Abschätzung anhand von Prognosen des regionalen Klimamodells WETTREG. – Diplomarbeit, Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie an der Leibniz Universität Hannover.
- FNR - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hrsg.) (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Erste Ergebnisse des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“. – Juni 2008; Hürth.
- FNR - FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Hrsg.) (2010): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen. Ergebnisse des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I“. – Juni 2010.
- HOFFMANN-BAHNSEN, R. (2011): Brauchen wir neue Fruchtfolgen für die Zukunft? Anforderungen von Klimawandel und neuen Kulturarten an die Fruchtfolgegestaltung. – <www.umwelt.sachsen.de/lfulg/download/140108_Hoffmann_Bahnsen.pdf 6/2011>.
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2005): Energiepflanzenanbau für Biogasanlagenbetreiber. – Frankfurt a. M. (DLG).
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2010): Energiepflanzenanbau für Biogasanlagen: Veränderung der Fruchtfolgen und der Bewirtschaftung von Ackerflächen in Niedersachsen. – Naturschutz und Landschaftsplanung **42** (10): 313–320.
- KRAUSE, A. (2011): Simulationen zum Klimawandel, unter: <www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=77>.
- LANDESBETRIEB LANDWIRTSCHAFT HESSEN (Hrsg.) (2005): Leitfaden zur Humusbilanzierung. – [ISSN: 1610-6873].
- NLWKN - NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (Hrsg.) (2010): Energiepflanzenanbau, Betrieb von Biogasanlagen und Gärrestmanagement unter den Anforderungen des Gewässerschutzes. – Autoren: BUTTLAR, C. V., KRÄLING, B., RODE, A., MUND, H. & ROSKAM, A.; Schriftenreihe Grundwasser **10**.
- STÜLPNAGEL R., BUTTLAR C. V., HEUSER F., WAGNER D. & WACHENDORF, M. (2007): Standortvergleiche zum Zweikultur-Nutzungssystem. – Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe **31**: 78–96.
- STÜLPNAGEL, R. & BUTTLAR, C. V. (2008): Kap. 3.4.1 – Zweikultur-Nutzungssystem. – In: FNR (Hrsg.) (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen: 32–34; Hürth.

2.3 Ganzheitliche Bewertung regional angepasster Bioenergiekonzepte unter dem Aspekt des Klimawandels

DANIELA DRESSLER & ACHIM LOEWEN

Zusammenfassung

Bioenergien sind aufgrund des dafür erforderlichen Anbaus von Energiepflanzen direkt vom Klimawandel betroffen. Deshalb wurde von der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) ein Modell zur vergleichenden Bewertung ausgewählter standortangepasster Bioenergiekonzepte hinsichtlich energetischer, ökologischer und ökonomischer Kriterien unter Berücksichtigung des Klimawandels entwickelt und angewendet. Zielsetzung dabei war, eine Entscheidungsgrundlage für den Energiepflanzenanbau, die eingesetzte Verfahrenstechnik und die optimale Standortwahl zu schaffen. Dabei sollte insbesondere der Einfluss der modellierten Klimaszenarien auf die Bioenergiekonzepte betrachtet werden.

Die Bilanzergebnisse zeigen, dass sich klimabedingte Ertragszu- bzw. -abnahmen auf die energetische und ökologische Bewertung aller betrachteten Bioenergien auswirken. Die Fortschreibung der Bilanzen bis zum Jahr 2100 unter Berücksichtigung eines technologischen Fortschritts veranschaulicht allerdings, dass die Ertragsveränderungen durch den Klimawandel im Vergleich zu den Auswirkungen des technologischen Fortschritts nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben. So können Bilanzverschlechterungen (z. B. Reduzierung des THG-Minderungspotenzials durch Ertragsabnahme) durch mögliche Effizienzsteigerungen (z. B. Steigerung der Biogasausbeute) mehr als kompensiert werden.

2.3.1 Hintergrund und Zielsetzung

Bereits heute wird in der Metropolregion durch den Anbau und die Nutzung von Energiepflanzen ein wichtiger Beitrag zur Erreichung nationaler Klimaschutzziele geleistet. Zahlreiche Anlagen erzeugen Biogas, Biomethan sowie Pflanzenöl zur Biodieselproduktion. Der damit einhergehende vermehrte und weiter steigende Anbau von Energiepflanzen ist neben der Produktion von Marktfrüchten wie Weizen zu einem wichtigen Standbein in der Landwirtschaft geworden.

Allerdings ist der Anbau von Bioenergiepflanzen, wie die gesamte landwirtschaftliche Produktion, direkt von Extremwetterereignissen und vom Klimawandel betroffen. Dies hat veränderte Anbaubedingungen sowie Veränderungen in der Ertragserwartung und damit auch in der Bereitstellung von Bioenergie zur Folge. Um die Zielsetzungen des Klimaschutzes auch und gerade unter den veränderten Randbedingungen des Klimawandels zu erreichen und die Energieversorgung der Bevölkerung aus regenerativen Quellen langfristig abzusichern, spielt die optimale Standortwahl sowohl für den Anbau der Energiepflanzen als auch für die Errichtung der Anlagen zu deren Verwertung, einschließlich der Wahl der Verfahrenstechniken eine zentrale Rolle. Die Erstellung von energetischen, ökologischen und ökonomischen Bewertungen stellt in diesem Zusammenhang eine wichtige Entscheidungsunterstützung zur Auswahl des optimalen Bioenergiekonzeptes dar.

Zielsetzung der Arbeiten der Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK), war daher die Entwicklung und Anwendung eines Modells zur vergleichenden Bewertung ausgewählter standortangepasster Bioenergiekonzepte hinsichtlich energetischer, ökologischer und ökonomischer Kriterien. Die Auswertung der Bilanzen soll als Handlungsempfehlung und zur Entscheidungsunterstützung für eine optimale Verfahrens- und Standortauswahl für den Anbau von Energiepflanzen sowie für die Errichtung von Bioenergieanlagen dienen.

2.3.2 Auswahl und Ableitung der betrachteten regional angepassten Bioenergiekonzepte

Für die Auswahl der zu bilanzierenden Bioenergiekonzepte wurde zunächst ein Technologiepool zur Bioenergieerzeugung erstellt. Dieser basiert auf dem derzeitigen Bestand der in der Metropolregion befindlichen Anlagen und einer Erhebung unterschiedlicher Bioenergieverfahren, bezogen auf ihren Stand der Technik und Forschung. Dabei wurden die Technologien grundsätzlich hinsichtlich dreier bzw.

vier verschiedener Nutzungsformen unterschieden:

- Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK),
- Wärme,
- Kraftstoff,
- (Kälte mittels Absorptionskältemaschine).

Daraus ergaben sich dann die in Abbildung 2.3.1 für die Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen (– Wolfsburg) dargestellten potenziellen Bioenergieverfahren mit den zugehörigen Rohstoffen.

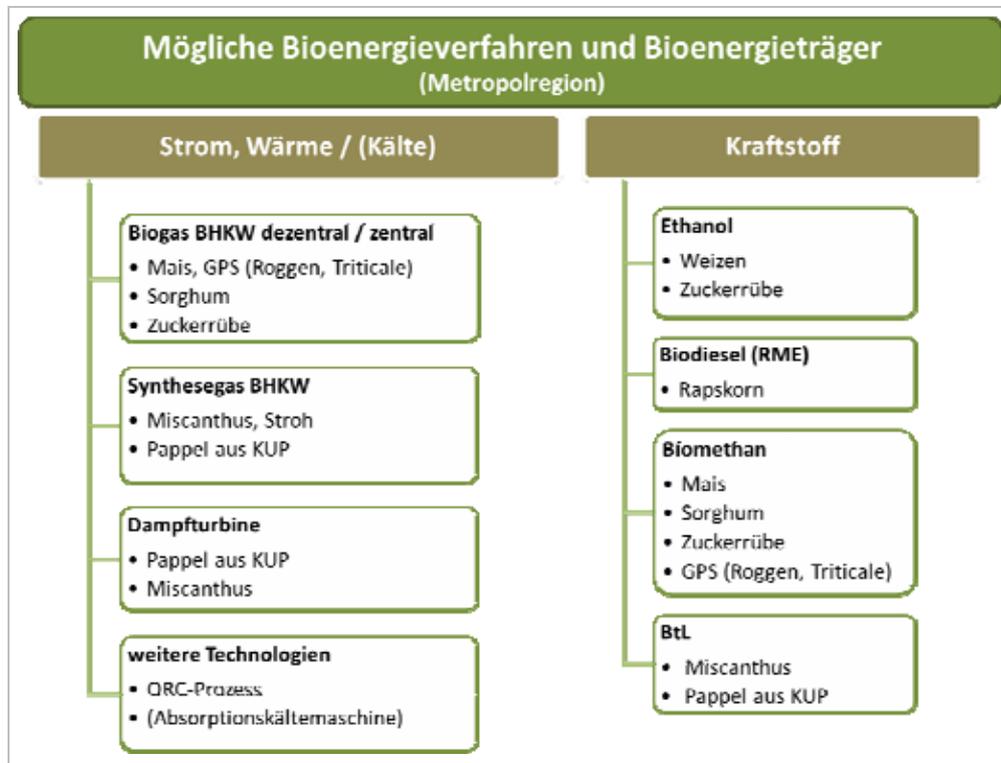


Abb. 2.3.1: Auswahl möglicher Bioenergieverfahren für die Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen (– Wolfsburg).

Auf Grundlage dieses Technologiepools wurden anhand der von den Projektpartnern des Interdisziplinären Zentrums für Nachhaltigkeit (IZNE) der Georg-August-Universität Göttingen betrachteten Bereitstellungskonzepte ausgewählter Energiepflanzen die zu bilanzierenden Verfahren abgeleitet. Eine Auswahl der sich ergebenden Technologiepfade (Bioenergiepfa-

de), deren Bilanzergebnisse in dem vorliegenden Bericht dargestellt sind, ist in Tabelle 2.3.1 zusammengefasst. Die ausführliche Beschreibung aller bilanzierten Technologien erfolgt im Endbericht des BMBF-Projektes Klimafolgenmanagement, Teilbericht der HAWK (nachfolgend: Projektbericht der HAWK).

Tab. 2.3.1: Kurzbezeichnung und Beschreibung der betrachteten Technologiepfade.

Kurzbezeichnung	Beschreibung
Rapsöl-BHKW	Anbau Raps-Korn, Extraktion, BHKW mit 100 % Wärmenutzung
Raps-ME (Biodiesel)	Anbau Raps-Korn, Extraktion, Umesterung zu RME (Biodiesel)
Weizen-Ethanol	Anbau Weizen-Korn und Produktion von Bioethanol
Zuckerrübe-Ethanol	Anbau Zuckerrüben und Produktion von Bioethanol
Mais-Biogas-BHKW	Anbau Mais-Ganzpflanze (GP), Transport und Silierung, Fermentation, BHKW vor Ort, standortspezifische Wärmenutzung
Sorghum-Biogas-BHKW	Anbau Sorghum-GP, Transport und Silierung, Fermentation, BHKW vor Ort, standortspezifische Wärmenutzung
Zuckerrübe-Biogas-BHKW	Anbau Zuckerrübe, Transport und Silierung, Fermentation, BHKW vor Ort, standortspezifische Wärmenutzung
Mais-Biomethan-BHKW	Anbau Mais-GP, Transport und Silierung, Fermentation, Aufbereitung und Einspeisung, BHKW zentral, mit 100 % Wärmenutzung
Sorghum-Biomethan-BHKW	Anbau Sorghum-GP, Transport und Silierung, Fermentation, Aufbereitung und Einspeisung, BHKW zentral, mit 100 % Wärmenutzung
Mais-Biomethan-Gastherme	Anbau Mais-GP, Transport und Silierung, Fermentation, Aufbereitung und Einspeisung, Gastherme
Sorghum-Biomethan-Gastherme	Anbau Sorghum-GP, Transport und Silierung, Fermentation, Aufbereitung und Einspeisung, Gastherme
Mais-Biomethan-CNG	Anbau von Mais-GP, Transport und Silierung, Fermentation, Aufbereitung und Einspeisung, Tankstelle, Kraftstoff
Sorghum-Biomethan-CNG	Anbau Sorghum-GP, Fermentation, Aufbereitung und Einspeisung, Tankstelle, Kraftstoff

Diese Bioenergiepfade wurden jeweils für drei konkrete Modellregionen (Landkreis (LK) Göttingen, LK Celle und LK Hildesheim) hinsichtlich der jeweils vorliegenden regionalen und standortspezifischen Gegebenheiten gesondert betrachtet. Zu den regionalen und standortspezifischen Gegebenheiten der jeweiligen Landkreise gehören die spezifischen Energiepflanzenerträge, bodenabhängige Bewirtschaftungskonzepte und die standortspezifische Bioenergienutzung, wie z. B. die Wärmenutzung der bestehenden Biogasanlagen.

Weiterhin wurden für diese Bioenergiepfade technologische Fortschritte (z. B. Steigerung von Wirkungsgraden) veranschlagt, die allerdings nicht den tatsächlich zu erwartenden Fortschritt widerspiegeln können, da sich dieser sehr schwer abschätzen lässt und bis zum Jahr 2100 Energieerzeugungstechniken entwickelt sein könnten, die derzeit nicht einmal den Stand der Forschung beschreiben. Im Rahmen der durchgeführten Bilanzierungen wurden zunächst nur relativ geringe Wirkungsgradsteigerungen veranschlagt, mit denen der grundsätzliche Einfluss im Vergleich zu den Auswirkungen durch klimabedingte Ertragsveränderungen

ermittelt werden kann. Im Einzelnen wurde Folgendes angenommen:

- Steigerung der BHKW-Wirkungsgrade:
 - 5 % elektrisch,
 - 4 % thermisch.
- Biogasanlagen:
 - Steigerung der Biogasausbeute (nach KTBL 2009) um 20 %,
 - Reduzierung der diffusen Methanemissionen von 2,5 % auf 1 %.
- Kraftfahrzeuge:
 - Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs um 5 %.
- Ethanol- und Biodieselproduktion:
 - Steigerung der Effizienz in der Produktion um 10 %.

Werden zukünftig weitere Effizienzsteigerungen erzielt und beispielsweise elektrische Wirkungsgrade der BHKW von 60 % und mehr erreicht, so können diese die Bilanzergebnisse noch deutlich stärker beeinflussen.

Die übrigen in Abbildung 2.3.1 aufgeführten Technologien basieren auf lignozellulosehaltiger Biomasse. Diese wurde allerdings von den Projektpartnern des IZNE und des LBEG nicht betrachtet. Somit konnten für diese Bioenergiepfade keine Bilanzierungen hinsichtlich ihrer Standortunterschiede und der Auswirkungen des Klimawandels (IMUK, Universität Hannover) durchgeführt werden. Es wurden allerdings Energie- und Ökobilanzen auf Basis von Literaturdaten für den Ist-Stand durchgeführt. Diese Ergebnisse sind dem Projektbericht der HAWK zu entnehmen.

2.3.3 Methodik

Das Modell zur Durchführung vergleichender Bewertungen ausgewählter standortangepasster Bioenergiekonzepte stützt sich auf bereits standardisierte Normen und Richtlinien. So erfolgt die primärenergetische Bewertung nach den Grundsätzen der VDI-Richtlinie 4600 (VDI 1997) zum kumulierten Primärenergieaufwand,

die ökologische Bewertung nach den Rahmenrichtlinien der ISO-Normen 14040 (ISO 2006a) und 14044 (ISO 2006b) zur Erstellung einer Ökobilanz und die ökonomische Bewertung nach den Grundsätzen der VDI-Richtlinie 2067 (VDI 2000). Dabei ist die Vorgehensweise bei allen Methoden gleich und stützt sich auf die vier Phasen der Ökobilanzierung: Festlegung des Untersuchungsrahmens (1), Erstellung der Sachbilanz (2), Wirkungsabschätzung nach festgelegten Bewertungskriterien (3) und Auswertung der Bilanzergebnisse (4). Die vollständige Prozesskettenanalyse (Sachbilanz) ist wesentliches Element der drei Bewertungsmethoden und führt vom Anbau der jeweiligen Biomasse über die Bereitstellung des Bioenergeträgers bis hin zur jeweiligen Endenergie. Diese Prozesskettenanalyse erfolgt für die drei Modellregionen (LK Celle, LK Hildesheim und LK Göttingen) jeweils unter Berücksichtigung der regionalen Standortvoraussetzungen, der regionalen Bewirtschaftungskonzepte sowie der regional angepassten Bioenergienutzung (s. Abb. 2.3.2).

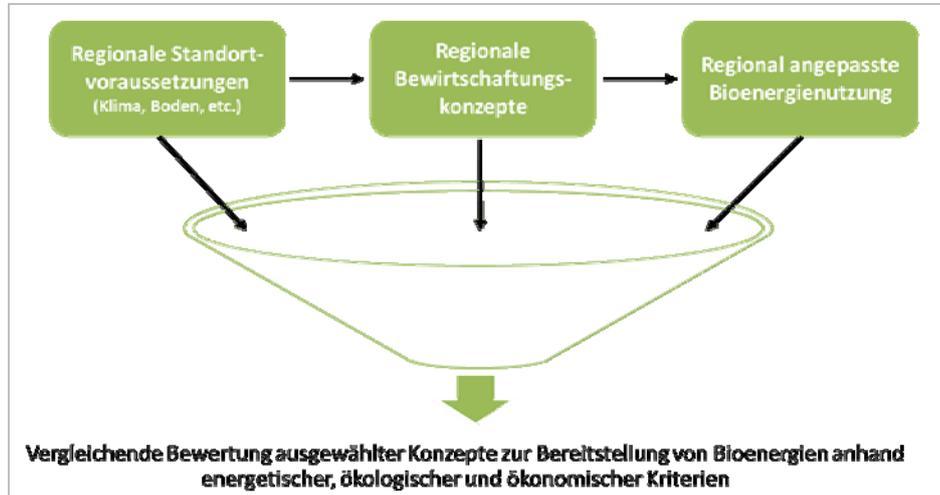


Abb. 2.3.2: Vergleichende energetische, ökologische und ökonomische Bewertung ausgewählter Konzepte zur Bereitstellung von Energiepflanzen und/oder Bioenergien.

Die Modellierung des Energiepflanzenanbaus der drei ausgewählten Untersuchungsgebiete erfolgte unter Berücksichtigung der Feldarbeit in Abhängigkeit von den vorliegenden Bodenbeschaffenheiten, den Berechnungsbedürftigkeiten sowie auf Basis von standortangepassten Felderträgen. Aufbauend auf dieser Prozesskettenanalyse erfolgte dann in einem zweiten Schritt die energetische, ökologische und ökonomische Bewertung (Bilanzierung) nach folgenden Kriterien, die wesentlicher Bestandteil des Bewertungsmodells sind:

- energetische Kriterien nach VDI 4600 (VDI 1997):
 - Kumulierter Primärenergieaufwand (KEA): Maßeinheit für den vollständigen primärenergetisch bewerteten Aufwand, der durch die Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produkts entsteht.
 - Erntefaktor: Verhältnis zwischen dem Energieertrag und dem kumulierten (nicht-regenerativen) Energieaufwand.
- ökologische Kriterien nach ISO 14040, ISO 14044 (ISO 2006a, ISO 2006b):
 - Treibhausgaspotenzial: Emission anthropogen verursachter Treibhausgase (z. B. Methan und Kohlendioxid), die zu einer Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes führen und damit zu einer Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur beitragen können. Bewertung nach IPCC (2007).
 - Versauerungspotenzial: Emission versauernder Stoffe (SO₂, NO_x etc.), die vielfältige Auswirkungen auf Böden, Gewässer, Ökosysteme, biologische Organismen und Materialien haben (z. B. Rückgang von Waldflächen, Fischsterben in Seen). Bewertung nach GUINEÉ (2001).
 - Eutrophierungspotenzial: Nährstoffzufuhr im Übermaß, die in Gewässern zu einer unerwünschten Verschiebung der Artenzusammensetzung (z. B. vermehrte Algenbildung) und damit zu einer Sauerstoffzehrung bzw. zu einer Sauerstoffmangelsituation führen kann. Bewertung nach GUINEÉ (2001).

- ökonomische Kriterien nach VDI 2067 (VDI 2000):
 - Gestehungskosten: Gleichzusetzen mit Herstellkosten; Herstellkosten sind die im Zusammenhang mit der Produktion eines Gutes anfallenden Kosten und setzen sich aus Material- und Fertigungskosten zusammen.

Durch Auswertung der erstellten Bilanzen auf Basis dieser Bewertungskriterien kann dann ein jeweils energetisch, ökologisch und ökonomisch sinnvolles Energieversorgungskonzept für unter anderem folgende Fragestellungen identifiziert werden:

- Welche Energiepflanze hat pro Hektar Anbaufläche bzw. pro Tonne Erntegut
 - den geringsten Energieaufwand?
 - die beste Klimagasbilanz?
 - das geringste Versauerungs- bzw. Eutrophierungspotenzial?
- Welches Bioenergiekonzept hat pro Hektar Anbaufläche
 - den geringsten Energieaufwand?
 - die beste Klimagasbilanz?
 - das geringste Versauerungs- bzw. Eutrophierungspotenzial?
- Wie verändern sich die Bilanzergebnisse unter Berücksichtigung der klimatischen Veränderungen und des technologischen Fortschritts bis 2100?

Darüber hinaus können die Bilanzergebnisse der drei Leitgebiete miteinander verglichen werden. Damit können Aussagen über den lokalen Bezug der energetischen, ökologischen und ökonomischen Effizienz von Bioenergieversorgungskonzepten getroffen werden.

Der zeitliche Bezug der Bilanzen erstreckt sich über die auf den Klimamodellierungen basierenden drei festgelegten Szenarien: 1961–1990 (Ist-Stand), 2021–2050 (2050) und 2071–2100 (2100).

2.3.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der vergleichenden Bewertung standortangepasster Bioenergiekonzepte sind unterteilt in die Bereitstellung der betrachteten Energiepflanzen und in die daraus abgeleiteten Bioenergiepfade. Die für diese Betrachtungsrahmen erstellten Energiebilanzen und Ökobilanzen sind nachfolgend für die Szenarien des Ist-Zustandes, des Szenarios 2050 sowie des Szenarios 2100 mit und ohne Technologiefortschritt für die entsprechenden Bioenergien dargestellt. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse beziehen sich ausschließlich auf den Ist-Zustand und werden im ausführlichen Projektbericht der HAWK vorgestellt.

Energetische und ökologische Bewertung des Energiepflanzenanbaus

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse zur energetischen und ökologischen Bewertung des Energiepflanzenanbaus beziehen sich auf die Bereitstellung von einer Tonne Erntegut ab Feldrand. Es wurden alle Aufwendungen für den Anbau der jeweiligen Kultur (Feldarbeit, Dünge- und Pflanzenschutzmittel etc.) bis hin zur Ernte berücksichtigt. Dazu zählen auch alle indirekten Emissionen, wie zum Beispiel die stickstoffbedingten Lachgasemissionen. Der Transport der jeweiligen Energiepflanze vom

Feld zur entsprechenden Bioenergieanlage liegt hier noch außerhalb des Betrachtungsrahmens und wird erst bei der Bilanzierung der gesamten Prozesskette berücksichtigt.

Energetische Bewertung des Energiepflanzenanbaus

Die energetische Bewertung des Energiepflanzenanbaus erfolgt durch den kumulierten Primärenergieaufwand in Megajoule (MJ) pro Tonne erntefrischer Biomasse. In Abbildung 2.3.3 ist das Ergebnis der energetischen Bilanzierung verschiedener Kulturen für den Zeitraum Ist-Stand dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Kornpflanzen die schlechtesten Energiebilanzen aufzeigen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesen im Vergleich zu den Getreide-Ganzpflanzen (GP) nur der Kornertrag zur Bioenergieerzeugung genutzt wird und nicht die vollständige Frucht (Korn und Stroh). Dadurch erreichen diese Kulturen einen deutlich geringeren Ertrag im Vergleich zu den Getreide-GP, und der Aufwand pro Tonne Erntegut steigt. Weiterhin geht aus Abbildung 2.3.3 hervor, dass der Aufwand für die Bereitstellung von Raps-Korn im Vergleich zum Winterweizen-Korn mehr als doppelt so hoch ist. Dies ist auf den sehr hohen Stickstoffbedarf des Rapses und die energieintensive Stickstoffdüngereproduktion zurückzuführen.

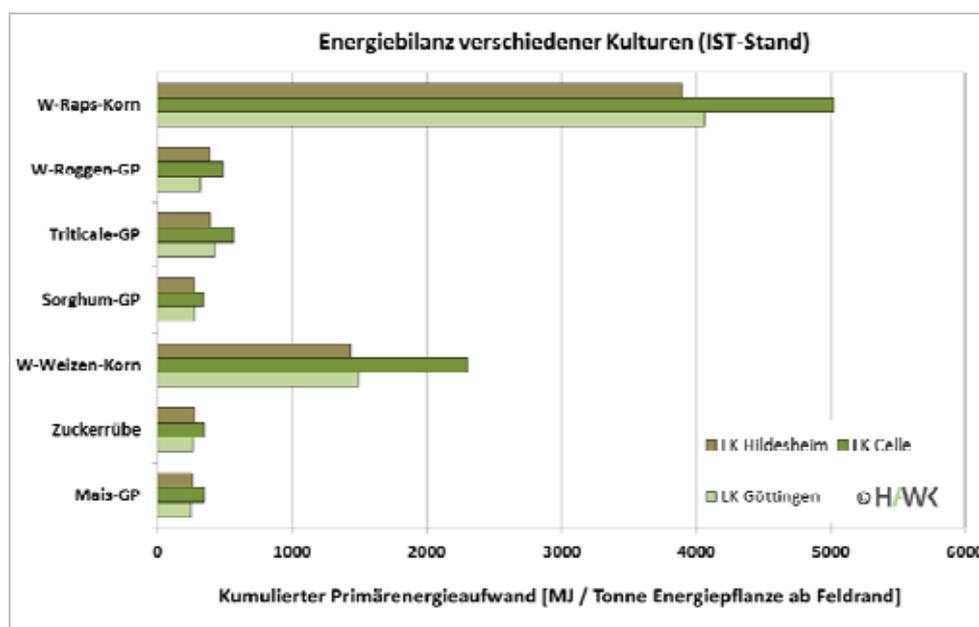


Abb. 2.3.3: Energiebilanz verschiedener Kulturen (Ist-Stand).

Vergleicht man den kumulierten Energieaufwand (KEA) der Energiepflanzenbereitstellung der Landkreise Hildesheim, Celle und Göttingen untereinander, so wird deutlich, dass der Aufwand im LK Celle im Vergleich zu den anderen beiden Landkreisen am höchsten ist. Dies liegt einerseits am geringeren Ertrag im LK Celle, wodurch bei gleichem Düngeaufwand und gleicher Feldarbeit der Aufwand pro

Tonne Erntegut steigt. Außerdem ist der höhere kumulierte Energieaufwand im LK Celle auf die erforderliche Feldbereitung zur Ertragssicherung zurückzuführen (vgl. Abb. 2.3.4). Weiterhin zeigt Abbildung 2.3.4 den hohen Anteil der erforderlichen Dünge- und Pflanzenschutzmittel, der überwiegend auf der Bereitstellung des Stickstoffdüngers beruht.

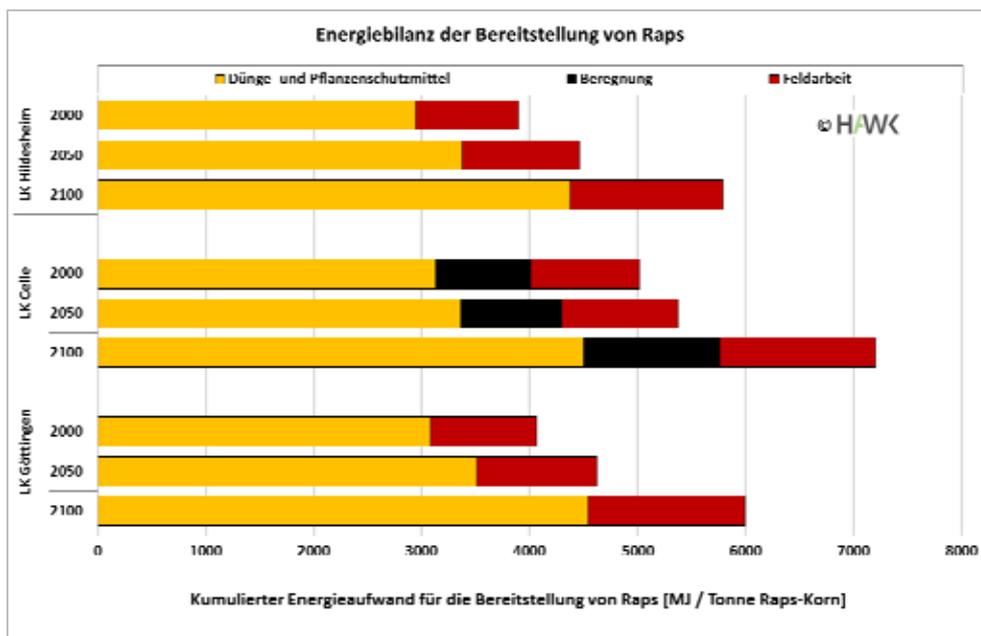


Abb. 2.3.4: Kumulierter Energieaufwand für die Bereitstellung von Raps-Korn.

Der Vergleich der verschiedenen Zeiträume 2000, 2050 und 2100 unter Berücksichtigung der Klimamodellierungen zeigt, dass der kumulierte Energieaufwand in allen drei Landkreisen bis zum Jahr 2100 um ca. 2 000 MJ pro Tonne Raps-Korn zunimmt. Dies ist auf den zu erwartenden Ertragsrückgang aufgrund des Klimawandels zurückzuführen. Dadurch nimmt bei gleichem Bereitstellungsaufwand pro Hektar der kumulierte Energieaufwand pro Tonne Erntegut zu.

Abbildung 2.3.5 und Abbildung 2.3.6 zeigen die prozentuale Zunahme (positiver Ausschlag auf der x-Achse) bzw. Abnahme (negativer Ausschlag auf der x-Achse) des KEA für die anderen Kulturen der Szenarien 2050 und 2100 gegenüber dem Ist-Zustand (2000). Analog zum Raps lassen sich auch hier die Zunahmen des

Energieaufwandes auf den sinkenden Ertrag in den Szenarien 2050 bzw. 2100 und die Abnahmen auf steigenden Ertrag (z. B. Sorghum, Zuckerrübe) zurückführen. Einzige Ausnahmen dieses Trends sind die Mais-GP und die Zuckerrüben-Erzeugung im LK Hildesheim. Hier liegen in beiden Szenarien Ertragssteigerungen vor. Dennoch zeigt das Bilanzergebnis eine im Vergleich zum LK Celle reduzierte Abnahme des KEA für die Zuckerrübenproduktion und sogar eine Zunahme des KEA bei Anbau und Ernte von Mais-GP. Die erwartete Ertragssteigerung ist jedoch nur dann möglich, wenn eine ausreichende Nährstoffversorgung gewährleistet werden kann. Dadurch entsteht ein höherer Aufwand, insbesondere für Stickstoff-Dünger, was wiederum zu einer Erhöhung des KEA führt.

Stellt man die Veränderung des KEA beider Szenarien einander gegenüber, so wird deutlich, dass im Szenario 2050 neben der Zuckerrübe die Sorghum-GP, im LK Göttingen die Mais-GP und im LK Celle der Roggen und der Weizen noch eine Verbesserung des KEAs erreichen können.

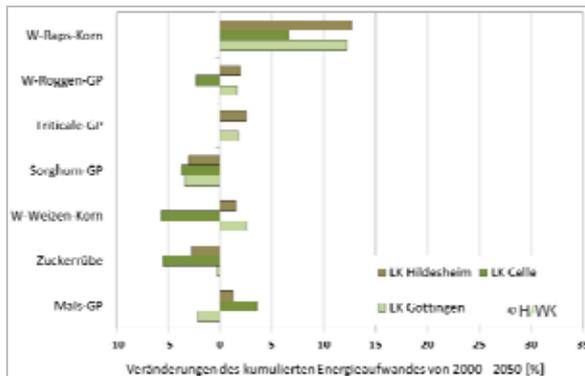


Abb. 2.3.5: Prozentuale Veränderung des kumulierten Primärenergieaufwandes für den Anbau verschiedener Energiepflanzen vom Ist-Stand zum Jahr 2050.

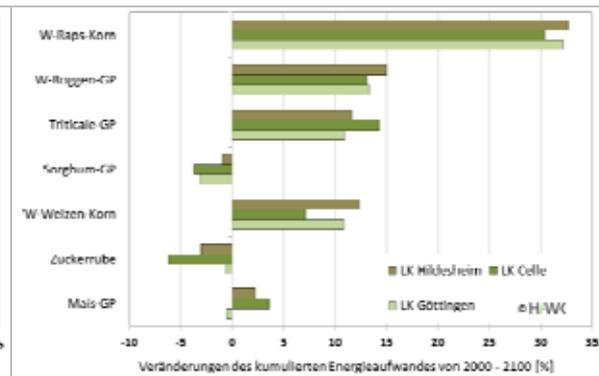


Abb. 2.3.6: Prozentuale Veränderung des kumulierten Primärenergieaufwandes für den Anbau verschiedener Energiepflanzen vom Ist-Stand zum Jahr 2100.

Weiterhin sind die Zunahmen des KEA der anderen Kulturen noch deutlich geringer als im Szenario 2100. Hier können nur noch die Zuckerrübe und der Sorghum in allen drei Landkreisen sowie der Mais im LK Göttingen eine Verbesserung des KEA erreichen. Diese Entwicklung liegt am Ertragsrückgang aller anderen Kulturen (Ausnahme: Mais-GP im LK Hildesheim, s. o.). Außerdem wird deutlich, dass beim Raps, der bei der Bilanzierung des Ist-Standes schon den größten Energieaufwand hat, die Zunahme mit über 30 % am höchsten ist.

Ökologische Bewertung des Energiepflanzenanbaus

Die ökologische Bewertung des Energiepflanzenanbaus beschränkt sich auf die Wirkungskategorien Treibhauseffekt, Versauerung und Eutrophierung. Die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen), die bei Bereitstellung der untersuchten Energiepflanzen entstehen, sind in Abbildung 2.3.7 dargestellt und zeigen ein ähnliches Bild wie der KEA. Auch hier führt die Bereitstellung der Kornpflanzen zu den höchsten THG-Emissionen, und der LK Celle zeigt bei allen Kulturen eine schlechtere Treibhausgasbilanz als die LK Hildesheim und Göttingen.

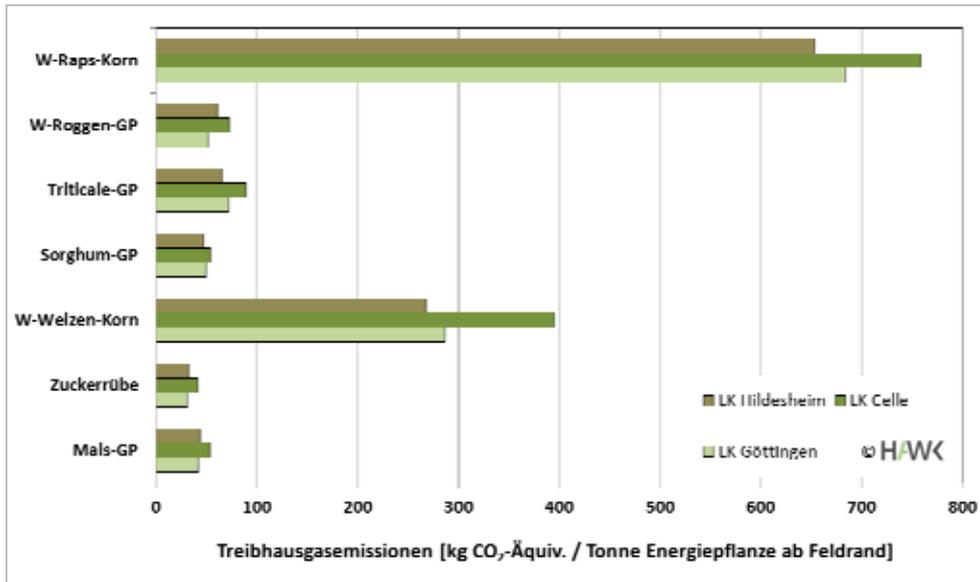


Abb. 2.3.7: Treibhausgasemissionen verschiedener Kulturen für den Ist-Stand.

Auch für die Wirkungskategorien Versauerung und Eutrophierung zeigt sich ein ähnliches Bild (vgl. Abb. 2.3.8 und Abb. 2.3.9). Auffälliger Unterschied ist jedoch, dass bei der Freisetzung versauernd wirkender Emissionen der Unterschied zwischen den LK Hildesheim und Göttingen zum LK Celle mit ca. 50 % mehr Emissionen in Celle deutlich größer ist als bei den Bewertungskriterien KEA, Treibhauseffekt und

Eutrophierung. Dies ist auf den hohen Anteil der Feldberegnung von ca. 50 % zurückzuführen. Ursache sind die Schwefelemissionen aus der für die Feldberegnung erforderlichen Dieselbereitstellung. Im Projektbericht der HAWK ist hierzu ein Vergleich zwischen diesel- und strombetriebenen Pumpen zur Feldberegnung dargestellt.

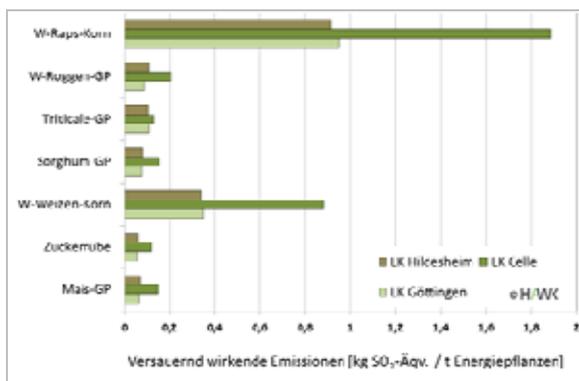


Abb. 2.3.8: Versauernd wirkende Emissionen verschiedener Kulturen für den Ist-Stand.

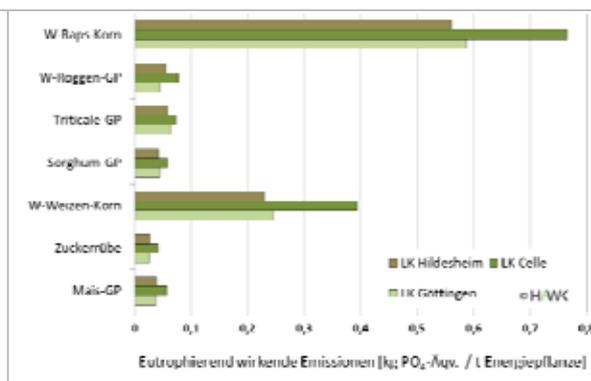


Abb. 2.3.9: Eutrophierend wirkende Emissionen verschiedener Kulturen für den Ist-Stand.

Weiterhin findet sich dort eine detaillierte Darstellung der Szenarien 2050 und 2100. Diese Bilanzergebnisse verhalten sich analog zu denen der energetischen Bewertung. Auch hier ist die Ertragsveränderung die bestimmende Größe.

Energetische und ökologische Bewertung verschiedener Bioenergietechnologiefade

Die energetischen und ökologischen Bewertungen verschiedener Bioenergien beziehen sich auf die Bereitstellung von Strom und Wärme in KWK sowie von Wärme und Kraftstoffen, bezogen auf einen Hektar Anbaufläche. Für die erzeugten Bioenergien wurde jeweils die verdrängte fossile Energie gutgeschrieben (z. B. Wärme aus Erdgas und Strom aus dem deutschen Strommix, bereinigt um erneuerbaren Energien). Die Bilanzergebnisse werden nachfolgend exemplarisch für die ökologische Bewertung und hierbei wird insbesondere die Wirkungskategorie des Treibhauseffektes dargestellt.

Ökologische Bewertung verschiedener Bioenergien

In Abbildung 2.3.10 ist das Treibhausgasminderungspotenzial der betrachteten Bioenergien für den Ist-Stand, bezogen auf einen Hektar Anbaufläche dargestellt. Die auf der x-Achse aufgeführten negativen THG-Emissionen zeigen deutlich, dass die Emissionen, die bei der Bereitstellung der Bioenergien freigesetzt werden, deutlich geringer sind als bei Nutzung fossiler Energieträger. Einzige Ausnahme bildet hier die Wärmebereitstellung mittels Sorghum-Biomethan-Gastherme. In diesem Fall sind die Emissionen der Bioenergiebereitstellung fast identisch mit denen der Bereitstellung der Wärme aus fossilem Erdgas (LK Hildesheim und Göttingen). Im LK Celle werden durch die Bioenergie sogar mehr Emissionen erzeugt. Dies ist mit der geringen Emissionsgutschrift für die Substitution von Wärme aus der Erdgas-Brennwert-Therme verbunden, da Erdgas an sich schon der klimafreundlichste fossile Energieträger ist. Außerdem ist die Aufbereitung und Einspeisung des Biomethans mit einem hohen energetischen Aufwand und damit auch mit der Freisetzung von Klimagasen verknüpft.

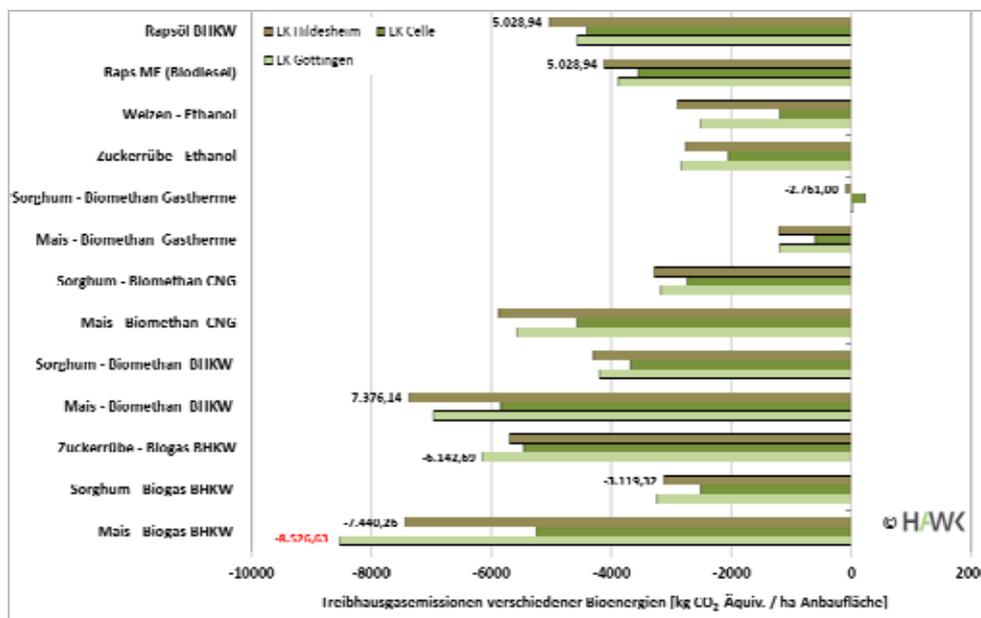


Abb. 2.3.10: Treibhausminderungspotenzial, bezogen auf einen Hektar Anbaufläche (Ist-Stand).

Die Bioenergie mit dem größten THG-Minderungspotenzial ist die dezentrale Verstromung von Biogas aus Mais im LK Göttingen mit ca. 8 500 kg CO₂-Äquivalenten pro Hektar Anbaufläche und im Landkreis Hildesheim mit ca. 7 440 CO₂-Äquivalenten pro Hektar Anbaufläche, direkt gefolgt von der zentralen Verstromung von Biomethan nach Aufbereitung und Einspeisung im LK Hildesheim. Grund für den Unterschied zwischen dem Biogas- und Biomethanszenario ist die unterschiedliche Wärmenutzungsrate im Biogasszenario in den untersuchten Landkreisen, die im LK Göttingen deutlich höher ist als im LK Hildesheim.

Im Vergleich der Biogaskulturen ist der Mais die Kultur mit der besten Klimagasbilanz, gefolgt von der Zuckerrübe und dem Sorghum. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Mais sowohl züchterisch als auch als Einsatzstoff in Biogasanlagen am weitesten erforscht und entwickelt ist. Weiterhin geht aus Abbildung 2.3.10 hervor, dass auch bei der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Bioenergieverfahren der LK Celle schlechter abschneidet als die LK Hildesheim und Göttingen.

Betrachtet man diese Bioenergien nun unter Berücksichtigung der klimabedingten Ertragsveränderungen bis 2100, allerdings ohne eine mögliche technologische Weiterentwicklung, so zeigt sich bei allen dieselbe Entwicklung wie bei den zu Grunde gelegten Energiepflanzen (vgl. Abb. 2.3.11). Dort, wo eine Zunahme der THG-Emissionen zu verzeichnen war, sinkt auch das THG-Minderungspotenzial bei der Betrachtung der vollständigen Bioenergieprozesskette. Dies wird insbesondere bei den Bioenergien aus Raps-Korn, wie zum Beispiel Biodiesel, deutlich. Hier sinkt das THG-Minderungspotenzial von -5 028 kg CO₂-Äquivalenten auf -2 616 kg CO₂-Äquivalente. Dies ist eine Reduzierung um fast 50 %. Umgekehrt zeigen hier alle Bioenergien, die auf Mais-GP und auf Zuckerrüben aus dem LK Hildesheim basieren, ein besseres Ergebnis für 2100 (z. B. Mais-Biogas-BHKW: Szenario Ist-Stand: -7 440,26 kg CO₂-Äquivalente, Szenario 2100: 8 373,73 kg CO₂-Äquivalente). Dies ist auf den höheren Maisertrag und damit auf die höhere Biogasmenge und die höheren Gutschriften für die Verdrängung der fossilen Energie zurückzuführen.

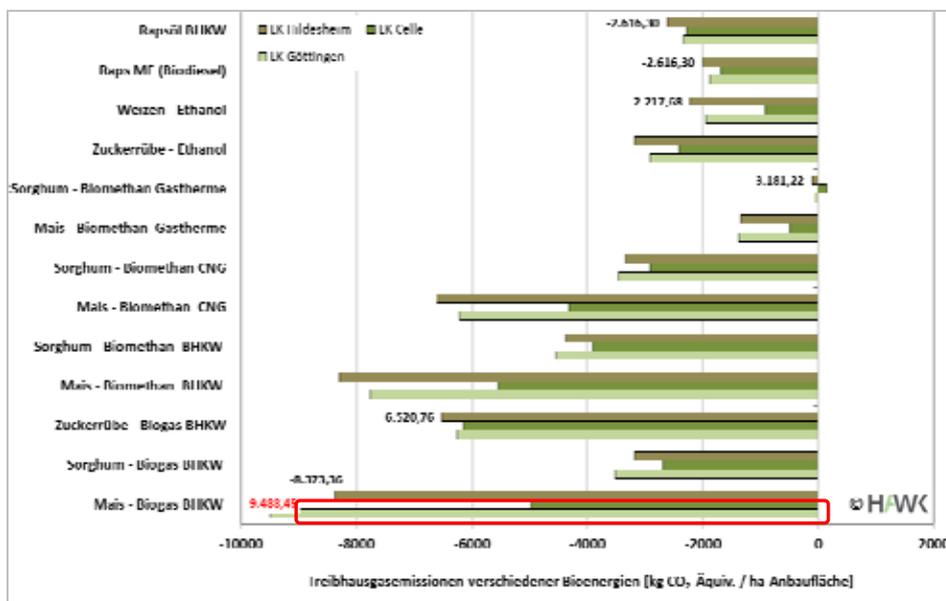


Abb. 2.3.11: Treibhausgasemissionen verschiedener Bioenergien, bezogen auf einen Hektar Anbaufläche: Szenario 2100 ohne Berücksichtigung eines technologischen Fortschritts.

Bezieht man nun den oben definierten möglichen technologischen Fortschritt mit in das Bilanzergebnis ein, so ergibt sich das in Abbildung 2.3.12 dargestellte Bild. Diese Bilanzergebnisse veranschaulichen, dass die Einbußen im THG-Minderungspotenzial durch einen möglichen Ertragsrückgang mehr als ausgeglichen werden können.

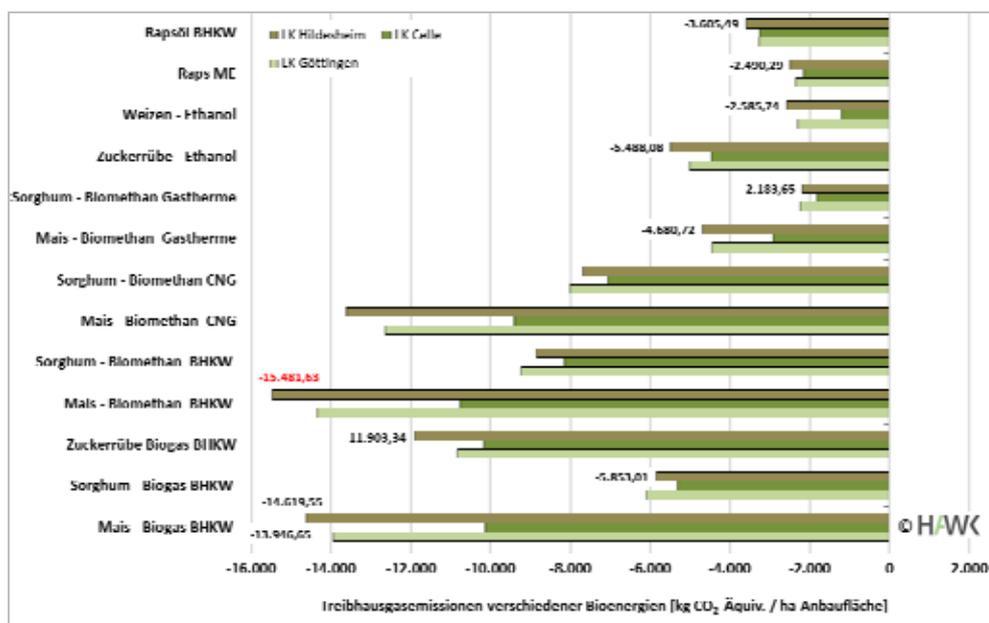


Abb. 2.3.12: Treibhausminderungspotenzial verschiedener Bioenergien, bezogen auf einen Hektar Anbaufläche: Szenario 2100 unter Berücksichtigung eines technologischen Fortschritts.

So kann bei der zentralen Verstromung von Biomethan aus Mais im LK Hildesheim allein durch den technologischen Fortschritt die THG-Emissionsminderung von ca. 10 t CO₂-Äquivalenten auf mehr als 18 t CO₂-Äquivalente pro Hektar Anbaufläche und Jahr gesteigert werden. Das entspricht einer Steigerung um ca. 45 %. Außerdem kann durch den sehr konservativ angesetzten technologischen Fortschritt auch die Wärmeabgewinnung mittels Sorghum-Biomethan-Gastherme eine positive Klimabilanz erreichen.

Im Vergleich der Bioenergien untereinander sind die KWK-Nutzungen, mit Ausnahme des Rapsöl-BHKW, die Bioenergien mit dem größten THG-Minderungspotenzial.

Die Bilanzierung der versauernd und eutrophierend wirkenden Emissionen dagegen zeigt insbesondere bei den Biogas- und Biomethan-technologien in allen Szenarien und auch unter Berücksichtigung eines technologischen Fortschritts höhere Emissionen als die fossilen Alternativen. Lediglich die Kraftstoffe Ethanol aus Weizen und Biodiesel führen zu weniger Emissionen als die konventionelle Dieselbereitstellung und -nutzung. Eine ausführliche Darstellung der Bilanzergebnisse ist im Projektbericht der HAWK zu finden.

2.3.5 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen zur Entwicklung klima- und standortangepasster Bioenergiekonzepte

Die Bilanzergebnisse zeigen, dass sich die klimabedingten Ertragszu- bzw. -abnahmen auf die energetische und ökologische Bewertung aller betrachteten Bioenergien auswirken. In der Regel wirkt sich ein steigender Ertrag positiv und ein sinkender Ertrag negativ auf die Bilanzergebnisse aus. Eine lineare Abhängigkeit der Ergebnisse von den Ertragsveränderungen besteht aber nicht, wie die Ergebnisse von Mais und Zuckerrübe im LK Hildesheim verdeutlichen. Die Fortschreibung der Bilanzen bis zum Jahr 2100 unter Berücksichtigung eines technologischen Fortschritts veranschaulicht, dass die Ertragsveränderungen im Vergleich zu den Auswirkungen des technologischen Fortschritts nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben. So können Bilanzverschlechterungen (z. B. Reduzierung des THG-Minderungspotenzials durch Ertragsabnahme) durch mögliche Effizienzsteigerungen (z. B. Steigerung der Biogasausbeute) mehr als kompensiert werden.

Der Vergleich der Bioenergien untereinander zeigte, dass die gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung mittels Biogas- und Biomethan-BHKW in allen betrachteten Szenarien die besten Energie- und Klimagasbilanzen aufweisen konnte. Damit kristallisiert sich diese Technologie als das Bioenergiekonzept, das pro Hektar Anbaufläche sowohl den höchsten Energieertrag als auch die beste Klimagasbilanz liefern kann, heraus. Im Gegensatz dazu stellt sich die Verstromung von Rapsöl in BHKW selbst mit Wärmenutzung deutlich schlechter dar. Bei der Betrachtung der versauernd und eutrophierend wirkenden Emissionen führten allerdings gerade die Biogas- und Biomethantechnologien zu Mehremissionen gegenüber den fossilen Alternativen. Hier zeigten sich wiederum die auf Raps basierenden Bioenergien von Vorteil, die jedoch zu den schlechtesten Energie- und Klimagasbilanzen führen. Außerdem ist Raps die Kultur, die den größten Ertragsrückgang bei den Szenarien 2050 und 2100 erreicht und dadurch auch die größte Bilanzverschlechterung aller Bewertungskategorien. Folglich kann unter Berücksichtigung aller Bewertungskriterien und ohne Gewichtung dieser untereinander kein Bioenergiekonzept als be-

sonders vorteilhaft oder besonders nachteilig identifiziert werden. Bei stärkerer Gewichtung von Energieeffizienz und Klimaschutzzielen, die derzeit im stärksten öffentlichen und politischen Interesse stehen, wären Biogas- bzw. Biomethan-BHKW zu favorisieren. Versauerung und Eutrophierung sind lokale Effekte. Deshalb muss bei der Planung eines Bioenergievorhabens geprüft werden, in wie weit in der bevorzugten Region bereits Probleme hinsichtlich überdüngter bzw. versauerter Böden und Gewässer auftreten, und hier müssen ggf. Entscheidungen für andere Bioenergiepfade fallen.

Weiterführende Bewertungen hinsichtlich anderer Wirkungskategorien, wie Biodiversität oder Veränderungen des Landschaftsbildes durch die vermehrte Nutzung bestimmter Energiepflanzen (z. B. Energiemais), wurden in dem zu Grunde gelegten Forschungsprojekt nicht durchgeführt.

Weiterhin wurden im Rahmen des Projektes keine standortspezifischen Daten zu lignozellulosehaltiger Biomasse ermittelt. Daher berücksichtigen die an der HAWK durchgeführten Bilanzierungen für diese Energieträger weder regionale Unterschiede noch Folgen des Klimawandels. Die ausschließlich literaturbasierten Berechnungen zeigen aber, dass die Biogasproduktion aus Mais deutlich energie- und nährstoffintensiver ist als die Nutzung schnellwüchsiger mehrjähriger Gräser und Gehölze. Diese Ergebnisse werden auch durch andere Projekte, wie zum Beispiel das GHG-europe, bestätigt (VTI 2011). Zur Beurteilung des regionalspezifischen Anbaus lignozellulosehaltiger Biomasse unter Berücksichtigung des Klimawandels sowie deren energetischer Nutzung sollten in Folgeprojekten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden.

2.3.6 Literatur und Datenquellen

- GUINEÉ, J. (2001): Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. – Final report, Centre of Environmental Science; Leiden University (CML).
- IPCC (2007): WGI Fourth Assessment Report. – <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml>, letzter Zugriff: 20. Februar 2011.
- ISO (2006a): DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement Ökobilanz, Grundsätze und Rahmenbedingungen. – Deutsches Institut für Normung (DIN); Berlin (Beuth).
- ISO (2006b): DIN EN ISO 14044: Umweltmanagement Ökobilanz, Anforderungen und Anleitungen. – Deutsches Institut für Normung (DIN); Berlin (Beuth).
- KTBL - KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (2009): Faustzahlen Biogas. – Darmstadt.
- PE-INTERNATIONAL (2007): Datenbank und Dokumentation der Ökobilanzsoftware GaBi 4.3. – Leinfelden-Echterdingen.
- VDI (2000): Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung. VDI 2067. – Verein Deutscher Ingenieure e. V.; Düsseldorf.
- VDI (1997): Kumulierter Energieaufwand, Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. VDI 4600. – Verein Deutscher Ingenieure e. V.; Düsseldorf.
- VTI (2011): Energiepflanzen sind unterschiedlich klimafreundlich. – Pressemitteilung vom 19.04.2011 des Johann-Heinrich-von-Thünen-Instituts; Braunschweig.

2.4 Integrative Flächenbewertung zur Ausweisung von potenziellen Standorten für Bioenergieanlagen und Analyse der Anbauflächenpotenziale der Metropolregion

DOMINIKA LESSMANN

Zusammenfassung

In Zeiten des intensiven Ausbaus von erneuerbaren Energien gewinnt der Aspekt der raumplanerischen Steuerung dieser Entwicklung an Bedeutung. Im Rahmen des Projektes wurde eine Methodik zur Ausweisung von Vorzugsflächen für die Bioenergieanlagenstandorte, insbesondere Biogasanlagen, entwickelt. Darüber hinaus wurden die Ackerflächenpotenziale im Hinblick auf die Energiepflanzenutzung in der Metropolregion analysiert.

2.4.1 Zielsetzung

Neben dem klimaabhängigen Aspekt des Ausbaus von Energiepflanzen, der durch die Projektpartner LBEG und IZNE erarbeitet wurde, stand bei den Arbeiten der Firma GEO-NET Umweltconsulting GmbH die Ermittlung der Potenziale für Bioenergieanlagenstandorte und Anbauflächen aus fachplanerischer Sicht im Fokus. Hierbei wurden die Konflikte zwischen der Bioenergieproduktion und anderen Nutzungsansprüchen an den Raum analysiert. Die

Ausweisung von Flächen für Bioenergiekonzepte wurde unter Berücksichtigung der Ziele der Raumplanung und anderer Nutzungen bzw. der Schützgüter durchgeführt.

Zusätzlich wurden die energetischen Potenziale, die mit der zur Verfügung stehenden Anbaufläche vorhanden sind, erarbeitet. Diese Analyse liefert eine Hilfestellung zur Festlegung des Anteils von Energiepflanzen, der zu dem Ziel der Metropolregion, „100%-Erneuerbare-Energien-Region“ zu werden, beitragen kann.

2.4.2 Derzeitiger Anlagenbestand und Anbauflächennutzung

Um sowohl der Frage nach potenziellen neuen Anlagenstandorten nachgehen zu können als auch die Energiepflanzenpotenziale in der Metropolregion analysieren zu können, war es wichtig, den derzeitigen Anlagenbestand und die derzeitige Ackerflächennutzung zu erfassen. Die mit Abstand am häufigsten auftretenden Bioenergieanlagen in der Metropolregion sind die Biogasanlagen. Das kann bereits auf den ersten Blick auf der im Rahmen des Projektes erstellten Karte erkannt werden (Abb. 2.4.1). Die Holzheizanlagen sind ebenfalls stark vertreten, dazu kommen drei Biomethananlagen und einige Ölmühlen, deren Öl zur Biokraftstoffproduktion genutzt wird (eigene Erhebung aus den Jahren 2008 und 2009).

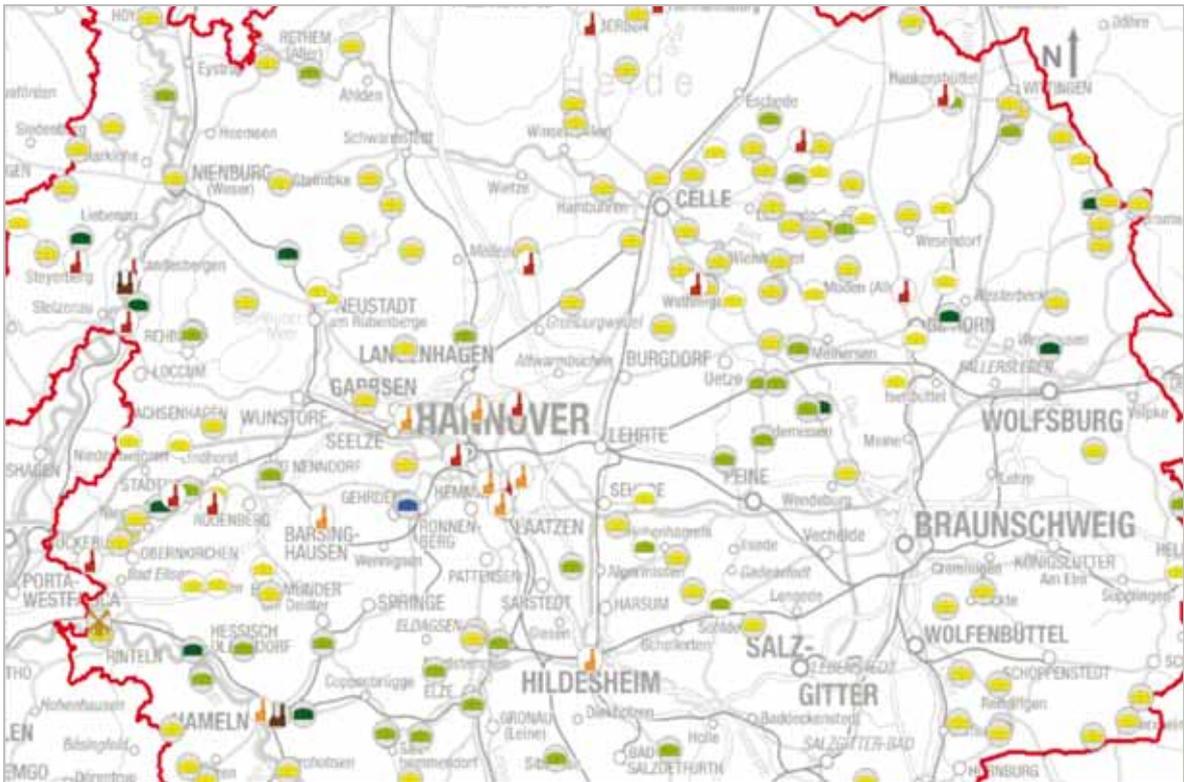


Abb. 2.4.1: Ausschnitt aus der interaktiven Karte der Bioenergieanlagen in der I+K-Plattform (<http://www.klimafolgenmanagement.de>). Die gelben und grünen Symbole kennzeichnen die Biogasanlagen (Quelle der topographischen Karte: LGLN 2011).

Die höchste Biogasanlagendichte besteht in den nordöstlichen Landkreisen Soltau-Fallingb., Celle und Gifhorn. Im Landkreis Osterode am Harz sowie in den Städten Braunschweig und Salzgitter gibt es noch keine Biogasanlagen (Abb. 2.4.2).

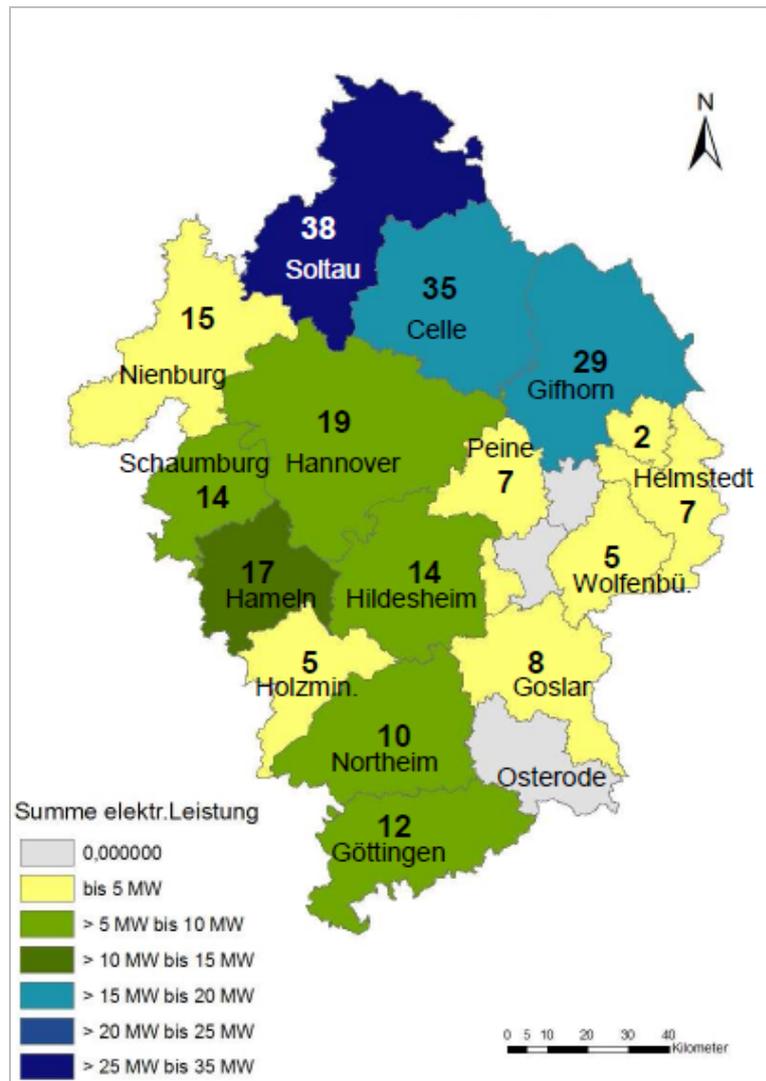


Abb. 2.4.2: Biogas- und Biomethananlagenzahl und die installierte elektrische Leistung pro Landkreis (eigene Datenerhebung aus den Jahren 2008 und 2009). Für die Biomethananlagen wurde der Energiegehalt der pro Stunde produzierten Biomethanmengen berechnet und daraus eine theoretische elektrische Leistung der Anlagen errechnet (angenommene Parameter: 9,94 kWh/m³ Methan, el. Wirkungsgrad: 37 %). Somit konnten die Biomethananlagen, bei denen kein Strom vor Ort produziert wird, zu der elektrischen Leistung der Biogasanlagen dazugerechnet werden.

Die Biogaskulturen der bestehenden Biogas- und Biomethananlagen nehmen in der Summe für die Metropolregion eine Ackerfläche von rund 58 830 ha ein. Das konnte aus der eigenen Erhebung und mithilfe gewisser Annahmen sowie unter Berücksichtigung der Wirtschaftsdüngernutzung errechnet werden. Die Annahmen betrafen vor allem die Substrate. In Fällen, in denen keine Daten erhoben werden konnten, wurde von 85 % Maissilage und 15 % Winterroggen-GPS in der gesamten pflanzli-

chen Substratmasse ausgegangen. Der Wirtschaftsdüngeranteil (Schweine- und Rindergülle und Hühner trockenkot) schwankte je nach Größe der Anlage zwischen 5 % und 30 % der Gesamtinputmasse.

Die Größe der Anbaufläche für die Biokraftstoffproduktion wurde aus den Daten für Niedersachsen abgeleitet. In Niedersachsen wird Raps für die Bereitstellung von Biodiesel auf ca. 45 000 ha, d. h. auf 30 % der gesamten

Rapsanbaufläche angebaut (ML, MU, 3N 2010; LSKN 2008). Ableitend für die Metropolregion wurden 30 % der Rapsfläche jedes Landkreises für den Energieraps angenommen. In der Summe für die ganze Metropolregion ergibt sich eine Fläche von 24 420 ha. Die Anbaufläche von Getreide und Zuckerrüben für die Bioethanolproduktion beträgt in Niedersachsen 15 000 ha. Das entspricht 1,5 % der gesamten Ackerfläche dieser Kulturen (ML, MU, 3N 2010). Für die Landkreise der Metropolregion wurde der gleiche Flächenanteil dieser Kulturen angenommen, was in der Summe rund 7 500 ha ausmacht. Die Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind im südlichen Niedersachsen noch nicht so stark vertreten wie im Norden und werden in der Metropolregion auf 170 ha (LWK 2011) angebaut. Die Energiepflanzen nehmen insgesamt 11 % der Ackerfläche der Metropolregion ein. Während die Biogaskulturen vor Ort in den Anlagen genutzt werden, können Raps bzw. Rüben auf weiteren Strecken ex- und importiert werden.

2.4.3 Integrative Flächenbewertung

Die rasante Entwicklung der Bioenergiebranche in den vergangenen Jahren ist in unserer Landschaft sichtbar geworden. Es sind vor allem die Biogasanlagen mit ihren Maisfeldern, die uns auf den ersten Blick die Veränderung deutlich machen. Kritisiert werden dabei zum einen die Monokulturen und die allgemeine Intensivierung des Anbaus. Zum anderen werden die Anlagen in unmittelbarer Nachbarschaft einer Ortschaft oft nicht gewünscht, weil die Bewohner einen unangenehmen Geruch bzw. eine Brandgefahr befürchten. Auf der anderen Seite sind positive Effekte zu beobachten. Die Züchtung von Energiepflanzen macht Fortschritte. Bereits heute wird der Mais oft in den Fruchtfolgen mit anderen Kulturen angebaut. Und es gibt Beispiele an erfolgreichen Bioenergiedorfprojekten, mit denen sowohl die Betreiber als auch die Einwohner zufrieden sind.

Der Erfolg eines Bioenergieprojektes hängt von einer guten Steuerung des Projektes von Beginn an ab. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die Standortplanung der Anlage. Im Folgenden wird der im Rahmen des Projektes erstellte Leitfaden zur Ausweisung von Vorzugsflächen für Bioenergieanlagen vorgestellt.

Methodik

Die Flächenanalyse geschieht hinsichtlich der Anlagenstandorte und der Anbauflächen. Während die potenziellen Anlagenstandorte auf einer Karte angezeigt werden können, werden die Anbauflächen in den jeweiligen Einzugsgebieten der potenziellen Anlagenstandorte bewertet. Es können nämlich keine Anbauflächen für die Energiepflanzen in einer Karte scharf markiert werden. Es können keine allgemeinen Kriterien genannt werden, die es erlauben würden, eine Fläche für Energiepflanzen statt für andere Kulturen zu bevorzugen.

Es wird in erster Linie davon ausgegangen, dass ein geeigneter Anlagenstandort in jedem Fall die Belange des Natur- und Wasserschutzes sowie das Wohlbefinden von Menschen nicht beeinträchtigt. Die Konkurrenzen in der Flächennutzung sollten dabei ausgeschlossen bzw. minimal gehalten werden. Zu ihrer Identifikation wurde ein Kriterienkatalog erstellt, mit dessen Hilfe sich folgende Flächen unterscheiden lassen:

- **Negativflächen:**
Flächen, die für den Bau einer Bioenergieanlage ausgeschlossen werden. Im Falle des Baus einer Anlage würden starke Konflikte zu anderen Nutzungsansprüchen an den Raum auftreten.
- **Bedingt geeignete Flächen:**
Sie charakterisieren sich durch eventuelle Nutzungskonflikte schwächerer Art. Die Eignung der Fläche als Anlagenstandort hängt jeweils vom Anlagentyp und von der genaueren Einzelfallprüfung vor Ort ab.
- **Positivflächen:**
Flächen mit einer oder mehreren Vorzügen im Bezug auf eine konkrete Bioenergieanlagenart.

Eine Fläche kann als Positivfläche allerdings nur dann klassifiziert werden, wenn sie nicht gleichzeitig auch die Kriterien einer Negativfläche aufweist. Wenn eine Positivfläche die Eigenschaften einer bedingt geeigneten Fläche besitzt, müsste in der Praxis zunächst eine Prüfung erfolgen, ob und inwiefern die Anlage das Gebiet negativ beeinflussen könnte. Erst nachdem eine negative Beeinflussung ausgeschlossen wird, kann der konkrete Standort als Positivfläche betrachtet werden.

Auf den restlichen Flächen werden weder Nutzungskonflikte noch positive Aspekte für den Bau einer Anlage identifiziert. Sie werden Neutralflächen genannt. Sie können bei einer genaueren Betrachtung (die durch die angewandten Kriterien hier nicht möglich ist) je nach Region und die dort herrschenden speziellen Bestimmungen, je nach Anlagenart oder geplante Änderungen im Raumordnungsplan für eine Bioenergieanlage geeignet sein oder nicht.

Im Rahmen des Projektes wurden die Negativflächen und die bedingt geeigneten Flächen für die ganze Metropolregion identifiziert und das Ergebnis in der interaktiven Karte „Optimierte Standortplanung“ in der I+K-Plattform dargestellt. Die Kriterien, die bei dieser Identifizierung genutzt wurden, betreffen die Bewertung des Standorts für die Bioenergieanlagen, unabhängig von der Art der Anlage (Tab. 2.4.1). Die Ausweisung von Positivflächen erfordert eine genauere Prüfung und eine aufwendige Datenerhebung, so dass sie im Rahmen des Projektes in den Modellräumen für Biogas- und Biomethananlagen durchgeführt wurde.

Tab. 2.4.1: Kriterien (Flächennutzungsformen) zur Ausweisung von Negativflächen und bedingt geeigneten Flächen.

Negativflächen	Bedingt geeignete Flächen
Kriteriumsgruppe Natur	
Forstflächen Gebiete zur Vergrößerung des Waldanteils Naturschutzgebiete Nationalparks FFH-Gebiete Vogelschutzgebiete Naturdenkmalflächen Grünland und Moor	Landschaftsschutzgebiete Gebiete zur Verbesserung der Landschaftsstruktur und des Naturhaushalts
Kriteriumsgruppe Wasser	
Oberflächengewässer Hauptgewässerrauen Überschwemmungsgebiete Trinkwasserschutzgebiete: Zonen I und II Heilquellenschutzgebiete: Zonen I und II	Trinkwasserschutzgebiete: weitere Zonen Heilquellenschutzgebiete: weitere Zonen Trinkwassergewinnungsgebiete
Kriteriumsgruppe Mensch und Siedlung	
Wohnbauflächen Vorranggebiete für Siedlungsentwicklung Sport- und Freizeitanlagen Gärten und Gedenkflächen	Vorranggebiete für Erholung Vorranggebiete für Freiraumfunktion
Kriteriumsgruppe Sonstiges	
Vorranggebiete für Rohstoffgewinnung Messegelände Sperrgebiete Bergbaugelände	

Zusätzlich wurden Schutzpuffer bei folgenden Flächen angenommen:

- 100 m Puffer um Waldflächen (Bebauungsabstand aus dem RROP, REGION HANNOVER 2005),
- 50 m Puffer um Oberflächengewässer (Mindestabstand für die Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle und Silagesickersäften von Oberflächengewäs-

sern aus VAWS 1997, Anhang 1 zu § 1 Nr. 1),

- 300 m Puffer um Wohnbauflächen (Mindestabstand bei geschlossenen Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen aus TA Luft 2002, Nr. 5.4.8.6.1a).

Zur Identifizierung der Positivflächen wurden folgende Kriterien ausgewählt:

- für die Biogasanlagen: die Nähe zu potenziellen Wärme- bzw. Kälteabnehmern,
- für die Biomethananlagen: die Nähe eines Gasnetzes, in das Biomethan eingespeist werden kann.

Als optimale Entfernung der Anlage zu den erwähnten Wärme- bzw. Gasabnehmern wurde ein Abstand von bis zu 1 km angenommen (Voss 2008). Zu den potenziellen Wärme- bzw. Kälteabnehmern wurden gezählt:

- Dörfer mit einer Einwohnerzahl zwischen 450 bis 1 100 als potenzielle Bioenergie-dörfer. Kleinere Gemeinden könnten Schwierigkeiten haben, die Kosten für eine Energieanlage zu tragen. Bei einer viel größeren Einwohnerzahl könnte es problematisch werden, alle in das Projekt mit einzubeziehen und über den Verlauf zu informieren (Ruppert et al. 2008).
- Gebäudekomplexe und Einrichtungen, die einen Wärme- bzw. Kältebedarf aufweisen und sich am Rande einer Ortschaft befinden. Die typischen Wohngebäude (einzelne Siedlungen) werden hier nicht berücksichtigt. Die Lage der Wärmeabnehmer am Rande einer Ortschaft ist für das Verlegen eines Wärmenetzes aus technischen und finanziellen Gründen von Vorteil.

Zu diesen Gebäudekomplexen und Einrichtungen zählen:

- Schulkomplexe (mindestens zwei in unmittelbarer Nähe zu einander liegende Schulen oder eine Schule und ein Kindergarten, die fast immer eine oder mehrere Sporthallen besitzen und nicht selten über einen Schwimmbad verfügen),
- Seniorenheime, Hotels und spezielle Wohneinrichtungen,
- Krankenhäuser,
- Industrie und Gewerbe. Hier kann entweder die Prozesswärme bzw. -kälte geliefert werden, oder die Produktionshallen und Büroräume können mit der Abwärme beheizt werden,
- Verwaltungsgebäude,
- Veranstaltungshallen,
- Frei- und Hallenbäder,
- Einkaufszentren (Supermärkte).

Die in unmittelbarer Nähe zueinander liegenden potenziellen Energieabnehmer werden zusammengefasst und als ein Abnehmerkomplex betrachtet. Damit soll gewährleistet sein, dass die anfallende Wärme zu einem möglichst hohen Grad ausgenutzt wird. Das heißt jedoch nicht, dass die Wärme in gleichem Maße sowohl im Sommer als auch in den Wintermonaten verbraucht wird. Kleinere Abnehmer, beispielsweise einzelne Schulgebäude oder kleine Supermärkte, werden nicht berücksichtigt, weil ihr Wärmebedarf als zu niedrig eingeschätzt wird. Die Ausweisung von Positivflächen stellt die potenziellen Möglichkeiten der Abwärmeebenutzung dar. Ob ein entsprechender Wärmebedarf wirklich besteht bzw. ob der potenzielle Abnehmer nicht bereits über ein nachhaltiges Wärmekonzept verfügt, muss in jedem Fall genauer geprüft werden.

Für die Biomethaneinspeisung wurden die Gasnetze, die innerhalb der Ortschaften verlaufen, d. h. in den meisten Fällen die Niederdrucknetze ($\leq 0,1$ bar), aufgrund der zu geringen Kapazität ausgeschlossen. Gibt es an einem Standort zwei oder mehrere Netze, in die theoretisch eingespeist werden kann, sollte das Netz gewählt werden, bei dem die Kapazität nicht zu knapp ist, um eine Rückspeisung zu vermeiden (MEYER-PREYSCHER 2010). Verbindet ein Mitteldrucknetz (0,1–1 bar) Ortschaften in der Größenordnung von insgesamt mindestens ca. 20 000 Einwohnern, so ist es wahrscheinlich, dass bei einer Einspeisung sowohl die Kosten für eine Verdichterstation entfallen oder gering gehalten werden können und die Gasabnahme gesichert ist (DOLLMANN 2010). Im Rahmen des Projektes wurde jedoch eine Prüfung der Kapazitäten an den potenziellen Standorten nicht vorgenommen.

Kartendarstellung und -interpretation

Ein Standort kann sowohl die Kriterien einer Negativfläche als auch einer bedingt geeigneten Fläche oder/und einer Positivfläche aufweisen. Beispielsweise kann es zu Überschneidungen eines Ein-km-Gasnetzpuffers mit einer Wohnbaufläche oder eines Landschaftsschutzgebietes mit einer Waldfläche kommen. Es sind verschiedene Überschneidungen denkbar und sie treten relativ oft auf. Die Methodik sieht jedoch vor, trotz Überschneidungen jeweils eine eindeutige Zuordnung zu einer der drei Kategorien zu ermöglichen. Weist eine Fläche ein oder mehrere Negativkriterien auf, so wird sie eindeutig als Negativfläche definiert. Eine Überschneidung mit weiteren Flächen hat dann

keine Bedeutung mehr. Weist eine Fläche die Kriterien einer bedingt geeigneten Fläche sowie einer Positivfläche auf, so wird sie als bedingt geeignet definiert, wobei die Positivkriterien, die dort wirken, für die Standortbewertung von Bedeutung bleiben. Nur wenn eine Positivfläche sich mit keiner anderen Kategorie überschneidet, wird sie eindeutig als Positivfläche definiert und in der Karte als solche angezeigt. In der Karte sind die drei Flächenkategorien farblich unterschiedlich dargestellt. Durch die erwähnten Überschneidungen besteht die Karte aus Ebenen. Die obere Ebene (Negativflächen) ist durch keine andere überlagert, während die Positivflächen die untere Ebene darstellen (Abb. 2.4.3).

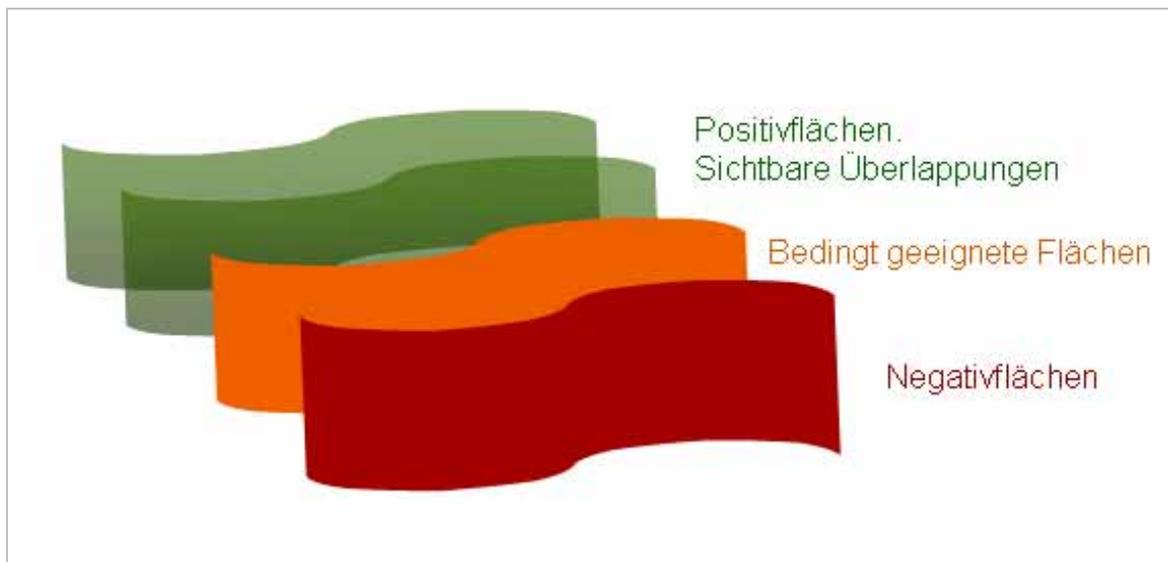


Abb. 2.4.3: Schema der Überschneidungen und der Sichtbarkeit der Flächenkategorien in der Karte „Optimierte Standortplanung“ in der I+K-Plattform.

Beispielbetrachtung

Die folgenden Abbildungen stellen Ausschnitte aus der in der Internetplattform des Projektes veröffentlichten Karte „Optimierte Standortplanung“ für den Modellraum Uetze dar. Dazu zählen die Gemeinde Uetze mit ihren Nachbargemeinden. Am Beispiel eines ausgewählten Standorts für Biomethaneinspeisung (Abb. 2.4.5) wird eine vertiefte Flächenanalyse, die mithilfe dieser interaktiven Karte möglich ist, präsentiert.

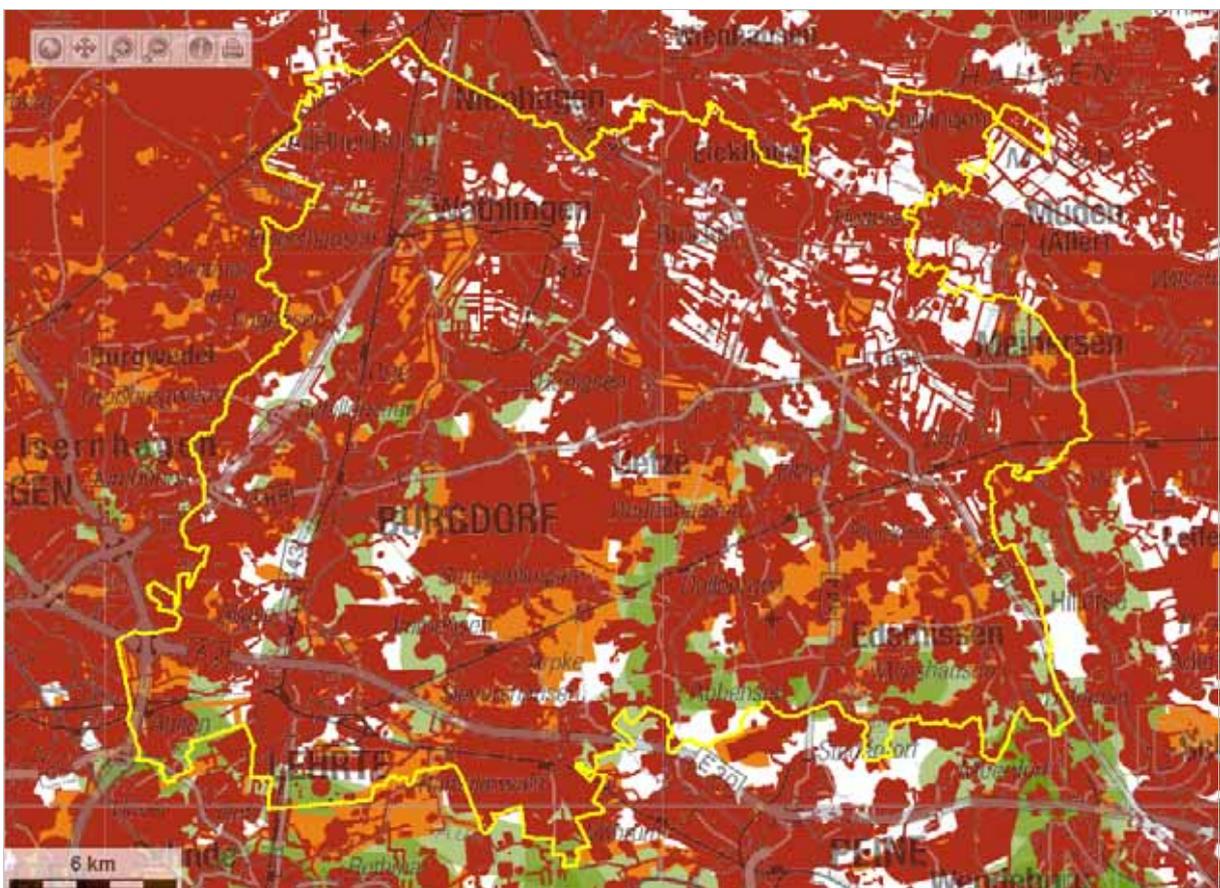


Abb. 2.4.4: Ausschnitt aus der Karte „Optimierte Standortplanung“ in der I+K-Plattform. Die grünen Flächen stellen die Positivflächen für die Biomethananlagen dar. Ausgewählter Modellraum: Gemeinde Uetze mit den umliegenden Gemeinden (Quelle der topographischen Karten: LGLN 2011).

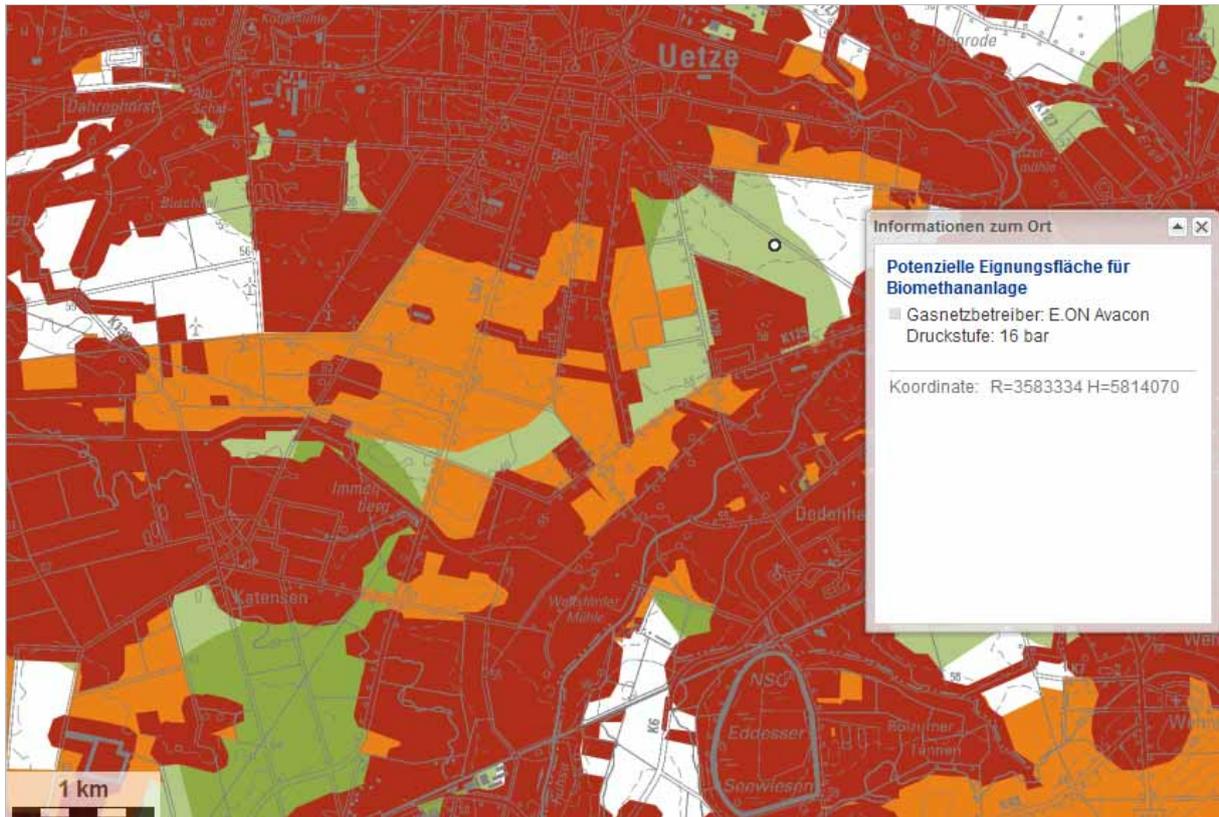


Abb. 2.4.5: Ausschnitt aus der Karte „Optimierte Standortplanung“ in der I+K-Plattform. Die grünen Flächen stellen die Positivflächen für die Biomethananlagen dar. Der ausgewählte Standort südöstlich von Uetze weist eine Möglichkeit der Biomethaneinspeisung in ein 16-bar Netz auf (Quelle der topographischen Karten: LGLN 2011).

Die erarbeiteten Kartenfunktionalitäten erlauben, die Anbauflächen im Einzugsgebiet einer potenziell auf diesem Standort errichteten Anlage zu bewerten. Es müssen im Vorfeld die Leistung der Anlage (bei den Biomethananlagen die pro Stunde einzuspeisende Biomethanmenge) und die Substratmischung gewählt werden. Mit Hilfe dieser Informationen werden das Einzugsgebiet und die pro Jahr benötigte Anbaufläche festgelegt (Abb. 2.4.6).

Anlagenstandort hinsichtlich der Anbaubedingungen überprüfen

Daten zur Anlage	Ergebnis der Prüfung
Art der geplanten Anlage: Biomethananlage	Art der Anlage: Biomethananlage
geplante Leistung der Anlage: 300 m³/h	Leistung der Anlage: 300 m³/h
Annahme zur Substratzusammensetzung: Energiepflanzen	Substratzusammensetzung: Energiepflanzen
geplanter Standort der Anlage (GK3)	Standort der Anlage: 3583321 5814028
Rechtswert: 3583321	Benötigter Flächenbedarf: 520 ha
Hochwert: 5814028	Einzugsgebiet der Anlage: 13 km
Koordinaten ermitteln	Ergebnis der Prüfung: Ausreichend Anbaufläche im Einzugsgebiet
Standort testen	Ertragsprognosen: (Vergleich vom Durchschnittsszenario 2021 bis 2050 mit den gegenwärtigen Erträgen)
	Mais: -18% Winterroggen: +1% Zuckerrübe: -4% Topinambur: -1% Grünroggen: +6% Triticale: +1%
	Ackerflächen in der Karte anzeigen

Abb. 2.4.6: Das Eingabe- und Ergebnisfenster zur Karte „Optimierte Standortplanung“ in der I+K-Plattform. Links können die Art der Anlage und ihre Substratzusammensetzung gewählt werden. Im Falle von Biomethananlagen wird die pro Stunde produzierte Biomethanmenge gewählt. Rechts werden der Radius des für die Anlage bestimmten Einzugsgebietes und die benötigte Anbaufläche angegeben. Die im Hintergrund laufende Berechnung liefert die Aussage über die Verfügbarkeit der Anbaufläche und die Ertragsänderung im Einzugsgebiet.

Die Verfügbarkeit der Ackerfläche im Einzugsgebiet wird überprüft. Die derzeitigen Anbauflächen von Energiepflanzen werden von den Ackerflächen im Einzugsgebiet abgezogen. Darüber hinaus werden maximal 30 % der gesamten Ackerfläche im Einzugsgebiet für den Anbau von Energiepflanzen allgemein zugelassen. Das kann mit folgender Formel veranschaulicht werden:

$$\text{Verfügbare Ackerfläche (AF)} = 30 \% \text{ AF im Einzugsgebiet} - \text{AF derzeitiger BGA} - \text{AF für Biokraftstoff (pauschal 5 \% AF)}$$

Die Anbauflächen der derzeit bestehenden Bioenergieanlagen konnten mit Hilfe der erhobenen Daten und eines entwickelten theoretischen Flächenmodells zur Markierung dieser Flächen in der Karte berechnet werden. Zusätzlich zur Berechnung der zur Verfügung stehenden Anbaufläche erfolgt die Auswertung der klimabedingten Ertragsänderungen für das Einzugsgebiet. Das Ergebnis dieser Auswertung wird für verschiedene Biogaskulturen angezeigt. Es wird auf die Ergebnisse zu Ertragsprognosen des LBEG zurückgegriffen. Abschließend kann der Nutzer dieser Karte die Ansicht der Ackerflächen zusammen mit verschiedenen Schutzgebieten aktivieren. Er kann somit eine erste Einschätzung darüber vornehmen, wo es eventuell zu gewissen Anbau-einschränkungen aufgrund der Überschneidung mit den Schutzgebieten kommen könnte.

2.4.4 Anbauflächenpotenziale

Die Berechnung der Flächenverfügbarkeit wurde, ähnlich wie für die Einzugsgebiete, ebenfalls auf Landkreisebene und für die ganze Metropolregion unter der Berücksichtigung der Wirtschaftsdüngerpotenziale durchgeführt. Dabei wurde auf die Daten zum derzeitigen Energiepflanzenanbau zurückgegriffen. Es wurden zwei Flächenszenarien betrachtet: 20 % und 30 % der Ackerfläche als maximale Flächengröße für den Anbau von Energiepflanzen. Mit Hilfe dieser Szenarien wurden sowohl das nach Abzug der heutigen Nutzung verbleiben-

de Flächen- und Energiepotenzial als auch das gesamte energetische Potenzial errechnet.

Während im 30%-Flächenszenario das Potenzial in keinem der Landkreise ausgeschöpft ist, werden im 20%-Flächenszenario im Landkreis Celle bereits heute (mit den getroffenen Annahmen) mehr Flächen mit Energiepflanzen angebaut, als das Szenario es erlaubt (Abb. 2.4.7). In der Gesamtschau für die ganze Metropolregion ist das verbleibende Flächenpotenzial aber auch bei 20 % der verfügbaren Ackerfläche noch nicht ausgeschöpft und beträgt rund 66 550 ha.

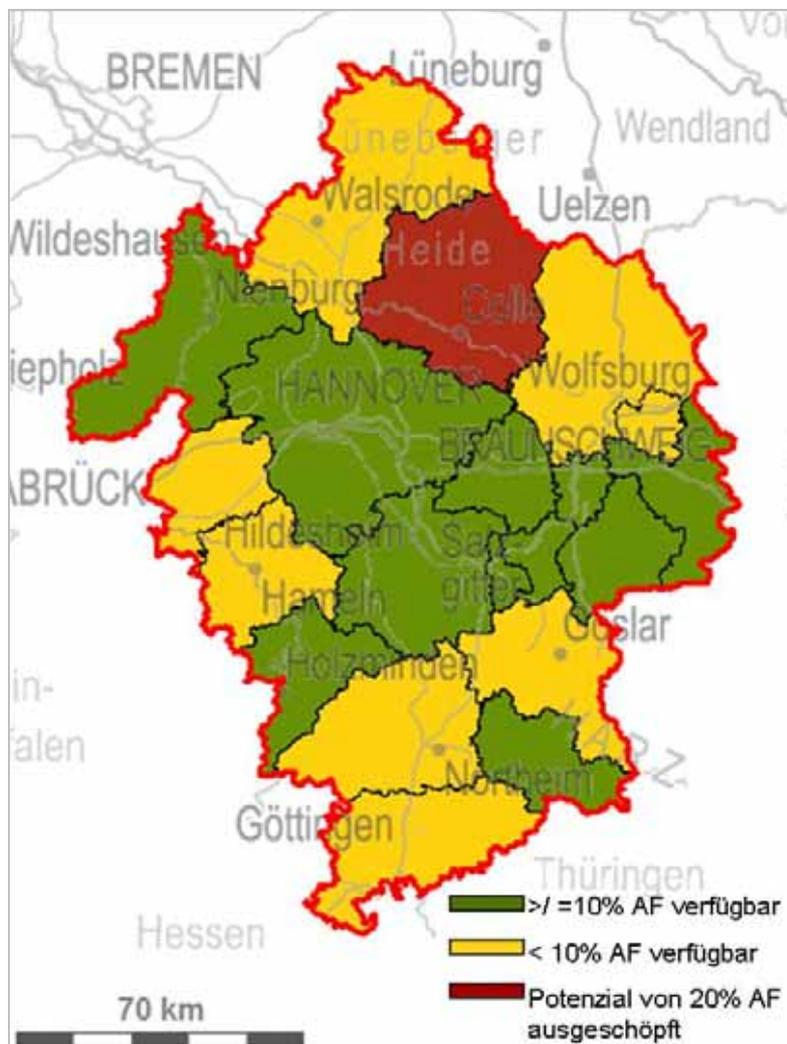


Abb. 2.4.7: Das verbleibende Flächenpotenzial pro Landkreis beim 20%-Flächenszenario.

Spannend bleibt die Frage, wieviel Energie mit dem zur Verfügung stehenden Potenzial produziert werden kann und wieviel des Energiebedarfs damit gedeckt werden kann. Diese Aussagen werden im Folgenden für das Gesamtpotenzial, d. h. inklusive der heutigen Energiepflanzennutzung, gemacht. Die jeweiligen Energieverbräuche wurden aus den Pro-Kopf-Verbräuchen der BRD (BMU 2010, STBA 2011, LSKN) auf den Raum der Metropolregion umgerechnet.

Die bestehenden Biogas- und Biomethananlagen erzeugen jährlich rund 1 070 GWh Strom (eigene Erhebung). Das sind ca. 4 % des heutigen Stromverbrauchs der Metropolregion. Unter der Annahme, dass etwa die Hälfte der Abwärme genutzt wird, werden etwa 420 GWh, d. h. rund 0,5 % des heutigen Wärmebedarfs gedeckt. Der jährliche Anbau von Energieraps liefert mit den durchschnittlichen Erträgen (LSKN 2008) etwa 78 145 t Rapssaat. Damit lassen sich etwa 28,9 Mio. Liter Biodiesel herstellen (Verhältnis der Ölmenge zur Saatmenge 1 : 3, aus eigener Datenerhebung im Rahmen der Anlagenerhebung). Der Energiegehalt beträgt 262 GWh (ARBEITSGEMEINSCHAFT QUALITÄTSMANAGEMENT BIODIESEL E. V.), was rund 1 % des gesamten Kraftstoffverbrauchs entspricht. Auf jeweils 3 750 ha Ackerfläche können durchschnittlich 224 250 t Rüben und 24 750 t Getreide geerntet werden (LSKN 2008). Damit können etwa 31,6 Mio. Liter Bioethanol produziert werden (ENERGIE SCHWEIZ). Energetisch liefert die Kraftstoffmenge 190 GWh (ARBEITSGEMEINSCHAFT QUALITÄTSMANAGEMENT BIODIESEL E. V.), d. h. 0,6 % des heutigen Kraftstoffverbrauchs. Insgesamt beträgt der Anteil des Biokraftstoffs am Gesamtkraftstoffverbrauch ca. 1,5 %.

Wird bei dem Gesamtpotenzial nur die Produktion von Strom aus Biogas betrachtet, so können mit dem 20%-Flächenszenario rund 8 % des heutigen Strombedarfs gedeckt werden. Wird die ganze Abwärme genutzt, so kann sie rund 3 % des heutigen Wärmebedarfs decken. Diese Berechnung basiert auf der Annahme, dass zu der heutigen Biogasproduktion auf den noch zur Verfügung verbleibenden 9 % der Ackerfläche Mais und Winterroggen-GPS angebaut werden. Das Gesamtpotenzial in Form von Wirtschaftsdünger wurde dabei ebenfalls berücksichtigt.

2.4.5 Fazit

In der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen gibt es bereits viele Bioenergieanlagen, und es kommen immer wieder neue Anlagen hinzu. Eine koordinierende Steuerung dieser Entwicklung in Form von Ausweisung geeigneter Standorte für Bioenergieproduktion kann die nachhaltige Energieproduktion stärken. Mit der Kenntnis des Energiebedarfs und der Produktionsmöglichkeiten können Ziele für die energetische Nutzung von Biomasse in der Metropolregion gesetzt werden.

Die Standortmöglichkeiten für neue Bioenergieanlagen in der Metropolregion sind, genauso wie die Potenziale an Anbaufläche, begrenzt. Selbst wenn die gesamte Ackerfläche für die Biogaskulturen bereitgestellt wäre, könnte der Strombedarf nicht allein mit dieser Biomasse gedeckt werden. Die Berechnung für ein theoretisches 100%-Flächenszenario ergibt mit den im Projekt genutzten Annahmen zu Substraten ein Strompotenzial, das etwa 34 % des Strombedarfs der Metropolregion decken würde.

2.4.6 Literatur und Datenquellen

- ARBEITSGEMEINSCHAFT QUALITÄTSMANAGEMENT BIODIESEL E. V. in Berlin: Internetquelle, abgerufen 07.2011: <<http://www.agqmbiodiesel.de/downloads/pdfs/InformationBiokraftstoffquotengesetz2007.pdf>>.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (2010): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. – S. 10; Berlin.
- DOLLMANN, F. (2010): Fernmündliche Informationen vom 02.08.2010. – Stadtwerke Hannover AG.
- ENERGIE SCHWEIZ - BUNDESAMT FÜR ENERGIE (BFE): Bioethanol als Treibstoff. – Informationsblatt aus der Internetpräsenz der Informationsstellen BiomasseEnergie, abgerufen 07.2011: <http://www.biomasseenergie.ch/Portals/0/1_de/03_Wie_nutzen/Pdf/bioethanol-etha.pdf>.
- LGLN - LANDESAMT FÜR GEOINFORMATION UND LANDENTWICKLUNG NIEDERSACHSEN (2011): Topographische Karte. – Kartenmaterial des VKV-Map-Servers des LGLN, Nutzung des Servers über den WMS-Dienst, Quelle: www.klimafolgenmanagement.de.
- LSKN - LANDESBETRIEB FÜR STATISTIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE NIEDERSACHSEN (2008): Statistische Berichte Niedersachsen. Bodennutzung und Ernte 2007. – Excel-Tabelle vom Projektpartner IZNE.
- LSKN - LANDESBETRIEB FÜR STATISTIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE NIEDERSACHSEN: Metropolregion Hannover - Braunschweig - Göttingen - Wolfsburg. – Internetpräsenz, abgerufen 06.2011: <http://www.metropolregion.de/pages/organisation/metropolregion_gmbh/service/daten_fakten/subpages/daten_fakten/index.html>.
- LWK - LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (2011): Flächen mit Niederwald für Kurzumtrieb für die Metropolregion. – Excel-Tabelle, per E-Mail am 26.01.2011.
- MEYER-PRESCHER, B. (2011): Mündliche Informationen vom 26.11.2010. – E.ON Avacon.
- ML, MU, 3N - NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ UND LANDESENTWICKLUNG (Hrsg.), NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (Hrsg.), 3N-KOMPETENZZENTRUM NIEDERSACHSEN NETZWERK NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (2010): Biogas in Niedersachsen. Stand und Perspektiven. – S. 12.
- REGION HANNOVER (2005): Regionales Raumordnungsprogramm 2005. Beschreibende Darstellung. – <<http://www.hannover.de/data/download/RH/umwelt/rrop2005/BeschrDar.pdf>>.
- RUPPERT H., EIGNER-THIEL S., GIRSCHNER W., KARPENSTEIN-MACHAN M., ROLAND F., RUWISCH V., SAUER B., SCHMUCK P. & FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E. V. (FNR) (Hrsg.) (2008): Wege zum Bioenergie-dorf. – Leitfaden: 26.
- STBA - STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND: Bevölkerungszahl Deutschlands. – Internetpräsenz, <<http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Navigation/Statistiken/Bevoelkerung/Bevoelkerung.psml>> (Abruf 06.2011).
- TA LUFT (2002): Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionschutzgesetz vom 24.07.2002, Nr. 5.4.8.6.1a. – GMBI **25–29** vom 30.07.2002: 511, <www.umwelt-online.de>.
- VAWS (1997): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen und über Fachbetriebe (Anlagenverordnung, VAWS), Niedersachsen, vom 17.12.1997, Anhang 1 zu § 1 Nr. 1. – GVBI 1997: 549, <www.umwelt-online.de>.
- Voss, H. (2008): Biogas. Entwicklung einer GIS-basierten Entscheidungshilfe zur Standortfindung von Biogasanlagen. – Masterthesis im Studiengang Nachwachsende Rohstoffe und Erneuerbare Energien, Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK) Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Fakultät Resourcemanagement.

3 Teilprojekt 3: Feldberegnung

3.1 Potenziale zur Substitution von Grundwasser für die Feldberegnung – „Wasser wächst auf Feldern“

IMKE MERSCH

Kurzfassung

Unter dem Titel „Potenziale zur Substitution von Grundwasser für die Feldberegnung“, kurz „Wasser wächst auf Feldern“, erarbeitete die Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Sachgebiet Beregnung, die Folgen des Klimawandels für die Feldberegnung. Eine Modellierung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen durch das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) zeigte einen Anstieg des Beregnungsbedarfes bis 2100. Dieser trifft vor allem Regionen mit leichten Böden im Nordosten der Metropolregion, in denen bereits heute intensiv beregnet wird. Gründe für den Anstieg sind eine deutliche Niederschlagsverlagerung in die Wintermonate sowie ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur, verbunden mit höherer Verdunstung. Fraglich ist, ob künftig überall noch genug Wasser aus den teilweise angespannten Grundwasserkörpern bereitgestellt werden kann, um den Bedarf der Feldberegnung zu decken. Exemplarisch für die Landkreise Celle, Gifhorn und Peine sowie die Region Hannover wurden Anpassungsmaßnahmen erarbeitet. Die Maßnahmevorschläge sollen Akteuren innerhalb und außerhalb der Metropolregion als Anregung dienen, selbst Anpassungsmaßnahmen umzusetzen, um die für die Betriebe oftmals existenzsichernde Beregnung auch in Zukunft sicherstellen zu können.

3.1.1 Einleitung

Das Teilprojekt Feldberegnung trägt den Arbeitstitel „Wasser wächst auf Feldern“. Dieser einprägsame Titel soll unterstreichen, dass unter Ackerflächen die höchste Grundwasserneubildung im Vergleich zu Grünland, Laub- und Nadelwald stattfindet. Außerdem sind es Ackerflächen, auf denen Oberflächen- und

Klarwasser verregnet und versickert werden kann, um so das Grundwasserdargebot zu erhöhen. Die Studie versteht sich als Beitrag zur Erhaltung und Entwicklung der Potenziale des ländlichen Raums unter sich durch den Klimawandel verändernden Voraussetzungen.

Feldberegnung spielt in Teilen Niedersachsens seit Jahrzehnten eine wichtige Rolle zur Sicherung der Erträge und zur Verbesserung der Qualität der Ernteprodukte. Mit zunehmender sommerlicher Trockenheit und einem Anstieg der Temperaturen steht die Absicherung der Erträge mittlerweile im Vordergrund. Besonders im Nordosten der Metropolregion, auf leichten Böden mit geringem Wasserspeichervermögen und bei überwiegend negativer klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationsperiode, ist die Beregnung nicht mehr wegzudenken. Der Anteil der beregneten Flächen nimmt im Gegensatz zur knappen Ressource Wasser stetig zu. Einige Grundwasserkörper sind bereits heute mengenmäßig angespannt, eine Erhöhung der Entnahmen ist nicht oder nur noch in geringem Maße denkbar. Liegen über diesen Grundwasserkörpern intensive Beregnungsgebiete, sind Alternativen gefragt, um ausreichend Wasser für die Beregnung bereitstellen zu können. Im Hinblick auf die Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist der Zustand der Grundwasserkörper nach Möglichkeit zu verbessern. Daher sollten lokal Maßnahmen zur Regeneration ergriffen werden, um die angespannten Grundwasserkörper zu entlasten.

Für die Metropolregion sind ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur und eine erhebliche Verlagerung von Niederschlägen in die Wintermonate zu erwarten. Für die Vegetationsperiode bedeutet das eine deutlich höher ausfallende negative klimatische Wasserbilanz. Die Verwundbarkeit der Pflanzenproduktion nimmt daher zu. Bereits während des Projektes, besonders im Jahr 2009 und während der Frühjahre 2010 und 2011, wurden die Folgen von Wasserknappheit sicht- und spürbar. Neben einer Zunahme der Beregnungsflächen ist künftig mit einer Erhöhung der Beregnungsintensität zu rechnen. Durch die hohe Bedeutung der Landwirtschaft für die Metropolregion und die Anfälligkeit für klimatische Veränderungen ist eine Auseinandersetzung mit Risiken, Chancen und Anpassungsmöglichkeiten unerlässlich.

Aufgabe des Projektes ist daher zunächst die Erfassung der aktuellen Beregnungssituation. Aus den Klimasimulationen sollen die Folgen für die Landwirtschaft abgeschätzt und besonders anfällige Regionen der Metropolregion lokalisiert werden. Mit Hilfe einer Vernetzung von Experten aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis werden Anpassungsmaßnahmen entwickelt und ihre Umsetzbarkeit in den Räumen mit dem höchsten Handlungsbedarf geprüft. Wichtig ist dabei, dass die Ergebnisse durch Information der Zielgruppen verbreitet werden, um für das Thema zu sensibilisieren, es in die Praxis zu tragen und so die Basis für eine potenzielle Umsetzung zu legen.

3.1.2 Ausgangssituation

Landwirtschaft in der Metropolregion

Die Metropolregion ist stark landwirtschaftlich geprägt. 2007 entfielen 52 % der Gesamtfläche (18 901 km²) auf landwirtschaftliche Betriebsflächen. Die Bedingungen für den Anbau variieren räumlich stark. Gunststandorte mit hohem bis äußerst hohem Ertragspotenzial liegen im Bereich der Börden in der zentralen Metropolregion und erstrecken sich nach Süden bis in den östlichen Landkreis Göttingen. Die hier verbreiteten Lessivés (Parabraunerden) und Schwarzerden weisen ein hohes Wasserspeichervermögen auf, die nutzbare Feldkapazität ist hoch bis sehr hoch. Kleinräumig sind auch in der nordöstlichen Metropolregion Lessivés verbreitet, weitere Gunsträume im Norden sind die Auenböden, beispielsweise entlang der Weser. Die meisten Standorte der nördlichen Metropolregion und kleine Bereiche der südlichen weisen nur ein geringes bis mittleres Ertragspotenzial auf. Die dominierenden Podsole und Braunerden können nur wenig Wasser speichern, die nutzbare Feldkapazität ist gering bis sehr gering (vgl. LBEG 2010a).

Die klimatische Wasserbilanz gibt die „Differenz zwischen dem gefallenem Niederschlag und der potenziellen Evapotranspiration einer Kultur“ (DWD 2011) an. Erhebungen des Fachverbandes Feldberegnung in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst haben

für die letzten Jahre eine zunehmend negative klimatische Wasserbilanz, vor allem für Standorte im östlichen Niedersachsen, gezeigt. Je extremer negativ die klimatische Wasserbilanz ausfällt, desto höher ist der Zusatzwasserbedarf durch Beregnung. In der Metropolregion sticht besonders der Standort Celle mit einem Defizit von bis zu -472 mm (2009) in der Vegetationsperiode (April–September) heraus.

Aufgrund der negativen klimatischen Wasserbilanz der leichten Böden mit geringer Speicherkapazität und der seit Jahrzehnten intensiven Beregnungstätigkeit wurden die Landkreise Celle, Gifhorn und Peine sowie die Region Hannover von der Lenkungsgruppe als Untersuchungsgebiet festgelegt. Neben den standörtlichen Gegebenheiten lässt sich die intensive Beregnungstätigkeit auf den verstärkten Anbau beregnungswürdiger Kulturen wie Kartoffeln, Zuckerrüben, Braugerste und Mais zurückführen.

Die Hauptnutzungsart der landwirtschaftlichen Flächen in der Metropolregion ist der Ackerbau mit etwa drei Vierteln der Gesamtfläche. Wichtigste Kulturart war 2007 Getreide einschließlich Körnermais, gefolgt von Grünland, Zuckerrüben, Raps und sonstigen Handelsgewächsen, Ackerfutterbau, Kartoffeln und Gartenbauerzeugnissen. Betrachtet man die Hauptberegnungsregionen, nimmt der Anteil des Getreides deutlich zugunsten von Kartoffeln, Zuckerrüben und Ackerfutterbau ab. Herauszuheben ist die Produktion von Sommergerste, die meistens im Vertragsanbau erfolgt. Durch die geforderten hohen Qualitäten wird hier, genau wie im Kartoffelanbau, intensiv beregnet. Der Anteil von Mais, insbesondere für die Verwendung in Biogasanlagen, ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen. Zunehmend wurden und werden Beregnungsanlagen für den Energiemaisanbau angeschafft (vgl. LSKN 2007).

Gemeinsam mit dem Teilprojekt 2 „Energiepflanzen“ (IZNE und LBEG) wurden typische Fruchtfolgen für den nördlichen und südlichen Teil der Metropolregion zusammengestellt (vgl. Tab. 3.1.1). Dabei wurde zwischen Energie- (Biogaserzeugung) und klassischen Fruchtfolgen (Marktf Frucht/Futterpflanzen) unterschieden.

Tab. 3.1.1: Typische Fruchtfolgen in der nördlichen und südlichen Metropolregion
(Quelle: FE 2/FE 3: Typische Fruchtfolgen in der Metropolregion).

Nördliche Metropolregion				
Typ 1	Typ 2	Biogas 1	Biogas 2	
(Markt u. Futterf.)	(Markt u. Futterf.)			
Winterroggen Kartoffeln Sommergerste Zuckerrübe	Mais Mais Winterroggen Kartoffeln	Mais Mais Mais	Grünroggen/Mais Grünroggen/Mais Kartoffeln	
Südliche Metropolregion				
Typ 1	Typ 2	Biogas 1	Biogas 2	Biogas 3
(Marktfrucht)	(Marktfrucht)			
Winterweizen Wintergerste Winterraps	Winterweizen Winterweizen Zuckerrübe	Mais Mais Mais	Grünroggen/Mais Grünroggen/Mais Winterweizen	WRoggenGPS/ Ackergras Ackergras/Mais Mais

Beregnung in der Metropolregion

Grundlage für die Beregnung ist die Erteilung einer wasserrechtlichen Erlaubnis seitens der unteren Wasserbehörde. Je nach Landkreis wird diese unbegrenzt oder für einen bestimmten Zeitraum für die Wasserentnahme aus dem Grundwasser oder einem Oberflächengewässer erteilt. In der Regel liegt die durchschnittliche Entnahmemenge bei 80 mm pro Jahr. Die jährlichen Entnahmemengen können variieren und dürfen diesen Grenzwert auch überschreiten, im siebenjährigen gleitenden Mittel dürfen jedoch maximal 560 mm (7 x 80 mm) verregnet werden. Sollten sich durch den Klimawandel trockene Jahre häufen, können die 560 mm/7a möglicherweise nicht mehr ausreichend sein.

Eine Umfrage des Fachverbandes Feldberegnung (FVF) ergab im Jahr 2008, dass etwa 300 000 ha in Niedersachsen beregnet wer-

den. Das entspricht etwa der Hälfte der bundesweiten Beregnungsflächen. In der Metropolregion wird fast ausschließlich im nördlichen Teil beregnet (vgl. Abb. 3.1.1). Vereinzelt kommt auch in den südlichen Landkreisen Beregnungstechnik zum Einsatz, sie beschränkt sich hier jedoch auf wenige Hektar. Die höchste Beregnungsintensität weisen die Landkreise Gifhorn (78 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche unter Beregnung), Celle (60 %) und Peine (36 %) sowie die Region Hannover (28 %) auf. Die geringeren Werte in Peine und Hannover sind durch die unterschiedliche Bodengüte zu erklären. Während nördlich der Bundesautobahn 2 leichte Böden dominieren, auf denen vor allem Zuckerrüben, Mais und Kartoffeln angebaut werden, sind südlich schwere Böden verbreitet, die vor allem für den Weizenanbau genutzt werden. Hier wird lediglich vereinzelt zur Qualitätsverbesserung beregnet.

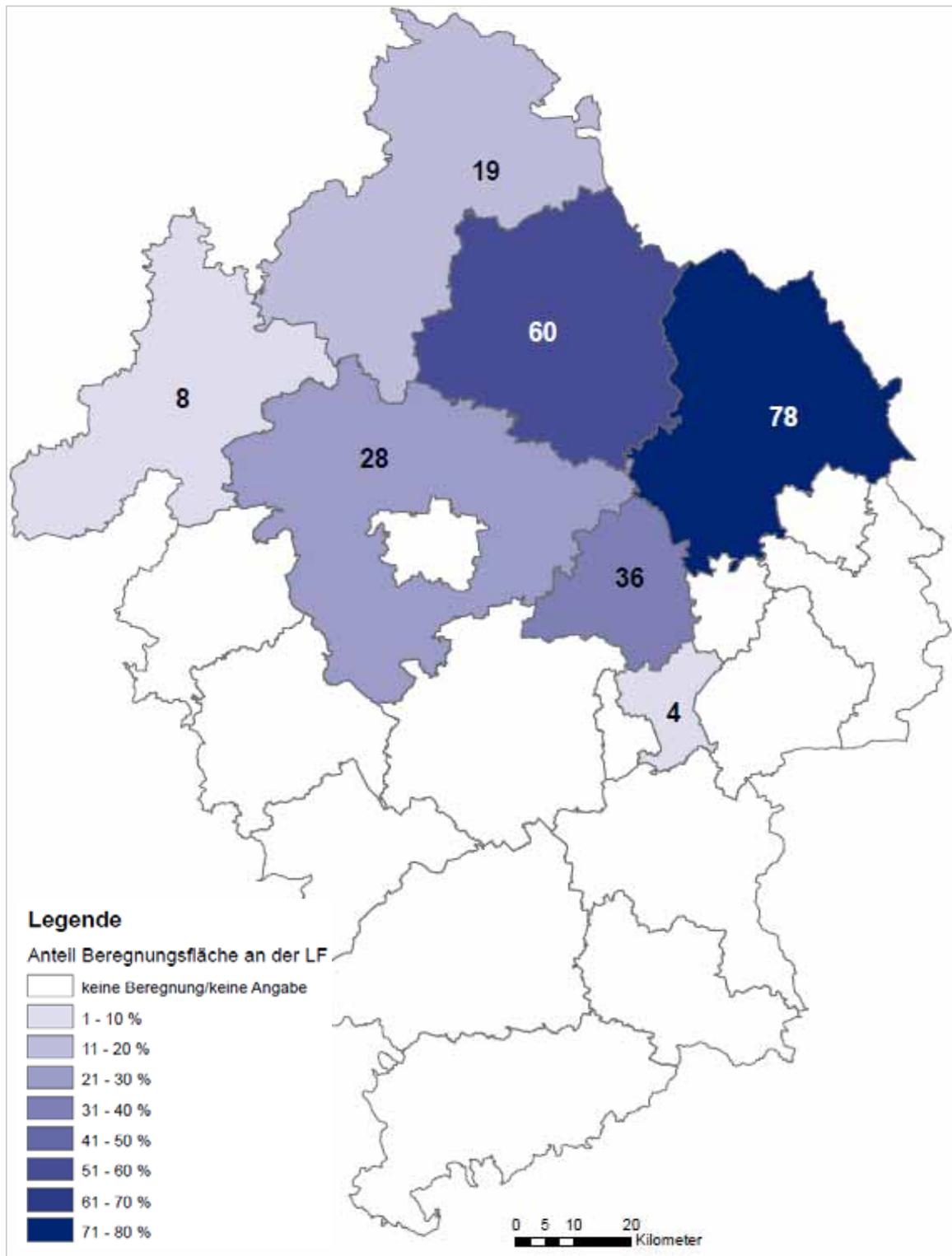


Abb. 3.1.1: Anteil der Berechnungsflächen an der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Quellen: Administrative Grenzen: NIBIS®-Kartenserver (LBEG 2010b), Umfrage bei den Berechnungsverbänden (FVF 2008)).

Bei der verwendeten Beregnungstechnik dominieren Großregner in Kombination mit einer Trommelberegnungsmaschine, deren Einsatz mit nicht unerheblichem Arbeitsaufwand und Wasserverlusten durch Windabdrift und Verdunstung verbunden ist. Hinsichtlich der eingesetzten Beregnungstechnik werden mehr als 95 % der Beregnungsflächen in der Metropolregion mit Großregnern beregnet. Eine genauere Wasserausbringung ist durch die Kombination eines Düsenwagens mit der Trommelberegnungsmaschine möglich (< 1 %). Bei großen Schlägen (min. 20–25 ha) kommt der Einsatz von Kreis- oder Linearberegnungssystemen in Frage, die das Wasser bodennah, automatisiert, bei Bedarf teilflächenspezifisch und mit geringem Arbeitsaufwand ausbringen. Derzeit kommen sie in weniger als 1 % der Fälle zum Einsatz, vor allem, weil zusammenhängende Flächen fehlen. Trotz sparsamer und bodennaher Ausbringung ist Tröpfchenbewässerung ähnlich wenig verbreitet, was vor allem auf den hohen Arbeitsaufwand und die hohen Anschaffungskosten zurückzuführen ist. Einen Anteil von 1 % macht eine Sonderform der Beregnung mit Kleinregnern aus, die im Gemüseanbau und besonders in der Frostschutzberegnung bei Kartoffeln zum Einsatz kommt.

Hauptquelle für die Beregnung ist das Grundwasser, aus dem 98 % aller Entnahmen für die Feldberegnung stammen. Ergänzt wird es durch einen geringen Anteil von Entnahmen aus Fließgewässern (vgl. FVF 2008). Eine Sonderstellung nimmt die Verregnung von Klarwasser der Städte Wolfsburg und Braunschweig ein.

Der Runderlass des Niedersächsischen Umweltministeriums zur „Mengenmäßigen Bewirtschaftung von Grundwasserkörpern“ schätzt die Wassermenge ab, die zusätzlich zu den bereits vergebenen Erlaubnissen entnommen werden darf, die sogenannte nutzbare Dargebotsreserve. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die bereits vergebenen Entnahmeerlaubnisse die maximal erlaubte Entnahme angeben, die in vielen Fällen nicht ausgeschöpft wird. In einigen Grundwasserkörpern ist die nutzbare Dargebotsreserve bereits heute sehr gering (vgl. MU 2007). Wenn künftig vorhandene Erlaubnisse zur Förderung von Trink- oder Beregnungswasser ausgeschöpft sind und erhöht werden sollen, könnte hier zwischen den beiden Interessen ein Nutzungskonflikt auftreten. Damit sind Gebiete mit einer geringen nutzbaren Dargebotsreserve, hoher Beregnungsintensität bzw. künftig steigendem Beregnungsbedarf sowie Trinkwassergewinnung am ehesten betroffen. Hierzu zählen:

■ Region Hannover, Fuhrberger Feld, Trinkwassergewinnung Stadt Hannover,

- Region Hannover, Burgdorf/Uetze und LK Peine, Edemissen/Eddesse, Trinkwassergewinnung Wasserverband Peine,
- Landkreis Gifhorn, Gifhorn, Trinkwassergewinnung Stadt Wolfsburg,
- Landkreis Peine (Ansiedlung von Gewerbebetrieben nur durch Kürzung landwirtschaftlicher Erlaubnisse möglich).

Aktuell sind noch keine Konflikte bekannt. Nach Angaben der unteren Wasserbehörden im Landkreis Gifhorn und der Region Hannover sind die vergebenen wasserrechtlichen Erlaubnisse noch nicht ausgeschöpft. Um Konflikte auch künftig zu vermeiden, sollten in den potenziell gefährdeten Räumen bevorzugt Substitutionsmaßnahmen umgesetzt werden.

Die meisten Beregner des Untersuchungsgebietes sind zu Beregnungsverbänden zusammengeschlossen. Dabei handelt es sich um Wasser- und Bodenverbände im Sinne des Wasserverbandsgesetzes. Dach- und Oberverbände der Beregnungsverbände bündeln die Interessen der Beregner und sind bei der Beantragung wasserrechtlicher Erlaubnisse sowie deren Bewirtschaftung behilflich. Darüber hinaus gibt es nicht organisierte Einzelregner. Am Jahresende wird die für die Beregnung genutzte Wassermenge gemeldet und abgerechnet. Dabei ist nicht immer klar, auf welchen Flächen wie viel Wasser ausgebracht wurde. Eine parzellenscharfe Erfassung der Beregnungsflächen liegt derzeit nirgends vor. Die meisten Beregnungsverbände gibt es im Landkreis Gifhorn, die Kreisfläche wird fast flächendeckend von 54 Verbänden betreut. Die 20 Verbände in der Stadt und im Landkreis Celle beantragen derzeit gebündelt über den Oberverband Feldberegnung Celle eine neue wasserrechtliche Erlaubnis für 30 Jahre. Erkenntnisse aus dem Antragsverfahren dienen zur Entwicklung eines Ansatzes zur schnellen und fehlerfreien Erfassung von Beregnungsflächen, Entnahmeverhältnissen und Bewirtschaftungsverhältnissen (Beregnungsflächenkataster). In der Region Hannover sind die 48 Verbandsgebiete überwiegend auf den Norden und Osten beschränkt, die 25 Verbände im

Landkreis Peine liegen vor allem im Norden des Landkreises (vgl. UWB 2011).

Arbeit der Lenkungsgruppe

Die Lenkungsgruppe wurde eingerichtet, um Wassernutzer, Gewässerunterhalter und Naturschutz mit den Genehmigungsbehörden im Projekt zu vereinen. Das Zusammenbringen der zahlreichen Substitutionsideen war vor allem durch die Netzwerkarbeit des Projekts möglich. In der Lenkungsgruppe konnten Fach- und Ortskenntnis von Praktikern, Behörden und Verbänden gebündelt und die Ideen sofort aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet werden. Im Rahmen der insgesamt fünf Treffen wurden nachfolgende Themenfelder bearbeitet:

- Derzeitige Vorgehensweisen bei der Beantragung von Beregnungserlaubnissen,
- Bedeutung der Wasserrahmenrichtlinie für das Projekt und die Vorhaben,
- Versickerung von Oberflächenwasser als Beitrag zur Grundwasserneubildung,
- Entnahme von Oberflächenwasser für die Beregnung,
- Wasserbewirtschaftung des Mittellandkanals und Möglichkeiten einer intensiveren Nutzung für die Feldberegnung,
- Nachhaltige Sicherung des Grundwassers durch Waldumbau (Unterbau von Laubgehölzen), Kosten des Waldumbaus,
- Diskussion und Entwicklung von Substitutionsansätzen,
- Ausblick für die Feldberegnung und Substitution im Projektgebiet.

Auch bei Veranstaltungen mit Landwirten und Behörden wurden die Themen immer wieder aufgegriffen. Das bereits bestehende Kommunikationsnetzwerk konnte erweitert und verstärkt werden, die Präsenz des Themas Beregnung und die Wahrnehmung der damit verbundenen Schwierigkeiten haben weiter zugenommen.

3.1.3 Erfassung der Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft

Auswirkungen auf die Landwirtschaft und den Pflanzenbau

Die Landwirtschaft ist in hohem Maße vom Wettergeschehen und den klimatischen Gegebenheiten abhängig. Klimaaufzeichnungen und -simulationen zeigen eine hohe Variabilität, so dass sich die Landwirtschaft auf eine Bandbreite von Entwicklungen einstellen muss, um ihre Verwundbarkeit möglichst gering zu halten.

Durch die simulierten steigenden Temperaturen im Jahresmittel, die sich in Form von milden Wintern und Hitzeperioden auswirken werden, verschiebt sich das Optimum für die angebauten Kulturarten. Kulturarten des Photosynthesetyps, C₄-Pflanzen wie Mais und Hirse liegen noch unterhalb ihres Optimums. Hier sind höhere Erträge und eine Verschiebung der Anbaugrenzen nach Norden zu erwarten. Auch Zuckerrüben können profitieren. Weiterhin ist der Anbau bislang noch nicht gängiger Kulturen denkbar, wenn diese hinreichend züchterisch bearbeitet und in Versuchen getestet werden. Für Getreide und Kartoffeln ist durch die erhöhten Temperaturen hingegen mit Ertragseinbußen zu rechnen (vgl. CHMIELEWSKI 2007, BAEUMER 1978).

Eine weitere Folge des Temperaturanstiegs ist eine Verlängerung der Vegetationsperiode um einige Wochen. Bei geeigneter Kulturwahl sind bis zu zwei Ernten pro Vegetationsperiode denkbar, gleichzeitig steigt jedoch das Risiko von Früh- bzw. Spätfrösten. Die Entwicklungsstadien der Pflanzen werden sich in ihrer Dauer verändern, die Produktqualität wird eher abnehmen. Schaderreger und Unkräuter sind in ihrer Entwicklung begünstigt (vgl. KRAUSE 2010, CHMIELEWSKI 2007).

Die deutliche Verlagerung der Niederschläge in die Wintermonate wird zu vermehrtem Trockenstress führen. Die durch den Temperaturanstieg erhöhte Evapotranspiration wird die Situation, besonders auf leichten Böden, noch verschärfen. In den Böden kommt es durch Temperaturzunahme und Trockenheit zu Humusabbau, verstärkter N-Mineralisation und einer geringeren Nährstofffreisetzung. Im Winter kann es zu Auswaschung durch starke Niederschläge kommen, im Frühjahr werden viele

Flächen aufgrund von Vernässung schlechter befahrbar sein (vgl. VLK 2010).

Insgesamt erhöht sich das Risiko von Extremereignissen wie Sturm, Starkregen, Hagel, Hitze und Dürreperioden. Durch die Variabilität der Klimasimulationen, die nur Tendenzen, aber keine Prognosen ermöglichen, ist die Investition in dringend notwendige Anpassungsmaßnahmen mit Unsicherheiten verbunden. Gleichzeitig bieten die klimatischen Veränderungen auch Chancen für die Landwirtschaft. Ertragseinbußen können durch Ertragszuwächse in anderen Bereichen abgefangen werden. Die Grundvoraussetzung dafür ist jedoch immer eine ausreichende Wasserverfügbarkeit.

Entwicklung der mittleren und fruchtspezifischen Beregnungsbedürftigkeit

„Die Beregnungsbedürftigkeit prüft den Standort darauf, wie weit der Wasserbedarf der Pflanzen aufgrund natürlicher Gegebenheiten gedeckt werden kann.“ (FRICKE & HEIDORN 2003: 1). Unter diesen Gegebenheiten sind die Wasserspeicherkapazität des Bodens, die Verteilung und die Menge des Niederschlags in der Vegetationsperiode zu verstehen. Weiterhin haben der Wasserbedarf einer Kultur und pflanzenbauliche Faktoren einen Einfluss. Sind Einbußen bei Ertrag und Qualität zu erwarten, ist grundsätzlich ein Beregnungsbedarf gegeben. Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG 2010d) definiert den Beregnungsbedarf als „die mittlere jährliche Beregnungsmenge [...], die zur Aufrechterhaltung von 40 % der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) erforderlich ist“. Allerdings wird nicht einfach nach dem Bedarf berechnet, neben der Wasserverfügbarkeit spielt die Beregnungswürdigkeit der Kultur eine wichtige Rolle. Je höher der Gewinn ist, den man durch Mehrerlöse aufgrund höheren Ertrags nach Abzug der Mehrkosten durch die Beregnung erhält, desto beregnungswürdiger ist eine Kultur. Die höchsten Gewinne sind mit Kartoffeln, Zuckerrüben, Braugerste und Mais zu erzielen (vgl. FRICKE & HEIDORN 2003). Die Beregnungswürdigkeit ist eng an die Marktpreise gekoppelt.

Durch das LBEG wurde die potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit für die Ackerflächen der Metropolregion errechnet. Ausgehend von einem Modell nach RENGER & STREBEL aus dem Jahr 1982 wurden die simulierte klimatische Wasserbilanz, diverse Bodenparameter sowie der mittlere Wasserbedarf von Hackfrüchten und Getreide herangezogen. Für verschiedene Zeitintervalle sowie Niederschlags-szenarien konnte eine Veränderung bis zum Jahr 2100 simuliert werden. Neben der mittleren Beregnungsbedürftigkeit erfolgte eine Umrechnung für den fruchtspezifischen Beregnungsbedarf sieben verschiedener Kulturen.

Die benötigte Beregnungswassermenge für die Kulturen stammt aus Experimenten, die mehr als 30 Jahre zurückliegen. Züchterische Fortschritte, aber auch gestiegene Qualitätsanforderungen wurden im Modell daher nicht berücksichtigt. Ebenso fehlt der Einfluss kapillaren Aufstiegs auf Kulturen, die auf Flächen mit Grundwasseranschluss angebaut werden. Trotz der genannten Schwächen hat das Modell einen hohen Nutzen in der Anpassungsdiskussion. Es hilft dem Betrachter dabei, sich den Ernstfall vorzustellen und gedanklich Szenarien durchzuspielen. Damit werden Anreize für eine Anpassung geschaffen, die sich an den zu erwartenden Gegebenheiten orientiert.

Abbildung 3.1.2 zeigt die mittlere Beregnungsbedürftigkeit für den Referenzzeitraum sowie für die durchschnittlichen Niederschlagsszenarien 2021–2050 (mittelfristig) und 2071–2100 (langfristig).

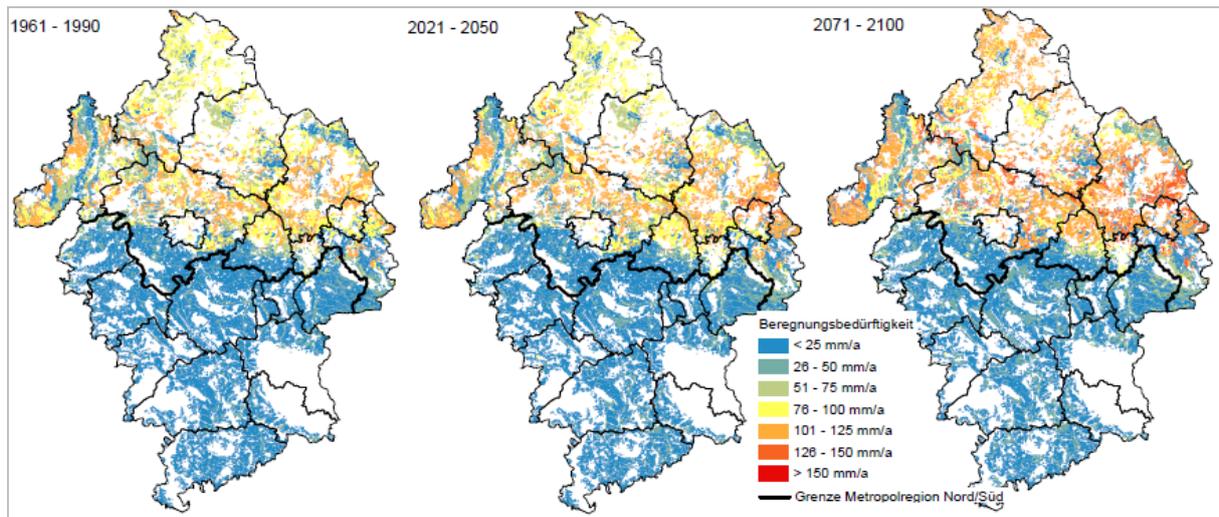


Abb. 3.1.2: Mittlere Beregnungsbedürftigkeit in der Metropolregion im Referenzzeitraum 1961–1990 sowie im mittel- und langfristigen Szenario (Quellen: Mittlere Beregnungsbedürftigkeit (LBEG 2010d), Administrative Grenzen: NIBIS®-Kartenserver (LBEG 2010b)).

Generell ist mittelfristig nur eine geringe Zunahme der Beregnungsbedürftigkeit festzustellen (+2 mm). Langfristig steigt der Bedarf um 9 mm an. Auffällig ist die unterschiedliche Ausgangssituation. Während im zentralen und südlichen Teil der Metropolregion so gut wie kein Beregnungsbedarf besteht, ist die Situation im Norden eine ganz andere. Bereits im Referenzzeitraum ist hier, wie sich in der Praxis bestätigt, zum Teil deutlicher Beregnungsbedarf gegeben. Bis 2050 werden bereits 50 % der Flächen einen Beregnungsbedarf von mindestens 75 mm/a aufweisen, langfristig erreicht ein Drittel der Ackerflächen einen Beregnungsbedarf von über 80 mm/a. Damit wird mehr Was-

ser benötigt, als durch die aktuellen Erlaubnisse bereitgestellt werden kann. Im südlichen Teil wird bislang nur in Einzelfällen beregnet, anhand der Modellierung ist davon auszugehen, dass das auch so bleibt.

Ausgehend von der mittleren Beregnungsbedürftigkeit kann der Wasserbedarf für die Beregnung errechnet werden (vgl. Tab. 3.1.2). Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die negative klimatische Wasserbilanz durch die Beregnung ausgeglichen wird. In der Praxis ist davon nicht auszugehen, da Wassermengen in dieser Höhe teilweise gar nicht zur Verfügung stehen bzw. nicht immer eine Beregnungswürdigkeit gegeben ist.

Tab. 3.1.2: Potenzielle Beregnungswassermenge in der nördlichen und südlichen Metropolregion (Quelle: Mittlere Beregnungsbedürftigkeit, Berechnung Beregnungswassermenge (LBEG 2010d)).

Zeitraum	nördliche Metropolregion				südliche Metropolregion			
	Mittel Klasse 1–7		Mittel Klasse 3–7		Mittel Klasse 1–7		Mittel Klasse 3–7	
	[Mio. m³/a]	[%]	[Mio. m³/a]	[%]	[Mio. m³/a]	[%]	[Mio. m³/a]	[%]
1961–1990	278	100,0	243	100,0	56	100,0	2	100,0
2021–2050	289	104,0	253	104,1	60	107,1	3	150,0
2071–2100	335	120,5	299	123,1	70	125,0	5	250,0

Für die nördliche Metropolregion ergibt sich ein Anstieg der potenziellen Beregnungswassermenge von 278 Mio. m³/a auf 335 Mio. m³/a (+20 %). Betrachtet man nur die nach RENGER & STREBEL (1982) beregnungswürdigen Klassen 3–7 (vgl. HEIDT 2009), ergibt sich ein Anstieg der potenziellen Beregnungswassermenge von 243 Mio. m³ auf 299 Mio. m³/a (+23 %) im Zeitraum 2071–2100. Für die Flächen der südlichen Metropolregion ergibt sich im Mittel ein Zusatzwasserbedarf von 56 Mio. m³/a, der bis 2100 um 25 % auf 70 Mio. m³/a ansteigt. Die beregnungswürdigen Flächen machen jedoch nur wenige Prozent der Gesamtfläche aus. Daher ergibt sich hier lediglich eine Beregnungswassermenge von 2 Mio. m³/a, bis 2100 wurde ein Anstieg um 250 % auf 5 Mio. m³/a errechnet. In der Praxis wird ver-

mutlich nur ein Bruchteil dieser Wassermenge tatsächlich verbraucht werden.

Für die mittel- und langfristigen Zeiträume wurde zusätzlich zum Durchschnittsszenario die Beregnungsbedürftigkeit für ein sehr feuchtes und ein sehr trockenes Szenario berechnet. Der Szenarienvergleich macht die Variabilität der zu erwartenden Änderungen deutlich (vgl. Abb. 3.1.3). In einzelnen Trockenjahren kann sich die Situation, die wir heute bereits als problematisch erleben, noch um ein Vielfaches verschärfen. Langfristig kann in Trockenjahren regional ein Beregnungsbedarf von über 150 mm auftreten. Einzelne feuchte Jahre können hingegen eine leichte Entspannung bringen. Grundsätzlich werden die Extreme aber vermutlich noch stärker ausfallen als bisher.

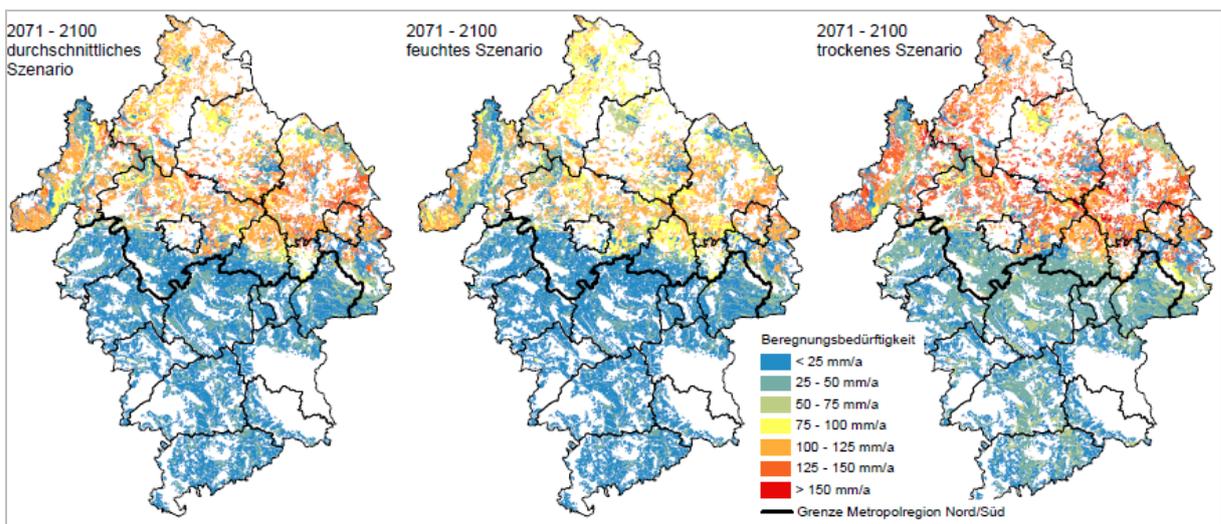


Abb. 3.1.3: Mittlere Beregnungsbedürftigkeit in der Metropolregion im langfristigen Zeitraum 2071–2100 für ein durchschnittliches, ein feuchtes und ein trockenes Szenario (Quellen: Mittlere Beregnungsbedürftigkeit (LBEG 2010d), Administrative Grenzen: NIBIS®-Kartenserver (LBEG 2010b)).

Neben dem mittleren wurde auch der frucht-spezifische Beregnungsbedarf für verschiedene Kulturen berechnet. Für alle Kulturen wird der Beregnungsbedarf künftig vermutlich ansteigen. Besonders hohe Werte wurden für Kartoffeln und Zuckerrüben simuliert, die hier künftig benötigten Wassermengen können nicht nur durch Grundwasserentnahmen bereitgestellt werden. Insgesamt sind für den Norden der Metropolregion klimatisch bedingte

Änderungen in den Fruchtfolgen nicht unwahrscheinlich. Eine geringe Wasserverfügbarkeit in Kombination mit hohen Ansprüchen an Ertrag und Qualität werden nicht mehr den Anbau aller Kulturen auf allen Standorten ermöglichen. Im Süden sind Einschränkungen eher unwahrscheinlich. Aber auch hier können sich längere Trockenzeiten negativ auswirken, da dort keine Beregnungsinfrastruktur zur Verfügung steht, um Engpässe abzufedern.

Alle Ergebnisse zur Modellierung der Beregnungsbedürftigkeit sind im Abschlussbericht und auf der Informations- und Kommunikationsplattform unter www.klimafolgenmanagement.de nachzulesen.

3.1.4 Definition von Anpassungsmaßnahmen und Suche nach Umsetzungspotenzial im Untersuchungsgebiet

Anpassungsmaßnahmen

Aus den vorangegangenen Ausführungen wurde die Bedeutung der Beregnung für die Landwirtschaft, besonders im Norden der Metropolregion, deutlich. Gleichzeitig wurde dargestellt, dass die Bedeutung in Zukunft noch erheblich zunehmen wird. Um die Landwirtschaft auch unter den sich ändernden Bedingungen für die Nahrungsmittelproduktion, den Erhalt der Kulturlandschaft und als wichtigen Wirtschaftsbereich im ländlichen Raum zu erhalten und zukunftsfähig zu gestalten, sind Anpassungsmaßnahmen unverzichtbar. Diese können auf zwei Ebenen durchgeführt werden. Zum Einen seitens des Bewirtschafters auf betrieblicher Ebene und zum Anderen durch Akteursgruppen, beispielsweise Beregnungsverbände, auf lokaler und regionaler Ebene.

Auf einzelbetrieblicher Ebene werden Maßnahmen, die den Folgen des Klimawandels begegnen, weniger zur Anpassung als vielmehr aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen und Zwängen heraus umgesetzt. Nichtsdestotrotz leisten sie einen Beitrag, um Veränderungen vorbereitet zu begegnen.

Künftig empfiehlt sich die Wahl von trockenheitsresistenten und wassereffizienten Arten und Sorten, die gleichzeitig Veränderungen wie zunehmendem Schädlingsdruck oder starke Sonneneinstrahlung tolerieren können. Die Züchtung muss sich auf eine Anpassung an die künftigen Anforderungen einstellen. In der Fruchtfolge müssen Kulturen sinnvoll kombiniert werden, bei ausreichendem Wasserangebot sind bis zu zwei Ernten oder der Anbau von bodenverbessernden Zwischenfrüchten denkbar. Entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg kann letztlich auch die Bandbreite der angebauten Kulturarten sein. So können Ertragsverluste einzelner Nutzpflanzenarten durch an-

dere ausgeglichen werden. Allerdings bleibt der Bewirtschafter in seiner Wahl durch die Anforderungen des Marktes eingeschränkt. Im Pflanzenbau sind beispielsweise wassersparende Bodenbearbeitungsverfahren, die Erhöhung des Humusgehaltes, Mulchsaat und ein an die verfügbare Wassermenge angepasster Einsatz von Düngemitteln entscheidende Bausteine (vgl. CHMIELEWSKI 2007, VLK 2010).

Die Beregnung sollte angepasst erfolgen. Nach Möglichkeit ist eine Beregnungstechnik anzuwenden, die wassersparend ist und gleichzeitig möglichst wenig Arbeitsaufwand und Energiebedarf verursacht. Der optimale Beregnungszeitpunkt sowie die richtige Wassermenge sind unbedingt zu ermitteln. Dazu können eigene Daten erhoben (Messung des Bodenwassergehaltes, Niederschlagsmesser) oder von verschiedenen Anbietern (u. a. Fachverband Feldberegnung e. V., Deutscher Wetterdienst) bezogen werden. Weiterhin sind Informationen zum Standort sowie dem Wasserbedarf der Kulturen im jeweiligen Entwicklungsstadium notwendig. Die Bestimmung der optimalen Beregnungsmenge ist eine wichtige Entscheidungsgrundlage für den Landwirt. Je nach Wasserverfügbarkeit und betriebswirtschaftlichen Überlegungen (Beregnungswürdigkeit der Kulturen) kann die Beregnungsentscheidung getroffen werden.

Die lokale bzw. regionale Ebene ermöglicht Maßnahmen in größerem Stil, die direkt als Anpassung an den Klimawandel und knappe Wasserressourcen zu sehen sind. Das genutzte Wasser soll als Alternative zu einer Entnahme aus dem Grundwasser dienen, kann bei ausreichender Grundwasserverfügbarkeit und hohem Wasserbedarf diese Entnahme aber auch ergänzen. Weiterhin dienen die Maßnahmen dazu, die Grundwasserverfügbarkeit zu erhöhen.

Eine Möglichkeit zur Substitution von Grundwasser liegt in der Beregnung mit Wasser aus Oberflächengewässern. Dabei kann es sich um Flüsse, Seen und Kanäle natürlichen und anthropogenen Ursprungs handeln. Aus ökologischer Sicht kann eine Entnahme nur bei Wasserständen oberhalb eines definierten Wertes, beispielsweise des mittleren Wasserstandes, erfolgen. Die Anforderungen sind für jeden Einzelfall zu prüfen. Entweder wird das Wasser direkt durch eine eingehängte Pumpe oder mit Hilfe eines fest installierten Entnahmebauwerks am Ufer entnommen. Wenn vorhan-

den, kann das Entnahmebauwerk an ein bestehendes Beregnungsnetz angeschlossen werden. Da die Beregnung in der Regel immer dann eine Rolle spielt, wenn die Vorfluter, bedingt durch Trockenheit, wenig Wasser führen, ist eine Zwischenspeicherung des Wassers zu prüfen. Aus Erfahrungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sind dabei Kosten von 7 € pro m² gedichteten Speicherraums anzusetzen. Damit sind Speicherbecken nicht nur flächenintensiv, sondern auch sehr teuer. Trotz der Investitions- und Betriebskosten ist die Nutzung von Oberflächenwasser unbedingt zu prüfen, wenn Beregnungsbedarf besteht und das Entnahmepotenzial für den Grundwasserkörper gering ist. Ein Vorteil bei der Beregnung mit Oberflächen- statt Grundwasser ist die Temperatur des Wassers. Durch das wärmere Oberflächenwasser ist die Gefahr eines Temperaturschocks und einer damit einhergehenden Wachstumsdepression geringer.

Bei Klarwasser handelt es sich um gereinigtes Abwasser, das den Qualitätsanforderungen der BADEGEWÄSSERRICHTLINIE (2006) entspricht. Die Verregnung von Klarwasser hat in Niedersachsen durch die Abwasserverbände Wolfsburg und Braunschweig eine langjährige Tradition. Das Wasser kann direkt aus dem Schöningsteich oder indirekt aus dem Vorfluter der Anlage entnommen werden.

Außerhalb der Vegetationsperiode können Wasserüberschüsse aus Oberflächengewässern sowie Klarwasser zur Versickerung genutzt werden und so zur lokalen Regeneration von Grundwasserkörpern beitragen. Die Versickerung kann durch vorherige Verregnung auf Ackerflächen, die Einleitung in Gräben, Waldflächen oder Senken im Gelände erfolgen. Durch Nutzung der Schwerkraft, den Transport des Wassers im freien Fluss (im Freispiegelgefälle), lassen sich Überschüsse sogar aus „wasserreichen“ in „wasserarme“ Gebiete transportieren. Da unter Laubwald mehr Grundwasser neu gebildet wird, als unter Nadelwald, kann der Waldumbau ebenfalls einen wichtigen Beitrag zu einer erhöhten Wasser- verfügbarkeit leisten. Der Aufstau von Fließgewässern, insbesondere Grabensystemen, hält Wasser in der Landschaft zurück und erhöht den Grundwasserstand. Durch kapillaren Aufstieg kann die Vegetation so einen Teil ihres Wasserbedarfs decken.

Bei der Nutzung alternativer Wasserquellen sind verschiedene Anforderungen zu berücksichtigen. Grundlage für die Wasserentnahmen ist stets eine wasserrechtliche Erlaubnis, die der zuständige Landkreis erteilt. Darin ist die maximale jährliche Entnahmemenge festgelegt. Zusätzlich kann ein Mindestwasserstand definiert werden. Wird dieser, beispielsweise bei sommerlicher Trockenheit, erreicht, ist die Entnahme einzustellen. Wird Klarwasser aus einer Kläranlage entnommen, reduziert sich dadurch die Einleitung geklärten Wassers in den Vorfluter. Auch hier ist eine Beeinträchtigung des Gewässers auszuschließen. In den Sommermonaten steht durch Verdunstung, hohen Wasserbedarf und niederschlagsarme Phasen in der Regel kein oder nur wenig überschüssiges Wasser zur Verfügung. Daher empfiehlt sich für eine wirkungsvolle Substitution die Speicherung von Wasserüberschüssen außerhalb der Vegetationsperiode. Weiterhin spielt die Qualität des Wassers eine wichtige Rolle. Klare Bewertungsmaßstäbe für Bewässerungswasser werden in zahlreichen Normen, Richtlinien und Verordnungen formuliert. Als Beispiele sind die DIN 19650 (Bewässerung - Hygienische Belange von Bewässerungswasser (DIN 1999)) und die BADEGEWÄSSERRICHTLINIE (2006/7/EG bzw. 70/160/EWG) zu nennen. Klarwasser ist – ohne zusätzliche Reinigungsstufen im Klärwerk – für den Einsatz im Gemüseanbau und in Trinkwassergewinnungs- bzw. Wasserschutzgebieten nicht geeignet.

Umsetzungspotenzial im Untersuchungsgebiet

In Zusammenarbeit mit Akteuren aus verschiedenen Bereichen, insbesondere der projektbegleitenden Lenkungsgruppe, konnten potenzielle Anpassungsmaßnahmen im Untersuchungsgebiet ermittelt werden. In Tabelle 3.1.3 und Abbildung 3.1.4 sind die Ergebnisse in Form eines Maßnahmenkatalogs und einer Kartendarstellung zu finden. Es ist zu berücksichtigen, dass alle Maßnahmen hinsichtlich ihrer Machbarkeit diskutiert und für potenziell umsetzbar befunden wurden. Im Rahmen einer genaueren Planung ist in jedem Einzelfall die tatsächliche Umsetzbarkeit mit allen möglichen Folgen genau zu prüfen. Nähere Informationen finden sich auch hier im Abschlussbericht und auf der Informations- und Kommunikationsplattform www.klimafolgemanagement.de.

Mit steigendem Beregnungsbedarf wird die Umsetzung von Maßnahmen zunehmend wichtiger, um Wasserknappheit und Konflikten um das verfügbare Wasser rechtzeitig zu begegnen. Der Maßnahmenkatalog liefert Praktikern eine Reihe von Ansatzpunkten und Anregungen für die Umsetzung von Maßnahmen im Untersuchungsgebiet. Die Ansätze können in

andere Räume mit Substitutionsbedarf übertragen werden, und die Akteure können sich über ihre Erfahrungen austauschen, so dass Umsetzungen zunehmend schneller und effizienter ablaufen können. Die Ergebnisse können weiterhin von Kommunen, Behörden, Versorgern und Beratungsinstitutionen zur weiteren Planung genutzt werden.

Tab. 3.1.3: Maßnahmenkatalog (Farbkennzeichnung s. Legende in Abb. 3.1.4).

Betrachtungsraum	Aller westlich Celle, Landkreis Celle	Nr. 1
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	ausreichende Wasserführung in den Sommermonaten, zusätzliche Einleitung von 6,6 Mio. m ³ kommunalem und künftig bis zu 1 Mio. m ³ industriellem Klarwasser, intensives Maisanbaugebiet, weitere Biogasanlagen in Planung, tendenziell steigender Wasserbedarf, bereits eine Entnahmeerlaubnis erteilt	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Aschau bei Höfer, Landkreis Celle	Nr. 2
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Nach Abschluss der Flutung des Kalibergwerks Mariagluck könnte das Entnahmebauwerk an der Fuhse für Beregnungszwecke umgenutzt werden. Die Flutung dauert voraussichtlich bis 2015/2016 an.	
nächster Schritt	Antrag auf Nachnutzung durch Beregnungsverbände beim zuständigen Bergamt (LBEG, Clausthal-Zellerfeld), Prüfung	
Betrachtungsraum	Burgdorfer Aue, Region Hannover	Nr. 3
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	evtl. Entnahme möglich; Einleitung von etwa 3,9 Mio. m ³ Klarwasser jährlich	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Fuhse, nördlich der Bundesautobahn (BAB) 2, Landkreis Peine	Nr. 4
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Nach Auskunft der unteren Wasserbehörde ist für die Fuhse bei einer Wasserentnahme nicht von einer ökologischen oder mengenmäßigen Gefährdung auszugehen. In die Fuhse gelangen unter anderem stündlich etwa 270 m ³ Klarwasser aus der Kläranlage Peine.	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Fuhse bei Wathlingen, Landkreis Celle	Nr. 5
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Nach Abschluss der Flutung des Kalibergwerks Riedel könnte das dafür genutzte Entnahmebauwerk an der Fuhse zur Entnahme von Beregnungswasser umgenutzt werden. Die Flutung dauert voraussichtlich bis 2020/2021 an, kann sich aber auch noch länger hinziehen.	
nächster Schritt	Antrag auf Nachnutzung durch Beregnungsverbände beim zuständigen Bergamt (LBEG, Clausthal-Zellerfeld), Prüfung	
Betrachtungsraum	Johannisgraben, Region Hannover	Nr. 6
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	evtl. Entnahme möglich; Einleitung von etwa 1,8 Mio. m ³ Klarwasser jährlich	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Kohlshorn, Region Hannover	Nr. 7
Maßnahme	Wasserrückhalt in vorhandenen Oberflächenspeichern	
Bemerkung	Speicherung von Oberflächenwasser in einem Sand-/Kiesabbau	
nächster Schritt	beispielhafte Potenzialermittlung abgeschlossen, Machbarkeitsstudie	

Tab. 3.1.3 (Fortsetzung).

Betrachtungsraum	Lachte westlich Lachendorf, Landkreis Celle	Nr. 8
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	ausreichende Wasserführung in den Sommermonaten, Einleitung von 2,7 Mio. m ³ industriellen und 0,8 Mio. m ³ kommunalen Klarwassers pro Jahr	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Leine, Region Hannover	Nr. 9
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	ausreichende Wasserführung in den Sommermonaten, Vorfluter von Kläranlagen mit einer mittleren Jahresabwassermenge von min. 60 Mio. m ³ (KA Herrenhausen, Gümmerwald, Neustadt, Wunstorf)	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB und beim Wasser- und Schifffahrtsamt, Abschluss eines Nutzungsvertrages	
Betrachtungsraum	Mellendorf, Region Hannover	Nr. 10
Maßnahme	Wasserrückhalt in vorhandenen Oberflächenspeichern	
Bemerkung	Speicherung von Oberflächenwasser in einem Sand-/Kiesabbau	
nächster Schritt	beispielhafte Potenzialermittlung abgeschlossen, Machbarkeitsstudie	
Betrachtungsraum	Mühlengraben, Region Hannover	Nr. 11
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Vorfluter für das Niederschlagswasser des Hannover Airport, Langenhagen	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Örtze, ab Oldendorfer Kiesteiche, Landkreis Celle	Nr. 12
Maßnahme	Beregnung mit Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Überlauf von jährlich 1,8 Mio. m ³ Wasser aus den benachbarten Oldendorfer Kiesteichen als Folge eines Grundwasseranschnitts durch den Kiesabbau	
nächster Schritt	Antrag auf Entnahmeerlaubnis durch Beregnungsverbände bei der UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Ramlingen, Region Hannover	Nr. 13
Maßnahme	Wasserrückhalt in vorhandenen Oberflächenspeichern	
Bemerkung	Speicherung von Oberflächenwasser in einem Sand-/Kiesabbau	
nächster Schritt	beispielhafte Potenzialermittlung abgeschlossen, Machbarkeitsstudie	
Betrachtungsraum	Thönse, Region Hannover	Nr. 14
Maßnahme	Wasserrückhalt in vorhandenen Oberflächenspeichern	
Bemerkung	Speicherung von Oberflächenwasser in einem Sand-/Kiesabbau	
nächster Schritt	beispielhafte Potenzialermittlung abgeschlossen, Machbarkeitsstudie	
Betrachtungsraum	Kläranlage Bergen, Landkreis Celle	Nr. 15
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresschmutzwassermenge 2008: 0,8 Mio. m ³	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverband Bergen, Kläranlagenbetreiber und UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Kläranlage Barsinghausen, Region Hannover	Nr. 16
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 2,8 Mio. m ³	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Kläranlage Bennigsen, Region Hannover	Nr. 17
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,7 Mio. m ³	
nächster Schritt	ohne nähere Prüfung kann keine Aussage zu einer möglichen Nutzung getroffen werden, Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB	

Tab. 3.1.3 (Fortsetzung).

Betrachtungsraum	Kläranlage Eldagsen, Region Hannover	Nr. 18
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,8 Mio. m ³	
nächster Schritt	ohne nähere Prüfung kann keine Aussage zu einer möglichen Nutzung getroffen werden, Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB	
Betrachtungsraum	Kläranlage Evestorf, Region Hannover	Nr. 19
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,9 Mio. m ³	
nächster Schritt	ohne nähere Prüfung kann keine Aussage zu einer möglichen Nutzung getroffen werden, Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB	
Betrachtungsraum	Kläranlage Großburgwedel, Region Hannover	Nr. 20
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,9 Mio. m ³	
nächster Schritt	ohne nähere Prüfung kann keine Aussage zu einer möglichen Nutzung getroffen werden, Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB	
Betrachtungsraum	Kläranlage Hankensbüttel, Landkreis Gifhorn	Nr. 21
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,7 Mio. m ³ ; Kläranlage klärt neben kommunalem auch Abwasser aus der kartoffelverarbeitenden Industrie, Gefahr einer Verbreitung von Kartoffelschaderregern über das Beregnungswasser, zusätzliche Reinigung durch UV-Desinfektion notwendig	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB, Grobstudie zur Abwasserdesinfektion liegt vor, Finanzierung muss geklärt werden, Fördergelder?	
Betrachtungsraum	Kläranlage Pattensen, Region Hannover	Nr. 22
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,8 Mio. m ³	
nächster Schritt	ohne nähere Prüfung kann keine Aussage zu einer möglichen Nutzung getroffen werden, Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB	
Betrachtungsraum	Kläranlage Springe, Region Hannover	Nr. 23
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 1,6 Mio. m ³	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverbände, Kläranlagenbetreiber und UWB, Prüfung	
Betrachtungsraum	Kläranlage Wesendorf, Landkreis Gifhorn	Nr. 24
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,8 Mio. m ³	
nächster Schritt	keiner, Klarwassernutzung ist bereits umgesetzt, Betrieb einer Beregnungsmaschine	
Betrachtungsraum	Kläranlage Wittingen, Landkreis Gifhorn	Nr. 25
Maßnahme	Verregnung von kommunalem Klarwasser	
Bemerkung	Jahresabwassermenge 2008: 0,7 Mio. m ³ ; Klarwassernutzung ist seitens des Beregnungsverbandes beschlossen, Wasserverband will sich an Kosten beteiligen	
nächster Schritt	Aktuell erfolgt eine Abstimmung zwischen dem Beregnungsverband Wollerstorf und der UWB.	

Tab. 3.1.3 (Fortsetzung).

Betrachtungsraum	Adamsgraben, Landkreis Celle	Nr. 26
Maßnahme	Überleitung von Wasser aus einem Überschuss- in ein Bedarfsgebiet, Versickerung	
Bemerkung	Vorstudie liegt vor, Machbarkeit ist gegeben	
nächster Schritt	Umsetzung beispielsweise über ein Förderprogramm	
Betrachtungsraum	Aller westlich Gifhorn, Landkreis Gifhorn	Nr. 27
Maßnahme	Versickerung von Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Versickerung auf umliegenden Flächen in den Wintermonaten	
nächster Schritt	weitere Prüfung, Machbarkeitsstudie	
Betrachtungsraum	Burgdorfer Holz, Region Hannover	Nr. 28
Maßnahme	Versickerung von Oberflächenwasser aus Fließgewässern	
Bemerkung	Versickerung von Wasserüberschüssen ähnlich wie im Wulbeckprojekt wünschenswert	
nächster Schritt	weitere Prüfung, Machbarkeitsstudie	
Betrachtungsraum	Ise, Landkreis Gifhorn	Nr. 29
Maßnahme	Versickerung von Oberflächenwasser aus einem Fließgewässer	
Bemerkung	Hochwasserereignisse in den Wintermonaten sind gängig, Gewässer ufert im Raum Wahrenholz aus, benachbarte Grundwasserkörper sind sehr angespannt	
nächster Schritt	Vorstudie liegt vor, weitere Prüfung notwendig, kleinräumig Versickerungspotenzial	
Betrachtungsraum	Meinersen, Landkreis Gifhorn	Nr. 30
Maßnahme	Aufstau von Entwässerungsgräben, Überleitung von Wasser aus einem Überschuss- in ein Bedarfsgebiet	
Bemerkung	Wasserrückhalt in den landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Aufstau von Gräben, Anhebung des Grundwasserstandes, Einsparung einer Beregnungsgabe, zusätzlich Abschlag von überschüssigem Wasser aus der Oker (Schwermetallgehalt beachten)	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverband und UWB besteht, Vorstudie liegt vor, Probestau und Ergebnisauswertung	
Betrachtungsraum	Raum Hänigsen, Region Hannover	Nr. 31
Maßnahme	Aufstau von Entwässerungsgräben	
Bemerkung	Wasserrückhalt in den landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Aufstau von Gräben, Anhebung des Grundwasserstandes, Einsparung einer Beregnungsgabe	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverband und UWB, Vorstudie mit Probestau durchführen	
Betrachtungsraum	Raum Otze, Region Hannover	Nr. 32
Maßnahme	Aufstau von Entwässerungsgräben	
Bemerkung	Wasserrückhalt in den landwirtschaftlich genutzten Flächen durch Aufstau von Gräben, Anhebung des Grundwasserstandes, Einsparung einer Beregnungsgabe	
nächster Schritt	Kooperation Beregnungsverband und UWB, Vorstudie mit Probestau durchführen	

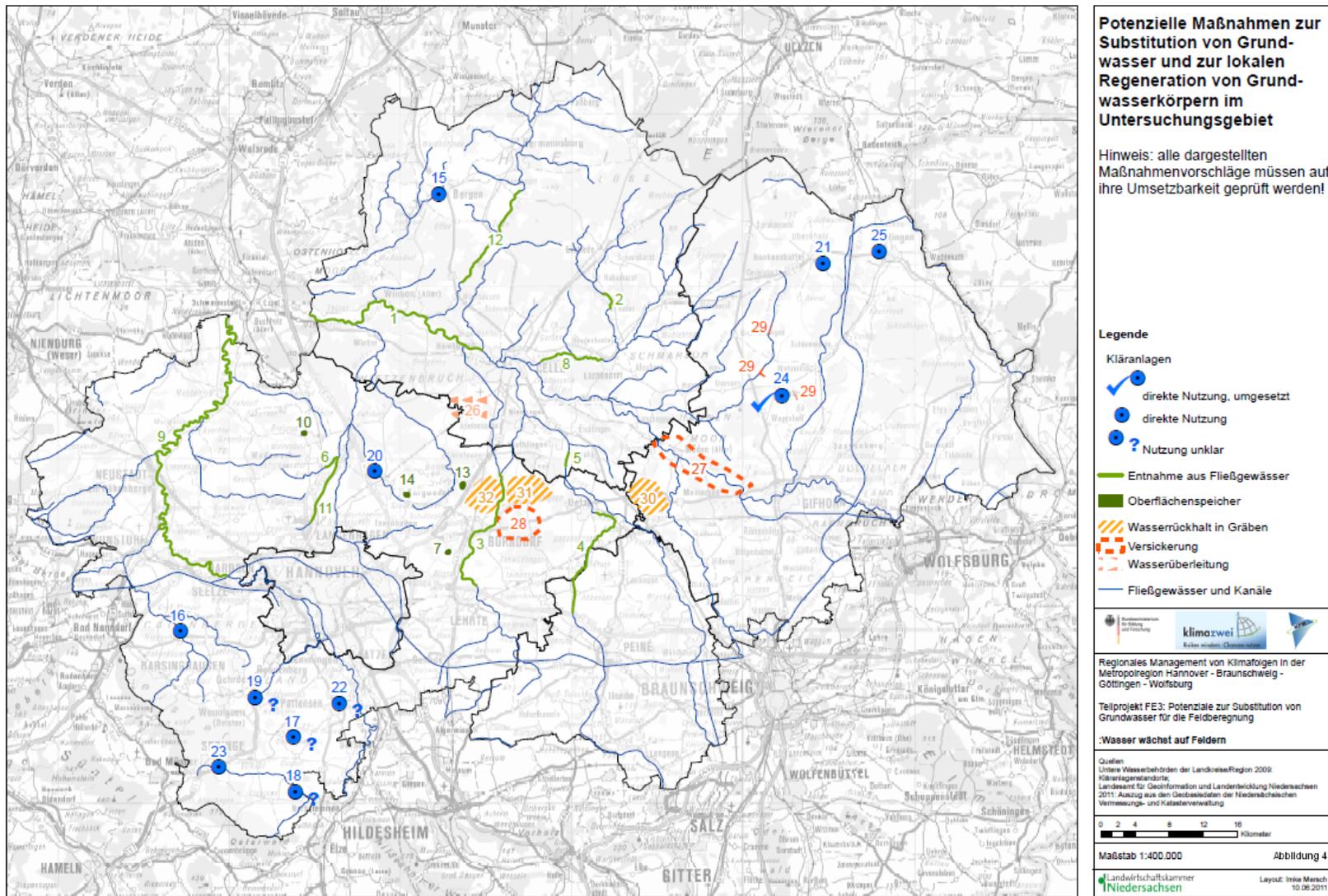


Abb. 3.1.4: Potenzielle Manahmen zur Substitution von Grundwasser und zur lokalen Regeneration von Grundwasserkorpern im Untersuchungsgebiet.

3.1.5 Literatur und Datenquellen

- BADEGEWÄSSERRICHTLINIE (2006): Richtlinie 2006/7/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG – Amtsbl. EU **L 64**: 37–51.
- BAEUMER, K. (1978): Allgemeiner Pflanzenbau. – Stuttgart (UTB).
- CHMIELEWSKI, F.-M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. – In: ENDLICHER, W. & GERSTENGARBE, F.-W. (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel - Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. – S. 75–82, <http://www.pik-potsdam.de/infotehek/buecher_broschueren/broschuere_cms_100.pdf> (Abruf 01.03.2011).
- DIN – DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1999): DIN 19650 - Hygienisch-mikrobiologische Klassifizierung und Anwendung von Bewässerungswasser. – Berlin (Beuth).
- DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2011): Wetterlexikon - Eintrag „Wasserbilanz, klimatische“. – <<http://www.dwd.de/>> (Abruf 23.05.2011).
- FRICKE, E. & HEIDORN, H. (2003): Effizientes landwirtschaftliches Berechnungsmanagement. – Fachverband Feldberechnung, <<http://www.fachverband-feldberechnung.de/pdf/Beregnu1.pdf>> (Abruf 20.12.2010).
- FVF - FACHVERBAND FELDBERECHNUNG E. V. (2008): Umfrage bei den Berechnungsverbänden zu Wasserherkünften und Berechnungsflächen. – FVF.
- HEIDT, L. (2009): Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Berechnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens. – GeoBerichte **13**: 109 S., 66 Abb., 14 Tab., Anh., 5 Kt.; Hannover (LBEG).
- KRAUSE, A. (2010): Auswertung der Vegetationsperiode in der Metropolregion Hannover - Braunschweig - Göttingen (- Wolfsburg). – Werkstattbericht. Institut für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover, <http://www.klimafolgenmanagement.de/UserFiles/file/Werkstattbericht_Vegetationsperiode.pdf> (Abruf 01.03.2010).
- LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2010a): Bodenübersichtskarte 1 : 50 000, Standortbezogenes ackerbauliches Ertragspotenzial (AEpot). – Abruf vom NIBIS®-Kartenserver, <<http://nibis.lbeg.de/cardomap3>>.
- LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2010b): Administrative Grenzen. – Abruf vom NIBIS®-Kartenserver, <<http://nibis.lbeg.de/cardomap3>>.
- LBEG (2010c): Mittlere jährliche Berechnungsmenge. – <http://www.lbeg.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=835&psmand=4>.
- LBEG (2010d): Mittlere Berechnungsbedürftigkeit. – Modellierung durch das LBEG im Rahmen des Projektes.
- LSKN - LANDESBETRIEB FÜR STATISTIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE NIEDERSACHSEN (2007): Agrarstrukturerhebung 2007 (zugleich EG-Agrarstrukturerhebung 2007). – Hannover.
- MU - NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (2007): Runderlass vom 25.06.2007 zur „Mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers“. – (VORIS 2820), <<http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/6558>> (Abruf 23.11.2010).
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1982): Berechnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen. – Geol. Jb. **F13**: 3–66, 43 Abb., 26 Tab.; Hannover.
- VLK - VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN (2010): Klimawandel und Landwirtschaft - Anpassungsstrategien im Bereich Pflanzenbau. – <<http://www.landwirtschaftskammern.de/pdf/klimawandel.pdf>> (Abruf: 08.12.2010).
- UWB - UNTERE WASSERBEHÖRDEN DER LANDESKREISE CELLE, GIFHORN UND PEINE SOWIE DER REGION HANNOVER (2011): Auskünfte zu Berechnungsverbänden und Berechnungsmengen.

4 Teilprojekt 4: Naturschutz

4.1 Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Netzwerk Natura 2000 in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg und Konsequenzen für den Naturschutz

CHRISTINA WEISS, MICHAEL REICH &
MICHAEL RODE

4.1.1 Hintergrund und Zielsetzung

Es ist inzwischen unstrittig, dass der Klimawandel europaweit Veränderungen von Arten und Lebensgemeinschaften zur Folge haben wird, wobei es auf der regionalen Ebene sowohl Gewinner als auch Verlierer geben wird (vgl. BERRY et al. 2003, POMPE et al. 2008, OLOFFSON et al. 2008). Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, am Beispiel der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg zu ermitteln, welche Auswirkungen der Klimawandel auf das Netzwerk Natura 2000 haben kann und welche Konsequenzen für den Naturschutz sich daraus ergeben. Dazu wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Wie werden die Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie (FFH-RL, 92/43/EWG) in der Metropolregion potenziell durch den Klimawandel beeinflusst?
- Welche der in der Metropolregion vorkommenden Arten aus der FFH-Richtlinie und der Vogelschutzrichtlinie (VSChRL, 79/409/EWG) werden potenziell durch diese Veränderungen ihrer Lebensräume beeinflusst?
- Mit welchen Maßnahmen lassen sich ungünstige Veränderungen verhindern oder zumindest abmildern?

4.1.2 Aktuelle Situation des Netzwerks Natura 2000 im Untersuchungsgebiet

In der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg sind 184 FFH-Gebiete und 32 Vogelschutzgebiete gemeldet. Sie bedecken eine Fläche von 2 088 km² und damit 11 % der Metropolregion. In den FFH-Gebieten wurden 49 verschiedene Lebensraumtypen aus dem Anhang I der FFH-RL erfasst (Datengrundlage: NLWKN 2008a, 2009; NLF 2009). Es sind vor allem verschiedene Typen der Wälder (12), Heiden und Magerrasen (10), Gewässer (8), sowie der Sümpfe, Niedermoore und Ufer (7) vertreten. Flächenmäßig dominieren in den FFH-Gebieten der Metropolregion auf 80 % jedoch einige wenige FFH-Lebensraumtypen. „Natürliche eutrophe Seen mit einer Vegetation des Magnopotamions oder Hydrocharitions“ (LRT 3150) machen 31 % der gemeldeten FFH-Lebensraumtypenfläche in den Schutzgebieten aus. Davon entfallen allerdings 29 % allein auf das Steinhuder Meer. „Waldmeister-Buchenwald“ (LRT 9130) bedeckt 21 % der FFH-Lebensraumtypenfläche und steht damit an zweiter Stelle. „Subatlantischer oder mitteleuropäischer Stieleichenwald oder Eichen-Hainbuchenwald“ (LRT 9160, 11 %) sowie „Hainsimsen-Buchenwald“ (LRT 9110, 6 %) sind weitere dominante Waldtypen.

Von den Arten der Anhänge II und IV der FFH-RL und Anhang I der VSChRL kommen 124 in der Metropolregion vor (Datengrundlage: NLWKN 2008a, 2009a/2010a, 2009b/2010b; HECKENROTH & LASKE 1997; BAUER, BEZZEL & FIEDLER 2005). Zwei Drittel der Arten gehören zu den Säugetieren (25) und Vögeln (50), das letzte Drittel Arten verteilt sich auf weitere acht Artengruppen.

4.1.3 Potenzielle Beeinflussung der FFH-Lebensraumtypen durch den Klimawandel

Methode

Die potenzielle Beeinflussung der FFH-Lebensraumtypen durch den Klimawandel wurde über die Veränderung relevanter Umweltfaktoren abgeleitet. Welche Umweltfaktoren für die FFH-Lebensraumtypen relevant sind, wurde anhand von Literaturangaben zu Standort, Verbreitung und Artenzusammensetzung der FFH-Lebensraumtypen ermittelt (DRACHENFELS 2008a, b; SSYMANK et al. 1998; POTT 1995, 1996; PREISING 1984; PREISING et al. 1990–1997; DRACHENFELS 2004 u. a.). Aus dieser Zusammenstellung wurden anschließend jene Umweltfaktoren herausgefiltert, die sich in der Metropolregion durch den Klimawandel (KRAUSE & GROSS 2011a, b) verändern können. Für sie wurden Parameter definiert, mit denen sich die Veränderungen messen lassen und die mit den Daten der Klimamodellierung errechnet werden können. Die Veränderungen der Umweltfaktoren wurden ermittelt, indem die Ausprägung der Parameter im Zeitraum 2071–2100 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961–1990 verglichen wurde.

Die Klimamodellierung zeigt für 2071–2100 gegenüber dem Referenzzeitraum für alle Umweltfaktoren und ihre Parameter (Tab. 4.1.1) in der Metropolregion die gleiche Änderungstendenz. Voraussichtlich nimmt der Trockenstress in der Vegetationszeit zu, da sich die klimatische Wasserbilanz verringert, der Grundwasserstand absinkt (FÜRSTENBERG,

MATHEJA & MEINKEN 2011) und die Sonnenscheindauer in den Sommermonaten zunimmt. Durch die Verlagerung der Niederschläge aus der Vegetationszeit in den Winter ist eine Zunahme des Feuchtestresses außerhalb der Vegetationszeit möglich (vgl. ebd.). Weiter ist eine stärkere Erwärmung von Boden, Wasserflächen und Luft durch die Zunahme der Sonnenscheindauer in den Sommermonaten anzunehmen. Der Kältestress wird dagegen voraussichtlich abnehmen, da die Minimumtemperatur im Januar höher und das Spätfrostisiko im Frühling geringer ausfallen werden (KRAUSE 2010). Die Überflutungshäufigkeit an Fließgewässern wiederum wird potenziell zunehmen, da die Gesamtsumme der klimatischen Wasserbilanz außerhalb der Vegetationszeit steigt und innerhalb der Vegetationszeit mit heftigeren Regenereignissen zu rechnen ist (KRAUSE & GROSS 2010a, b).

Für jeden FFH-Lebensraumtyp wurde nun bewertet, wie diese klimawandelbedingten Veränderungen der Umweltfaktoren seinen Erhaltungszustand voraussichtlich beeinflussen (vgl. WEISS, REICH & RODE 2011). Gemessen wird der Erhaltungszustand anhand der Kriterien typische Habitatstruktur, typische Artenzusammensetzung, Fläche der Vorkommen und Größe des Verbreitungsgebiets. Die Beeinflussung wird als tendenzielle Beeinflussung angegeben (günstig, vermutlich günstig, vermutlich ungünstig, ungünstig, keine wesentliche). In einem letzten Schritt wurden mögliche Auswirkungen auf die FFH-Gebiete bilanziert, indem die in einem FFH-Gebiet vorkommenden FFH-Lebensraumtypen mit ihrer Beeinflussung dargestellt wurden.

Tab. 4.1.1: Änderungstendenz der für FFH-Lebensraumtypen in der Metropolregion relevanten Umweltfaktoren und ihrer Parameter im Zeitraum 2071–2100 gegenüber 1961–1990 (kWB = klimatische Wasserbilanz, GW = Grundwasserstand, Tmin = Minimumtemperatur, Vegetationszeit November–März, Sommermonate Juni, Juli, August).

Änderungstendenz 2071-2100 zu 1961-1990	Umweltfaktor	Parameter	Zeitraum
↑	Trockenstress (Mesoklima)	kWB	Vegetationszeit
↑		GW	
↑		(Mikroklima)	Sonnenscheindauer
↑	Feuchtestress (Mesoklima)	kWB	ausserhalb Vegetationszeit
↑		GW	
↑	Erwärmung	Sonnenscheindauer	Sommermonate
↓	Kältestress	Tmin	Januar
↓		Spätfrostisiko	Frühling
↑	Überflutungshäufigkeit	Starkregen	Vegetationszeit
↑		kWB	ausserhalb Vegetationszeit

↑ Zunahme
↓ Abnahme

Ergebnisse

Für 63 % der FFH-Lebensraumtypen (Abb. 4.1.1) ist durch die klimawandelbedingte Veränderung relevanter Umweltfaktoren potenziell

von einer ungünstigen Beeinflussung auszugehen. Demgegenüber werden vermutlich nur 26 % der FFH-Lebensraumtypen günstig beeinflusst.

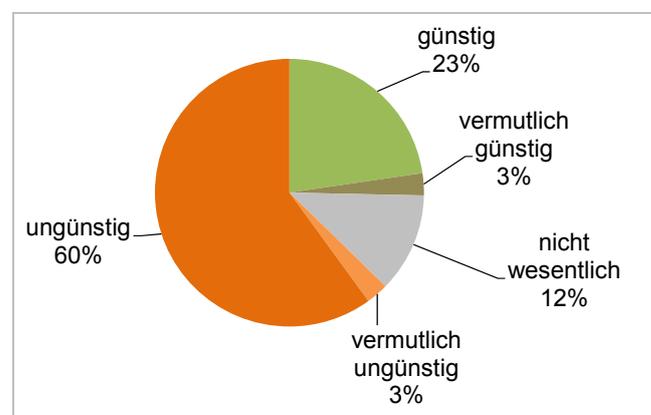


Abb. 4.1.1: Potenzielle Beeinflussung der FFH-Lebensraumtypen in der Metropolregion durch den Klimawandel 2071–2100 (55 Ausprägungen von 49 FFH-Lebensraumtypen).

Insbesondere für den überwiegenden Teil der Feuchtlebensräume ist anzunehmen, dass sich ihr Erhaltungszustand verschlechtert (Abb. 4.1.2). Ursache dafür sind die in der Vegetationszeit abnehmende klimatische Wasserbilanz bzw. die Absenkung des Grundwassers. Habitatstrukturen wie Tümpel, Pfützen und feuchte Senken, die Lebensraum für typische Pflanzen und Tiere (z. B. Amphibien) dieser Lebensräume sind, nehmen möglicherweise ab. In

Folge dessen können die lebensraumtypischen feuchte- und nassetoleranten Arten verdrängt werden. Zu diesen potenziell ungünstig beeinflussten FFH-Lebensraumtypen zählen Moore, feuchte oder feucht-kühle Wälder (Moor- und Bruchwälder, feuchte Eichen-Mischwälder, Schatthang- und Schluchtwälder) sowie Feuchtgebüsche, gehölzfreie Biotope der Sümpfe, Niedermoore und Ufer, feuchte Heiden sowie das Feuchtgrünland.

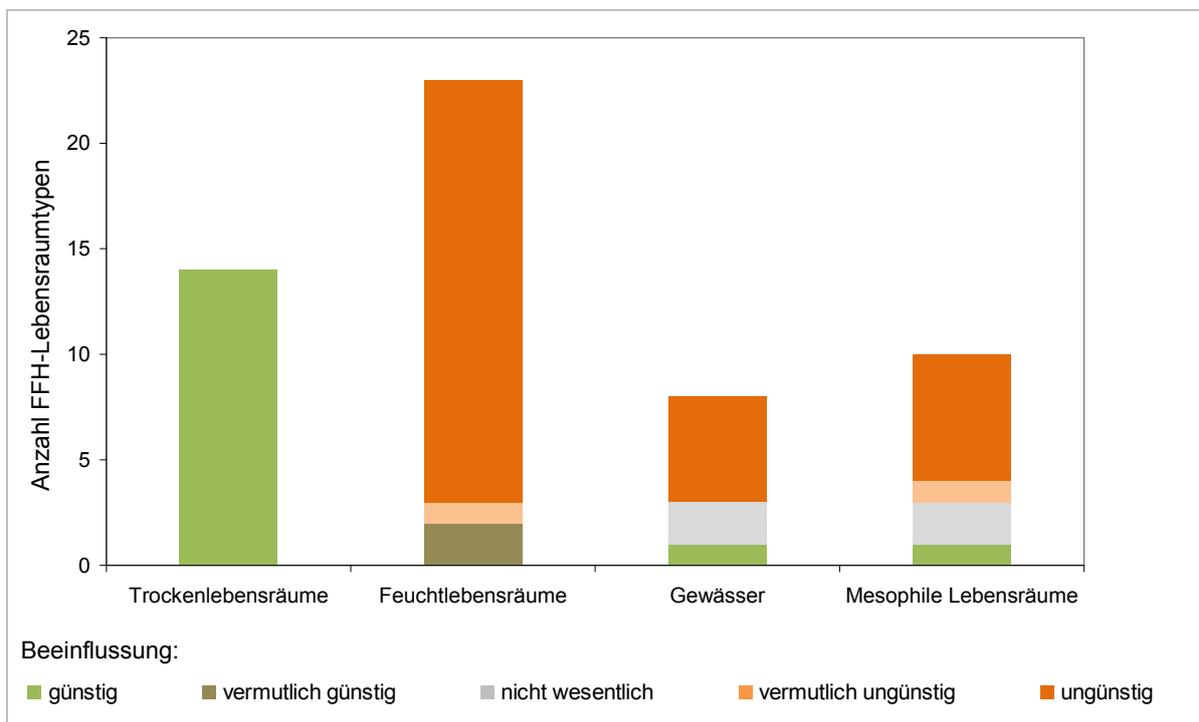


Abb. 4.1.2: Potenzielle Beeinflussung der FFH-Lebensraumtypen in der Metropolregion durch den Klimawandel 2071–2100, gegliedert nach Feuchtegruppen. Beeinflussung unter der Annahme, dass jene FFH-Lebensraumtypen, die sowohl grundwasser- als auch niederschlagsabhängig vorliegen können, grundwasserabhängig sind (55 Ausprägungen von 49 FFH-Lebensraumtypen).

Voraussichtlich ungünstig beeinflusste Gewässer-Lebensraumtypen sind perennierende Fließ- und Stillgewässer (Abb. 4.1.2). So gilt beispielsweise für Fließgewässer, dass sich durch den zunehmenden Trockenstress in der Vegetationszeit Niedrigwasserperioden verlängern (vgl. FÜRSTENBERG, MATHEJA & MEINKEN 2011). Der geringere Wasserkörper erwärmt sich schneller, hierdurch sinkt die Sauerstoffspeicherkapazität des Wassers und die Lebensbedingungen für anspruchsvolle Arten verschlechtern sich. Auch die Konzentration

von Nähr- und Schadstoffen verändert sich ungünstig. Zwar haben häufigere Überflutungen kurzfristig einen günstigen Einfluss auf Fließgewässerdynamik und Habitatstrukturen, können aber die negativen Folgen längerer Niedrigwasserperioden vermutlich nicht ausgleichen.

Für die Trockenlebensräume verbessert sich dagegen voraussichtlich ihre typische Artenzusammensetzung und Habitatstruktur durch erhöhten meso- und mikroklimatischen Tro-

ckenstress in der Vegetationszeit. Als entsprechend günstig beeinflusste FFH-Lebensraumtypen sind trocken-warme Wälder, trocken-warme Offenbodenbiotope und Felsfluren sowie trockene Heiden und Magerrasen anzusehen.

Auch ein relativ hoher Anteil mesophiler FFH-Lebensraumtypen ist potenziell ungünstig beeinflusst. Dazu gehören beispielsweise verschiedene Buchenwald-Lebensraumtypen. Sie sind empfindlich gegenüber Trockenstress in der Vegetationszeit, der durch eine abnehmende klimatische Wasserbilanz ausgelöst wird.

In der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg sind die meisten FFH-Gebiete von FFH-Lebensraumtypen geprägt, die potenziell ungünstig beeinflusst werden (Abb. 4.1.3). Das liegt vor allem

an den großen Flächenanteilen, die Buchenwälder in den FFH-Gebieten einnehmen. Potenziell günstig beeinflusste FFH-Lebensraumtypen überwiegen in nur wenigen Gebieten (Abb. 4.1.3). Diese konzentrieren sich im Weser- und Leinebergland (Süden der Metropolregion) und werden vornehmlich von Trockenrasen dominiert. Vorkommen von potenziell ungünstig beeinflussten FFH-Lebensraumtypen gibt es in insgesamt 156 der 184 FFH-Gebiete der Metropolregion. In diesen Gebieten sind daher möglicherweise Maßnahmen erforderlich, damit die Erhaltungsziele für die FFH-Lebensraumtypen auch in Zukunft eingehalten werden können. Lediglich in sieben Gebieten sind die lebensraumtypenbezogenen Erhaltungsziele durch den Klimawandel nicht in Gefahr, weil sämtliche Lebensraumtypen potenziell durch den Klimawandel günstig oder nicht beeinflusst werden.

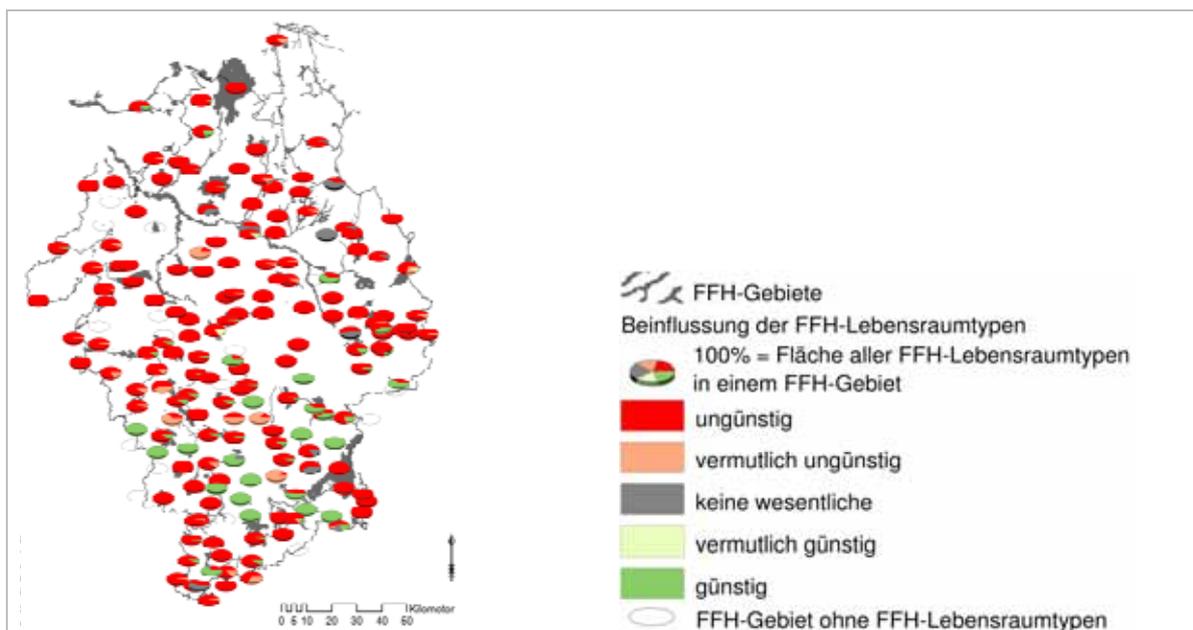


Abb. 4.1.3: Potenzielle Beeinflussung der FFH-Lebensraumtypen in den FFH-Gebieten der Metropolregion durch den Klimawandel 2071–2100 (Datengrundlage: NLWKN 2008a, 2009; NLF 2009; Kartengrundlage: NLWKN 2008b). Beeinflussung unter der Annahme, dass jene FFH-Lebensraumtypen, die sowohl grundwasser- als auch niederschlagsabhängig vorliegen können, grundwasserabhängig sind.

4.1.4 Potenzielle Beeinflussung der Tier- und Pflanzenarten aus Anhang II und IV der FFH-RL und der Vogelarten aus Anhang I der VSchRL durch den Klimawandel

Methode

Welchen Einfluss der Klimawandel auf Tier- und Pflanzenarten hat, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab und ist für jede Art als individueller Wirkkomplex zu erfassen (physiologische Empfindlichkeit in unterschiedlichen Lebensphasen, Wechselbeziehungen mit anderen Arten, Habitatansprüche). Für eine entsprechende Analyse der 124 Arten fehlen jedoch die erforderlichen Grundlagen. Deshalb wurde die potenzielle Beeinflussung der Arten durch den Klimawandel näherungsweise über die potenzielle Beeinflussung ihrer Habitate ermittelt, da Qualität und Größe eines Lebensraums einen entscheidenden Einfluss auf die Größe und Vitalität einer Population haben (vgl. WEDDELING et al. 2007). In einem ersten Schritt wurden die Habitatansprüche jeder Art aus der Literatur (PETERSEN et al. 2003, 2004; NLWKN 2009c/2010c u. a.) zusammengestellt, wobei nur Habitate berücksichtigt wurden, die in der Metropolregion vorkommen. Sucht eine Art in ihrem Jahres- und Lebenszyklus verschiedene Teilhabitate auf, so wurde zwischen

den Habitaten für Fortpflanzung/Brut, Nahrungssuche/Jagd, Versteck/Winter/Zugzeit (bei Zugvögeln) unterschieden. Im zweiten Schritt wurde die potenzielle Beeinflussung der Habitate durch den Klimawandel eingeschätzt. Hierfür wurde auf die Einstufung der Empfindlichkeiten der in der Metropolregion vorkommenden Biotoptypen gegenüber dem Klimawandel zurückgegriffen (vgl. WEISS, REICH & RODE 2011). Gegebenenfalls wurden abschließend unterschiedliche Beeinflussungen der Teilhabitate zu einer Gesamtbeeinflussung aggregiert. Die Gesamtbeeinflussung richtet sich dabei nach der negativsten Beeinflussung. Sie wurde wiederum als tendenzielle Beeinflussung formuliert (günstig, vermutlich günstig, vermutlich ungünstig, ungünstig, keine wesentliche).

Ergebnisse

Von den 124 in der Metropolregion vorkommenden Tier- und Pflanzenarten aus Anhang II und IV der FFH-RL und Anhang I der VSchRL ist für nahezu jede zweite Art (53 %, Abb. 4.1.4) eine ungünstige Beeinflussung auf Grund der potenziell ungünstigen Entwicklung ihrer Habitate bzw. Teilhabitate anzunehmen. Dem gegenüber stehen nur 14 % potenziell günstig beeinflusste Arten. Voraussichtlich nicht wesentlich beeinflusst werden vermutlich 33 % der untersuchten Arten.

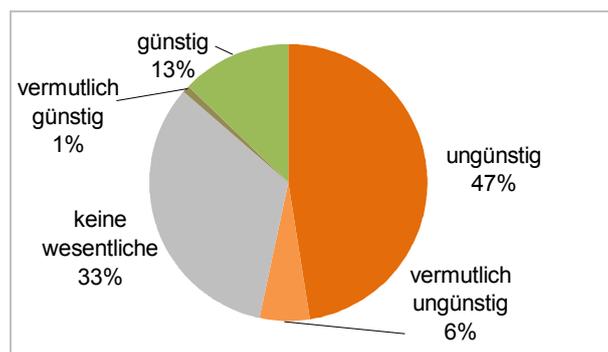


Abb. 4.1.4: Potenzielle Beeinflussung der 124 in der Metropolregion vorkommenden Tier- und Pflanzenarten aus Anhang II und IV der FFH-RL sowie Anhang I der VSchRL durch den Klimawandel 2071–2100 auf Grund der Beeinflussung ihrer Habitate.

Ein hoher Anteil potenziell ungünstig beeinflusster Arten findet sich bei den Artengruppen, die auf Gewässer und feuchte Lebensräume angewiesen sind, wie Amphibien, Fische und Mollusken (Abb. 4.1.5). Trockenstress in Feuchtgebieten und Niedrigwasserperioden in Gewässern während der Vegetationszeit beeinflussen diese Arten ungünstig. So drohen beispielsweise Populationsrückgänge für die auf sommerkühle Fließgewässer angewiesene

Fischart Groppe (*Cottus gobio*), den auf ausreichend Laichgewässer angewiesenen Laubfrosch (*Hyla arborea*) oder die Kalksümpfe oder -moore benötigende Vierzähnlige Windelschnecke (*Vertigo geyeri*). Auch der relativ hohe Anteil vermutlich ungünstig beeinflusster Vogelarten ist durch Arten bedingt, die zur Brut oder Nahrungssuche feuchte Lebensräume aufsuchen, wie z. B. der Kranich (*Grus grus*).

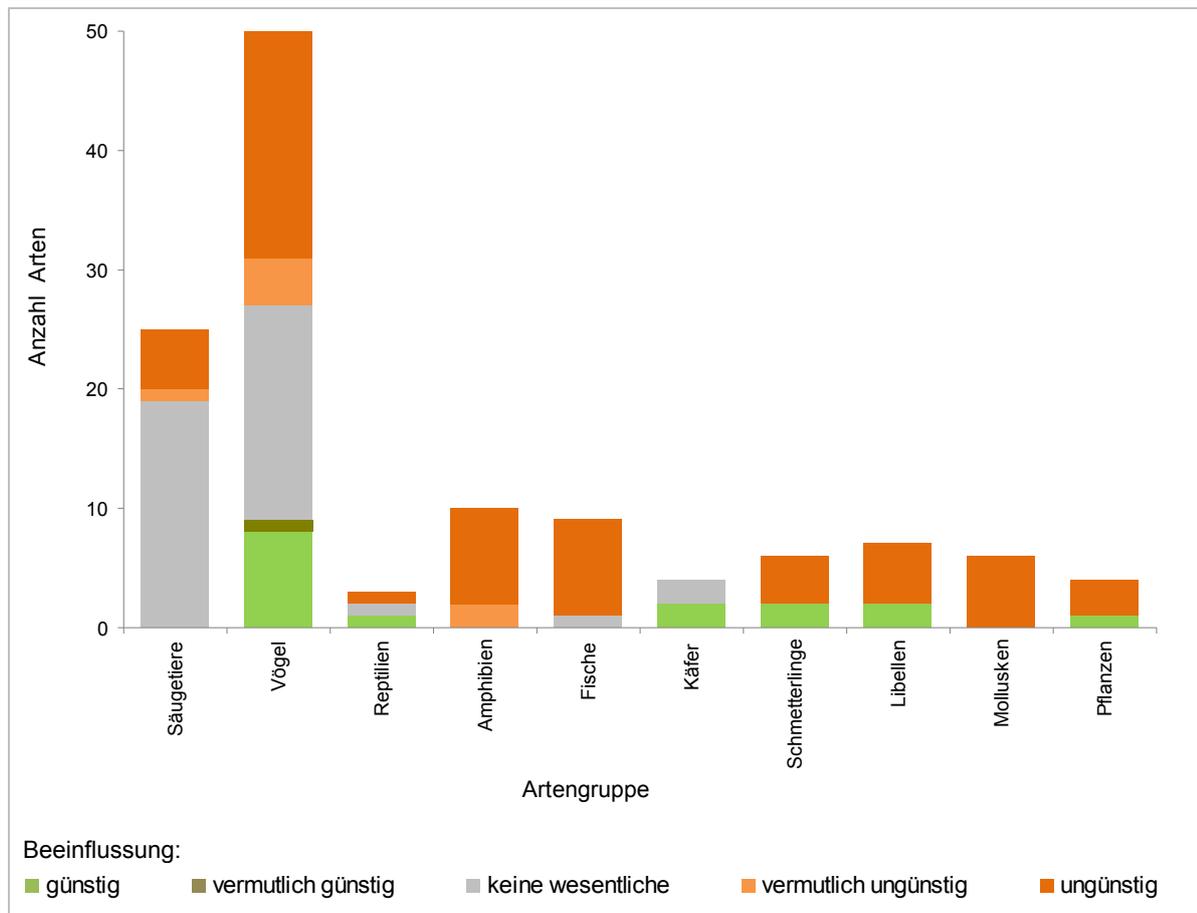


Abb. 4.1.5: Potenzielle Beeinflussung der in der Metropolregion vorkommenden Tier- und Pflanzenarten aus Anhang II und IV der FFH-RL sowie Anhang I der VSchRL durch den Klimawandel 2071–2100 auf Grund der Beeinflussung ihrer Habitate.

Der Anteil potenziell günstig beeinflusster Arten ist dagegen in allen Artengruppen kleiner. Ein relativ hoher Anteil von Arten, die vermutlich nicht wesentlich beeinflusst werden, ist unter den Säugetieren – besonders den Fledermäusen – und Vögeln zu verzeichnen. Viele dieser Arten nutzen ein breites Spektrum an Habitaten, z. B. Großsäuger wie der Luchs (*Lynx lynx*), Vögel wie der Rotmilan (*Milvus milvus*) oder verschiedene Fledermausarten.

In den FFH-Gebieten der Metropolregion sind zumeist nur wenige Tier- und Pflanzenarten aus Anhang II und IV der FFH-RL gemeldet, der Median liegt bei nur zwei Arten. FFH-Gebiete, in denen diese Arten vom Klimawandel vermutlich ungünstig beeinflusst werden,

dominieren in der Metropolregion (Abb. 4.1.6). Im Südwesten sind es Fledermäuse, die dazu führen, dass viele Gebiete hinsichtlich dieser Arten als nicht wesentlich beeinflusst dargestellt sind. Die Häufung von Gebieten mit vermutlich profitierenden Arten im nördlichen und südlichen Bereich der Metropolregion ist meist auf Vorkommen wärmeliebender Insekten zurückzuführen.

Insgesamt kommen in 83 der 184 FFH-Gebiete (45 %) potenziell ungünstig beeinflusste FFH-Arten vor. In 26 Gebieten (14 %) werden die Erhaltungsziele dagegen möglicherweise leichter erreicht, da die Habitats aller gemeldeten FFH-Arten durch den Klimawandel potenziell begünstigt werden.

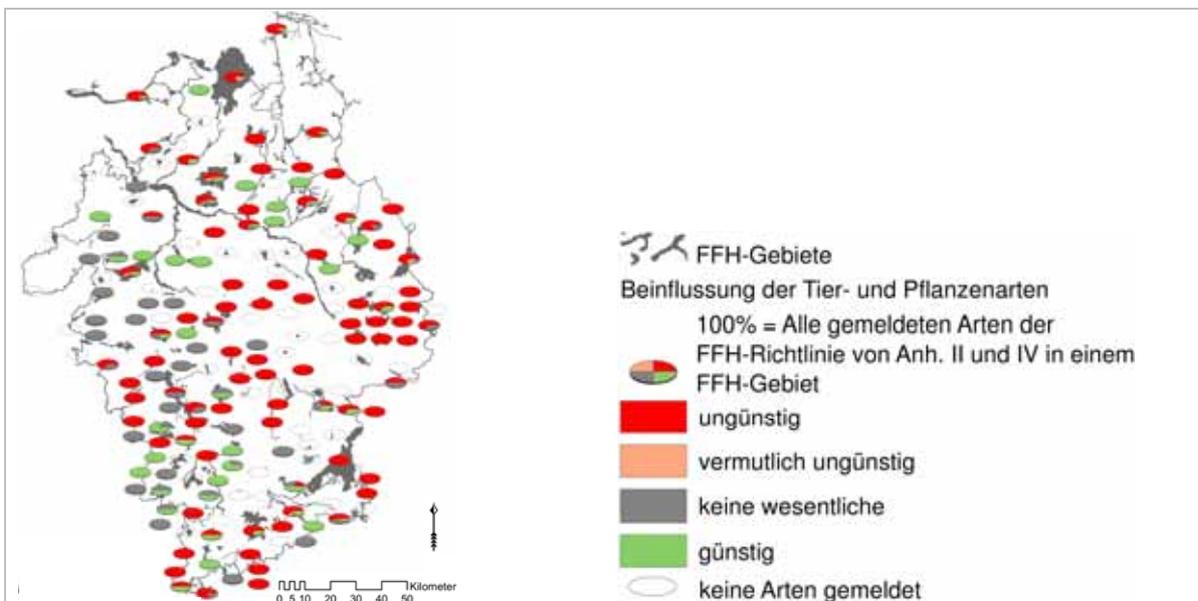


Abb. 4.1.6: Potenzielle Beeinflussung der in den FFH-Gebieten der Metropolregion gemeldeten FFH-Arten aus Anhang II und IV der FFH-RL im Zeitraum 2071–2100 (Datengrundlage: NLWKN 2008a; Kartengrundlage: NLWKN 2008b).

In den Vogelschutzgebieten sind im Median neun Vogelarten aus Anhang I der VSchRL gemeldet. Es überwiegen Vogelschutzgebiete (25 von 32), in denen sowohl Arten vorkommen, deren Habitate durch den Klimawandel potenziell ungünstig als auch günstig bzw.

nicht beeinflusst werden (Abb. 4.1.7). Vogelarten, deren Habitate durch den Klimawandel potenziell ungünstig beeinflusst werden (Kategorien „ungünstig“ und „vermutlich ungünstig“, Abb. 4.1.7), sind allerdings für insgesamt 29 der 32 Gebiete gemeldet.

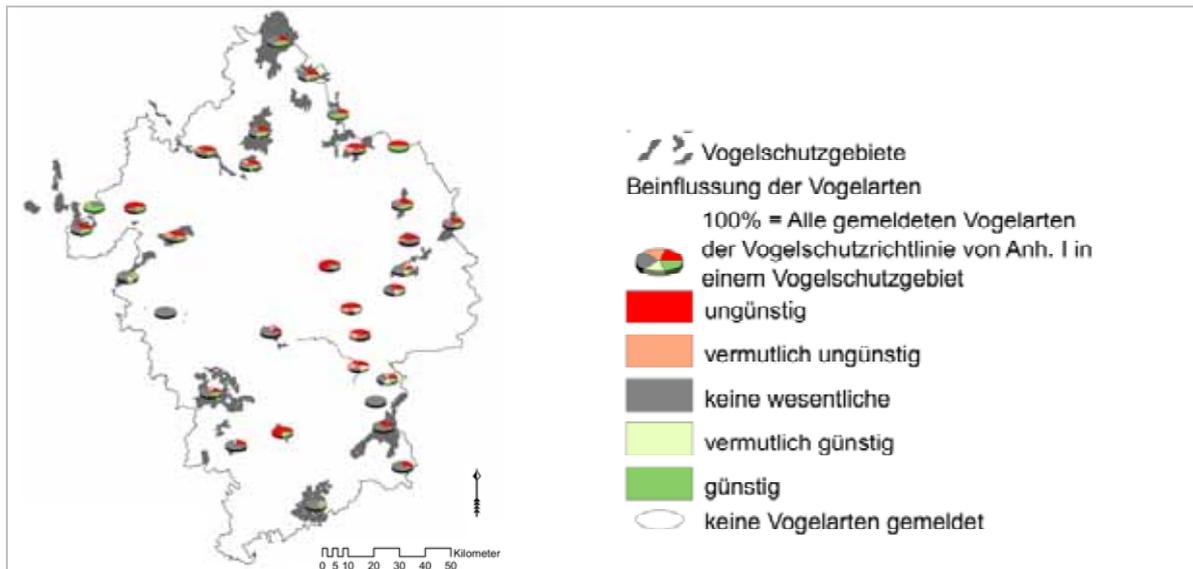


Abb. 4.1.7: Potenzielle Beeinflussung der in den Vogelschutzgebieten der Metropolregion gemeldeten Vogelarten aus Anhang I der VSchRL im Zeitraum 2071–2100 (Datengrundlage: NLWKN 2008a; Kartengrundlage: NLWKN 2008b).

4.1.5 Maßnahmenvorschläge zur Minderung der negativen Folgen des Klimawandels und künftige Naturschutzziele

Um einer Verschlechterung des Erhaltungszustands der vom Klimawandel potenziell ungünstig beeinflussten FFH-Lebensraumtypen und Habitats der Arten entgegenzuwirken und die Erhaltungsziele der FFH- und Vogelschutzgebiete auch zukünftig zu erreichen, sind geeignete Maßnahmen erforderlich. Sie sollen in erster Linie die Robustheit der FFH-Lebensraumtypen und Arten gegenüber negativen Einflüssen des Klimawandels erhöhen. Zusätzlich sind ggf. Maßnahmen erforderlich, die gezielt auf die Umweltfaktoren Einfluss nehmen, um klimawandelbedingte Veränderungen möglichst zu kompensieren.

Belastungen reduzieren

Gegenwärtige Belastungen von FFH-Lebensraumtypen und Habitats müssen auf ein Minimum reduziert werden, damit unabänderliche Klimawandelveränderungen abgepuffert werden können (BALZER, DIETERICH & BEINLICH 2007; BEHRENS, FARTMANN & HÖLZEL 2009; WEISS, REICH & RODE 2011). Weil für 91 % aller FFH-Lebensraumtypen der Metropolregion der Wasserhaushalt der entscheidende Faktor ist, sind besonders Störungen des Wasserhaushaltes zu beseitigen. Tabelle 4.1.2 zeigt beispielhaft Maßnahmen für grundwasserabhängige Landbiotope und Fließgewässer.

Tab. 4.1.2: Beispiel für Maßnahmen, mit denen sich Belastungen bei grundwasserabhängigen Landbiotopen und Fließgewässern reduzieren lassen (KAISER & WOHLGEMUTH 2002 und NLWKN 2009c/2010c, ergänzt).

Störung des Grundwasserhaushalts bei Landbiotopen	Maßnahmen <ul style="list-style-type: none"> ■ Entwässerungsgräben schließen ■ Drainagen beseitigen ■ Sohlanhebung bei eingetieften Fließgewässern ■ Grundwasserentnahme im EZG verringern ■ Entkusseln von Mooren
Störung des natürlichen Zustands von Fließgewässern	Maßnahmen
Durchgängigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ■ störende Bauwerke rückbauen ■ Wasserabzweigung einschränken (Fischteiche, Privatgrundstücke)
Erwärmung, Nähr- und Schadstoffkonzentration	<ul style="list-style-type: none"> ■ Galeriewald zur Beschattung aufwachsen lassen ■ Abwärme- und Abwassereinleitung stoppen ■ Pufferstreifen gegen Nähr- und Schadstoffeinträge

Vorkommen erweitern

Große Vorkommen von Arten und FFH-Lebensraumtypen sind robuster gegenüber negativen Einflüssen des Klimawandels, weil Teilbereiche mit größerer Wahrscheinlichkeit bei Extremereignissen weniger betroffen sind, es weniger störende Randeffekte gibt und Fitness und Anpassungskapazität durch einen größeren Genpool erhöht sind. FFH-Lebensraumtypen und Habitate sollten daher auf größere Flächen ausgedehnt werden (BLAB & SCHRÖDER 2007, PEARSON & DAWSON 2005). Die Vorkommen sind möglichst auf Flächen zu erweitern, die Standortgradienten aufweisen (BLAB & SCHRÖDER 2007, AUGST 2008; z. B. Exposition, Grundwassernähe, Bodenverhältnisse, Höhenlage). So erhöht sich die Chance, dass Standorte entlang des Gradienten geeignet bleiben oder unter dem Einfluss des Klimawandels geeignet werden.

Vorkommen vernetzen

Vernetzte Vorkommen sind robuster gegenüber ungünstigen Einflüssen des Klimawandels, weil sie die Wiederbesiedlung erloschener Vorkommen (z. B. nach Extremereignissen) erleichtern. Zweitens ermöglichen sie den genetischen Austausch zwischen den Populationen und gewährleisten damit Fitness und Anpassungskapazität. Künftig wird es auch ei-

ne Aufgabe des Biotopverbundes sein, den Arten eine Verschiebung ihrer Verbreitungsareale zu ermöglichen (REICH 2011), z. B. in nördlichere Breiten oder größere Höhen (HANNAH, MIDGLEY & MILLAR 2002).

Pflegemaßnahmen anpassen

Der Klimawandel kann die Umweltfaktoren so stark verändern, dass kompensierende Pflegemaßnahmen nötig werden, um eine Verschlechterung des Erhaltungszustands von Habitaten und FFH-Lebensraumtypen zu verhindern. Um der Absenkung des Grundwasserstands in der Vegetationszeit entgegenzuwirken, bieten sich neben den in Tabelle 4.1.2 aufgeführten Maßnahmen weitere Maßnahmen zur Erhöhung der Grundwasserneubildung an, z. B. die Umwandlung von Nadel- in Laubwald (vgl. FÜRSTENBERG, MATHEJA & MEINKEN 2011) oder die konservierende Bodenbearbeitung auf landwirtschaftlichen Flächen. Zudem können sich Pflegeintervalle, z. B. bei Entkusselung, verändern/verkürzen.

Die Abnahme der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit kann in Biotopen, die auf Niederschlag angewiesen sind, durch Vernässungsmaßnahmen wie Beregnung oder Einleitung von Wasser kompensiert werden (je nach Nährstoffarmut des Biotops Niederschlags-, Grund- oder Oberflächenwasser). Für nicht auf Nährstoffarmut angewiesene Biotope (z. B.

Bruchwälder, nährstoffreiche Sümpfe) kann die Verwendbarkeit von Klarwasser aus Kläranlagen oder gereinigtem Wasser aus der Industrie (z. B. Zuckerfabrik) geprüft werden (vgl. MERSCH 2011).

Schutzziele und Zielsetzungen des Naturschutzes

Eine Anpassung von Schutzziele wird erst dann relevant, wenn sich im Monitoring der FFH-Lebensraumtypen und Arten zeigt, dass die oben genannten Maßnahmen keinen Erfolg haben. Eine Neuorientierung des Naturschutzes („wandernde Schutzgebietsgrenzen“, ZEBISCH et al. 2005) ist sehr wahrscheinlich nicht erforderlich, da die heute wertvollen Flächen aller Voraussicht nach auch in Zukunft die wertvollsten Bereiche in der genutzten Landschaft darstellen werden: Sie sind in der Regel nährstoffärmer, trockener oder nasser als die Umgebung und werden dies vermutlich auch unter dem Einfluss des Klimawandels bleiben (ELLWANGER 2009, AUGST 2008). Schutz und Pflege der bestehenden Schutzgebiete sind daher beizubehalten bzw. gezielt weiter zu entwickeln (AUGST 2008). Ein entsprechendes Monitoring ist allein schon wegen der hohen Unsicherheit der zugrunde liegenden Klimamodelle und Klimaszenarien unerlässlich. Nur so können eintretende Veränderungen frühzeitig erkannt und geeignete Maßnahmen optimiert werden.

4.1.6 Zusammenfassung

Durch den Klimawandel werden sich Vorkommen und Ausprägung von Arten und Lebensgemeinschaften verändern. Am Beispiel der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf das Netzwerk Natura 2000 untersucht und Maßnahmenvorschläge zur Minderung der negativen Folgen des Klimawandels erarbeitet. In der Metropolregion werden auf der Grundlage der derzeitigen Simulationen und Szenarien im Zeitraum 2071–2100 gegenüber 1961–1990 voraussichtlich die klimatische Wasserbilanz und der Grundwasserstand in der Vegetationszeit abnehmen. Vor allem durch diese Veränderungen werden ein Großteil der FFH-Lebensraumtypen (63 %) sowie der Arten der FFH- und VSchRL (53 %) potenziell ungünstig beeinflusst. Insbesondere FFH-Lebensraumtypen und Arten der Feuchtlebensräume und Gewässer sind ungünstig betroffen. Dagegen werden Trockenlebensräume und Arten, die von trocken-warmen Bedingungen profitieren, vermutlich begünstigt. Durch den hohen Anteil voraussichtlich ungünstig beeinflusster FFH- und VSchRL-Arten sowie FFH-Lebensraumtypen sind die Erhaltungsziele vieler FFH- und Vogelschutzgebiete der Metropolregion potenziell gefährdet. Um einer Verschlechterung entgegenzuwirken, ist es entscheidend, bestehende Belastungen zu reduzieren, den Wasserhaushalt zu verbessern und Vorkommen zu vernetzen. Ein kontinuierliches Monitoring ist erforderlich, um Naturschutzmaßnahmen an die Veränderungen anpassen zu können. Da die heutigen Schutzgebiete voraussichtlich auch in Zukunft die wertvollsten Bereiche darstellen, sind an den Klimawandel angepasste Pflegekonzepte zu entwickeln.

4.1.7 Literatur und Datenquellen

- AUGST, H.-J. (2008): Schutzgebiete im Klimawandel. – In: LANU SH: Jahresbericht des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein 2007/2008: 35–46, Schriftenreihe LANU SH 12; Flintbek.
- BALZER, S., DIETERICH, M. & BEINLICH, B. (Bearb.) (2007): Natura 2000 und Klimaänderungen. – Tagungsband zur gleichnamigen Tagung vom 28.–31. August 2006 auf der Insel Vilm, 173 S., Natursch. Biol. Vielf. 46; Bonn-Bad Godesberg.
- BAUER, H.-G., BEZZEL, E. & FIEDLER, W. (Hrsg.) (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Nichtsperlingsvögel. – Band 1–3; Wiebelsheim (Aula).
- BEHRENS, M., FARTMANN, T. & HÖLZEL, N. (2009): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt. Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen Teil 3: Vorschläge für eine Anpassungsstrategie. – Institut für Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, erarbeitet im Auftrag des MUNLV NRW, Münster, 101 S. Stand: 10.2009, <http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/studie_iloek/Klimawandel_Biologische_Vielfalt_3_Internet.pdf>.
- BERRY, P., DAWSON, T., HARRISON, P., PEARSON, R. & BUTT, N. (2003): The sensitivity and vulnerability of terrestrial habitats and species in Britain and Ireland to climate change. – *Journal for Nature Conservation* 11 (1): 15–23.
- BLAB, J. & SCHRÖDER, E. (2007): Naturschutz und Klimaänderung in Deutschland. – In: BBN (Hrsg.): Von lokalem Handeln und globaler Verantwortung - 100 Jahre staatlicher Naturschutz. – Jb. Natursch. Landschaftspf. 56/1: 120–127; Bonn.
- DRACHENFELS, O. V. (2004): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der nach § 28a und § 28b NNatG geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie. – Stand März 2004, 240 S., Naturschutz Landschaftspf. Niedersachs. A/4; Hildesheim.
- DRACHENFELS, O. V. (2008a): Hinweise zur Definition und Kartierung der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie in Niedersachsen auf der Grundlage des Interpretation Manuals der Europäischen Kommission. – Version EUR 25 vom April 2003, Stand 4/2008, 27 S.; Hannover (NLWKN), [Unveröff.].
- DRACHENFELS, O. V. (2008b): Tabellen zur Bewertung des Erhaltungszustands der Lebensraumtypen in Niedersachsen. – Stand 4/2008, 98 S.; Hannover (NLWKN), [Unveröff.].
- ELLWANGER, G. (2009): Das Schutzgebietsnetz NATURA 2000 im Klimawandel – Risiken und Handlungsoptionen. – In: KORN, H., SCHLIEP, R. & STADLER, J.: Biodiversität und Klimawandel. Vernetzung der Akteure in Deutschland V: 48–53, BfN-Skripten 252; Bonn-Bad Godesberg.
- FFH-RL - FLORA-FAUNA-HABITAT-RICHTLINIE: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. – Amtsblatt L 206 vom 22.07.1992: 7–50.
- FÜRSTENBERG, K., MATHEJA, A. & MEINKEN, M. (2011): Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien im Grundwasserkörper Fuhse-Wietze vor dem Hintergrund des Klimawandels. – *Geoberichte* 18: 138–158; Hannover (LBEG).
- HANNAH, L., MIDGLEY, G. F. & MILLAR, D. (2002): Climate change-integrated conservation strategies. – *Global Ecology & Biogeography* 11: 485–495.
- HECKENROTH, H. & LASKE, V. (1997): Atlas der Brutvögel Niedersachsens 1981–1995 und des Landes Bremen. – 332 S., Naturschutz Landschaftspf. Nds. 37; Hannover.
- KAISER, T. & WOHLGEMUTH, J. O. (2002): Schutz-, Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen für Biotoptypen in Niedersachsen. Beispielhafte Zusammenstellung für die Landschaftsplanung. – *Inform. d. Naturschutz Nds.* 4/02: 170–242; Hildesheim.
- KRAUSE, A. & GROSS, G. (2011a): Daten der Klimamodellierung mit dem mesoskaligen Modell Fitnah für die Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg auf Basis des CLM Szenarios A1B unter Verwendung der Simulationsdaten aus den

- Läufen A1B_1 und C20_2, modellierte Zeiträume 1961-1990, 2020-2050, 2071-2100. – Institut für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover, erarbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projekts „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen. Teilprojekt 1: Lokaler Klimawandel“; Hannover [Unveröff.].
- KRAUSE, A. & GROSS, G. (2011b): Auswirkungen des Klimawandels auf die Metropolregion. – *Geoberichte* **18**: 8–22; Hannover (LBEG).
- KRAUSE, A. (2010): Werkstattbericht. Auswertung der Vegetationsperiode in der Metropolregion Hannover - Braunschweig - Göttingen (- Wolfsburg). – Institut für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover, 13 S., Stand: 03.05.2010, <http://cmsv057c.rrzn.uni-hannover.de/fileadmin/umwelt2/doku/Werkstattbericht_Vegetationsperiode.pdf>.
- MERSCH, I. (2011): Potenziale zur Substitution von Grundwasser für die Feldberegnung - „Wasser wächst auf Feldern“. – *Geoberichte* **18**: 86–102; Hannover (LBEG).
- NLF (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN) (2009): Daten der Basiserfassung der FFH-Gebiete, Geofachdaten. – Stand der Daten: 09.2009; Wolfenbüttel [Unveröff.].
- NLWKN (2008a): Standarddatenbögen der FFH-Gebiete (Stand der Daten: 04./05.2008) und Vogelschutzgebiete (Stand der Daten: 12.2003, 08.2006, 07.2007, 04./05.2008). – Download: 04.2008, <<http://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/25717>> und <<http://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/25660>>.
- NLWKN (2008b): NATURA 2000: Europäische Vogelschutzgebiete und gemeldete FFH-Gebiete in Niedersachsen (Stand der Daten: FFH-Gebiete 03.2006, Vogelschutzgebiete: 03.2008). – Geofachdaten, Download: 22.01.2009, <http://www.umwelt.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=2540&article_id=9124&psmand=10>.
- NLWKN (2009): Daten der Basiserfassung der FFH-Gebiete. Geofachdaten. – Stand der Daten: 09.2009; Hannover [Unveröff.].
- NLWKN (2009a/2010a): Artenlisten Amphibien, Fische, Heuschrecken, Libellen, Reptilien, Säugetiere und Tagfalter für den Zeitraum 1800–2009 der Naturräume Lüneburger Heide und Wendland, Weser-Aller-Flachland, Weser- und Leinebergland, Börden und Harz. – Stand: 08.2009, 06.2010; Hannover [Unveröff.].
- NLWKN (2009b/2010b): Verbreitungskarten Amphibien, Fische, Heuschrecken, Libellen, Reptilien, Säugetiere und Tagfalter. Art-nachweise in Niedersachsen und Bremen auf der Basis von TK25-Quadranten. – Niedersächsisches Tierartenerfassungsprogramm. Stand: 10.2009, 11.2009, 06.2010; Hannover [Unveröff.].
- NLWKN (2009c/2010c): Vollzugshinweise zum Schutz der FFH-Lebensraumtypen sowie weiterer Biotoptypen mit landesweiter Bedeutung in Niedersachsen sowie Vollzugshinweise zum Schutz von Arten in Niedersachsen. – Teile 1 und 2, Niedersächsische Strategie zum Arten- und Biotopschutz, Stand der Daten: 06.2009/ 01.2010, Download: 12.2010, <http://www.nlwkn.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=8038&article_id=46103&psmand=26>.
- OLOFFSON, J., HICKLER, T., SYKES, M. T., ARAÚJO M. B., BALETTO, E., BERRY, P. M., BONELLI, S., CABEZA, M., DUBUIS, A., GUI SAN, A., KÜHN, I., KUJALA, H., PIPER, J., ROUNSEVELL, M. & SETTELE, J. (2008): MACIS Deliverable 1.1: Climate change impacts on European biodiversity - observations and future projections. – Stand: 04.2008, <<http://www.macis-project.net/MACIS-deliverable-1.1.pdf>>.
- PEARSON, R. G. & DAWSON, T. P. (2005): Long-distance plant dispersal and habitat fragmentation: identifying conservation targets for spatial landscape planning under climate change. – *Biological Conservation* **123** (3): 389–401.
- PETERSEN, B., ELLWANGER, G., BIEWALD, G., HAUKE, U., LUDWIG, G., PRETSCHER, P., SCHRÖDER, E. & SSYMANK, A. (2003): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. Ökologie und Verbreitung von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Band 1: Pflanzen und Wirbellose. – 743 S., Schriftenr. Landschaftspfl. u. Natursch. 69/1; Bonn-Bad Godesberg.

- PETERSEN, B., ELLWANGER, G., BLESS, R., BOYE, P., SCHRÖDER, E. & SSYMANK, A. (2004): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. Ökologie und Verbreitung von Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. Band 2: Wirbeltiere. – 693 S., Schriftenr. Landschaftspfl. u. Natursch. 69/2; Bonn-Bad Godesberg.
- POMPE, S., HANSPACH, J., BADECK, F., KLOTZ, S., THUILLER, W. & KÜHN, I. (2008): Climate and land use change impacts on plant distributions in Germany. – *Biology Letters* 4 (5): 564–567.
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. – 2. Aufl., 622 S.; Stuttgart (Ulmer).
- POTT, R. (1996): Biotoptypen. Schützenswerte Lebensräume Deutschlands und angrenzender Regionen. – 448 S.; Stuttgart (Ulmer).
- PREISING, E. (1984): Bestandsentwicklung, Gefährdung und Schutzprobleme der Pflanzengesellschaften in Niedersachsen Teil I, 3. Quellfluren und Kleinseggen-Sümpfe, Heidemoor- und Hochmoor-Schlenken- und Bultengesellschaften, Borstgrasrasen und Zwergstrauchheiden. – 207 S.; Hannover [Unveröff.].
- PREISING, E., VAHLE, H.-C., BRANDES, D., HOFMEISTER, H., TÜXEN, J. & WEBER, H. E. (1990), (1993), (1995), (1997): Die Pflanzengesellschaften Niedersachsens. – *Naturschutz Landschaftspfl. Nds.*, Hefte 20/7-8, 20/4, 20/6, 20/5; Hannover.
- REICH, M. (2011): Climate Change and the Coherence of the Natura 2000 Network. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* [im Druck].
- SSYMANK, A., HAUKE, U., SCHRÖDER, E., RÜCKRIEM, U. & SCHRÖDER, E. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und der Vogelschutz-Richtlinie. – unter Mitarbeit von MESSER, D., 560 S., Schriftenr. Landschaftspfl. u. Natursch. 53; Bonn-Bad Godesberg.
- VSCHRL - VOGELSCHUTZRICHTLINIE: Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten.– *Amtsblatt L 103* vom 25/04/1979: 1–18.
- WEDDELING, K., EICHEN, C., NEUKIRCHEN, M., ELLWANGER, G., SACHTELEBEN, J. & BEHRENS, M. (2007): Monitoring und Berichtspflichten im Kontext der FFH-Richtlinie: Konzepte zur bundesweiten Erfassung des Erhaltungszustandes von nutzungsabhängigen Arten und Lebensraumtypen. – In: BEGEMANN, F., SCHRÖDER, S., WENKEL, K.-O. & WEIGEL, H.-J.: *Monitoring und Indikatoren der Agrobiodiversität: 177–195*, *Agrobiodiversität – Schriftenreihe des Informations- und Koordinationszentrums für Biologische Vielfalt* 27; Bonn.
- WEISS, C., REICH, M. & RODE, M. (2011): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Biotope der Metropolregion und Konsequenzen für den Naturschutz. – Schlussbericht des Teilprojekts FE 4 „Klimawandel: lokales und regionales Naturschutzmanagement“ im Verbundprojekt „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen“, Institut für Umweltpolitik der Leibniz Universität Hannover, erarbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF); Hannover [im Druck].
- ZEBISCH, M., GROTHMANN, T., SCHRÖTER, D., HASSE, C., FRITSCH, U. & CRAMER, W. (2005): Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. – *Climate Change* 08/05, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Erarbeitet im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau, 203 S.; Potsdam.

5 Teilprojekt 5: Wasserwirtschaft

5.1 Der Einfluss des Klimawandels auf den regionalen Wasserhaushalt

TINA WIXWAT & HERBERT RÖHM

Kurzfassung

Im Rahmen des Verbundprojektes „Regionales Management von Klimafolgen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen“ wurden im Teilprojekt „Wasserwirtschaft“ die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Grundwasserhaushalt untersucht.

Die Höhe der Grundwasserneubildungsrate ist von wesentlichem Interesse, da in Niedersachsen 86 % des Trinkwassers aus dem Grundwasser gewonnen werden (REUTTER 2011). Aus diesem Grunde ist es für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung von elementarer Wichtigkeit, ob und wie sich der Klimawandel auf die Grundwasserneubildung auswirken könnte.

Nach NAKICENOVIC & SWART (2000) soll es zu einer Verschiebung der höchsten Niederschlagsmengen von den Sommer- in die Wintermonate kommen. Der Einfluss dieser Verschiebung auf die Grundwasserneubildung wurde erarbeitet.

Grundlage der Prognoserechnungen sind die Simulationen des regionalen Klimamodells „CLM“ (HOLLWEG et al. 2008). Diese dienen als Eingangsdaten für die Methode GROWA06V2 (LEMKE & ELBRACHT 2008) zur Bestimmung der Grundwasserneubildungshöhe als dreißigjährigen Mittelwert für die Szenariozeiträume 2011–2100 und den Referenzzeitraum 1961–1990. Außerdem wurden die innerjährlichen Schwankungen des Grundwasserstandes abgeschätzt.

5.1.1 Einleitung

Die bislang vorliegenden nationalen Klimaszenarien zeigen für die Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen deutliche Änderungen in den Parametern, die direkt oder indirekt die Grundwasserneubildung und damit den Landschaftswasserhaushalt beeinflussen. Die wasserwirtschaftliche Grundwassernutzung ist dabei in hohem Maße von konkurrierenden Nutzungen, wie z. B. der Landwirtschaft (Feldberegnung) oder Rohstoffwirtschaft (Sand- und Kiesabbau), betroffen. Um eine nachhaltige Sicherung der Ressource Trinkwasser sicherzustellen, müssen mögliche Auswirkungen des Klimawandels quantifiziert werden. Diese Planungsdaten müssen Politik, Gesellschaft und Wirtschaft zur Verfügung gestellt werden, damit die mit Klimaveränderungen einhergehenden wasserwirtschaftlichen Auswirkungen abschätzbar werden und somit als Grundlagen in die Entwicklung von Lösungsstrategien für das Klimafolgenmanagement eingehen können.

Durch den Klimawandel hervorgerufene Änderungen des Wasserhaushalts wurden bereits in mehreren Projekten (LAHMER & PFÜTZNER 2003, GERSTENGABE et al. 2003, ARBEITSKREIS KLIWA 2006, SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT 2005) untersucht. Allerdings lag dabei der Schwerpunkt meist auf der Betrachtung von Aspekten des Hochwasserschutzes, des Gesamtlandschaftswasserhaushalts und der besonderen Berücksichtigung von Landschafts- und Naturschutzbelangen.

GIS-basierte Grundwasserneubildungsmodelle werden standardmäßig auf lokaler und regionaler Ebene sowie bezogen auf Fluss-/Teileinzugsgebiete bis hin zur bundesweiten Anwendung eingesetzt. Eine Verwendung hinsichtlich der Simulation der Grundwasserneubildung auf der Basis von Klimaszenariodaten in größerem Umfang ist bisher erst für das Land Hessen durchgeführt worden (BERTHOLD & HERGESELL 2005).

Die Berechnung der Grundwasserneubildungsrate erfolgt üblicherweise als mehrjähriger Mittelwert, meist als Durchschnittswert dreißigjähriger Klimamessreihen, um jährliche Schwankungen in der Niederschlagshöhe und -verteilung durch Mittelung zu glätten und die Speicheränderungen im Gesteinskörper vernachlässigen zu können. Eine Abschätzung der

monatlichen Grundwasserneubildung ist auf großräumiger Bezugsebene bisher nicht erfolgt, da die dafür benötigten Daten nicht in ausreichender Genauigkeit und zeitlicher Auflösung vorliegen. Über die Kopplung mit einem instationären Wasserhaushaltsmodell für den Grundwasserkörper Wietze-Fuhse (s. Folgekapitel) können die Daten der Grundwasserneubildungsberechnung auf Plausibilität geprüft und Vorstellungen zur Übertragbarkeit ermittelt werden.

Die Metropolregion umfasst unterschiedliche Naturräume mit stark divergierenden wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Eigenschaften. Während der größte Teil der Region zum maritim beeinflussten Bereich mit hohen Niederschlägen gehört – der Harz als „Regenfänger“ bildet dabei das obere Ende der Skala – ist der nordöstliche Teil schon stärker kontinental geprägt, was sich in deutlich geringerer Niederschlagshöhe äußert. Die unterschiedlichen klimatischen Rahmenbedingungen für den Jetzt-Zustand lassen für die einzelnen Bereiche der Region unterschiedliche Auswirkungen für die Zukunft erwarten.

Vor dem Hintergrund des Klimafolgenwandels stellen sich besondere Anforderungen an eine nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser. Grundwasser stellt die wichtigste Grundlage für die wasserwirtschaftliche Versorgung für die Bevölkerung in der Metropolregion. Auf der anderen Seite wird Grundwasser auch in anderen volkswirtschaftlich relevanten Bereichen, wie z. B. Landwirtschaft, benötigt und ist im starken Maße von konkurrierenden Nutzungen betroffen (z. B. Rohstoffwirtschaft, Bauwirtschaft). Um die mit dem Klimawandel einhergehenden Auswirkungen auf den Wasserhaushalt quantifizieren zu können, stellt das LBEG im ersten Teil des Teilprojektes „Wasserwirtschaft“ Grundlageninformationen für wasserwirtschaftliche Fragestellungen bereit.

5.1.2 Mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildungshöhe wurde mit dem Berechnungsverfahren GROWA06V2 (DÖRHÖFER et al. 2001) berechnet. Das Verfahren baut auf der empirischen Methode zur Berechnung der realen Verdunstung von RENGER & WESSOLEK (1996) auf. GROWA06V2 ist eine Weiterentwicklung der Methode GROWA98 zur Berechnung der Sickerwasserrate (DÖRHÖFER et al. 2001). Zur Berechnung der Grundwasserneubildung mit GROWA06V2 sind verschiedene Eingangsparameter notwendig, aus denen über Zwischenergebnisse die Grundwasserneubildungshöhe ermittelt wird (WIXWAT 2009). Die Grundwasserneubildungsrate wird als dreißigjähriges Jahresmittel berechnet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Grundwasserneubildung dekadengleitend von der Zeitscheibe 2011/2040 bis zur Zeitscheibe 2071/2100 berechnet. Bei den Eingangsdaten wurden drei Klimausprägungen berücksichtigt, die „mittlere“, die „trockene“ und die „feuchte“ Variante. Für das „feuchte“ und das „trockene“ Szenario wurden nur die Modellzeiträume 2021–2050 und 2071–2100 ausgewertet.

Zur Berechnung der Grundwasserneubildung mit GROWA06V2 werden nach MÜLLER (2004) folgende Parameter benötigt:

- Niederschlag (Jahr, Winterhalbjahr, Sommerhalbjahr),
- Mittlere jährliche Grasreferenzverdunstung,
- Pflanzenverfügbares Bodenwasser (wird in der Methode aus der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und dem mittleren kapillaren Aufstieg berechnet),
- Nutzungsart,
- Versiegelungsgrad oder Versiegelungsstufe,
- Hangneigung,
- Exposition,
- A/A_v -Verhältnis (aus Grundwasserstufe, Staunässestufe und Hangneigung),
- Hydrologische Gesteinseinheiten (Bodenausgangsgestein in der BÜK 50).

Die Berechnung der Verdunstung erfolgte nach der Methode von WENDLING (1997). Da der Bewuchs einen großen Einfluss auf die Verdunstung hat, wird als einheitliche Methode die Grasreferenzverdunstung (ET_0) verwendet, da diese unabhängig von den Parametern der Pflanzenentwicklung und des Bodenwasservorrates ist (WENDLING 1997). Grundlage für die Berechnung der Grasreferenzverdunstung ist die Penman-Monteith-Beziehung zur Berechnung der realen Verdunstung (WENDLING 1997). Die Berechnung der Grasreferenzverdunstung erfolgt unter der Annahme, dass das gesamte Jahr über ein Grasbestand von 0,12 m Höhe vorhanden ist. Des Weiteren wird angenommen, dass die Bodenfeuchte größer als 50–70 % der nutzbaren Feldkapazität (nFk) ist und die Pflanzen somit keinem Trockenstress ausgesetzt sind (WENDLING 1997). Die Formel wurde so konzipiert, dass die Berechnung für Monatswerte von langjährigen Mitteln optimiert ist (WENDLING 1997). Die Eingangsparameter aus dem CLM-Modell lagen als Monatsmittelwerte vor, so dass die Grasreferenzverdunstung als Monatswerte berechnet wurde.

Für Deutschland wurde die Abhängigkeit der Verdunstung von der Höhe h [m ü. NN] bestimmt (WENDLING 1997). Die höhenabhängige Kalibrierung berücksichtigt das Sättigungsdefizit und die Windgeschwindigkeit. Diese gehen als Mittelwerte in die Grasreferenzverdunstung ein. Die Verdunstung nimmt mit zunehmender Höhe ab. Da die Formel für das Flachland entwickelt wurde, muss ein Höhenfaktor berücksichtigt werden, für den gilt: $h > 600$ m ist $h = 600$ m (WENDLING 1997). Die zur Berechnung benötigten Daten wurden vom Teilprojekt Klimawandel (s. Kap. 1.1) übernommen.

5.1.3 Mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate für verschiedene Zeiträume und Ausprägungen

Da die Berechnung mit GROWA06V2 mit Hilfe von Flächen aus der Bodenübersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50) erfolgt (MÜLLER 2004), stehen ca. 1,2 Mio. Flächenergebnisse zur Verfügung. Sämtliche berechneten Ergebnisse auf Grundlage der BÜK50-Flächen befinden sich auf der Homepage des Projektes (www.klimafolgenmanagement.de).

Eine Ergebnisdarstellung und Auswertung der Veränderungen auf der Basis der o. g. 1,2 Mio. Flächen ist nicht umsetzbar. Daher wird auf die zusammenfassende Darstellung und Auswertung als Grundwasserdargebot für die einzelnen Grundwasserkörper, die als Bewirtschaftungsräume gemäß EG-WRRL vorgesehen sind, zurückgegriffen.

Für den Referenzzeitraum 1961–1990 weisen die Grundwasserkörper im Nordwesten der Metropolregion und im Bereich des Harzes die höchsten Dargebotsmengen von 250 000–300 000 m^3/km^2 auf. Der überwiegende Teil der Grundwasserkörper in der Metropolregion weist ein Grundwasserdargebot von 100 000–200 000 m^3/km^2 auf. Lediglich bei einigen Grundwasserkörpern im Süden und Südosten der Metropolregion liegt das Grundwasserdargebot bei 50 000–100 000 m^3/km^2 .

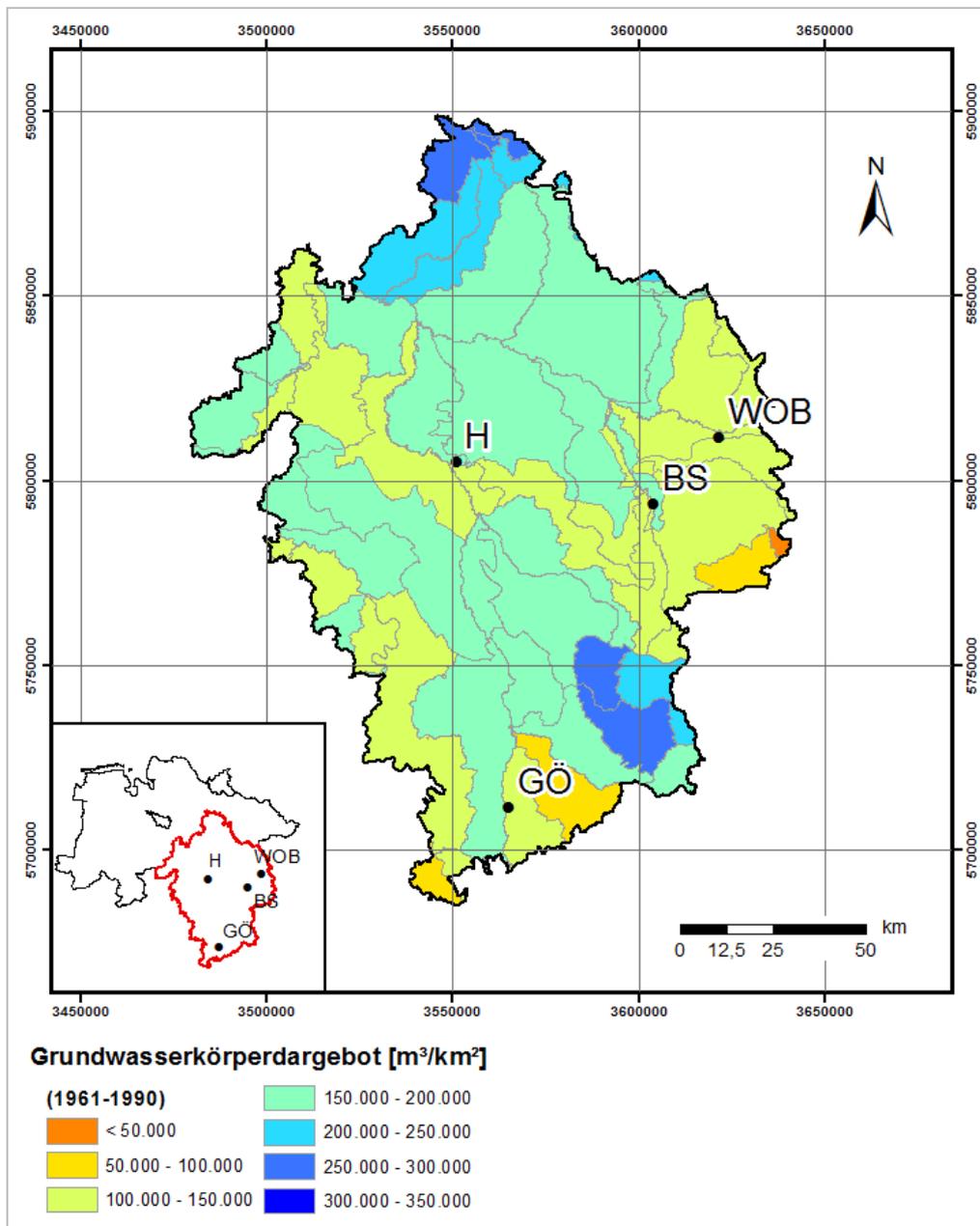


Abb. 5.1.1: Grundwasserdargebot für den Referenzzeitraum 1961–1990.

Im Folgenden sind zwei Beispiele dargestellt, wie sich das Grundwasserdargebot im Laufe des Jahrhunderts verändern könnte.

Für den Zeitraum 2021–2050 ergibt sich ein deutlicher Nordwest-Südost-Gradient. Im Nordwesten der Metropolregion soll es zu Zunah-

men des Grundwasserdargebots um 5–15 % kommen, im zentralen Bereich der Metropolregion soll sich das Grundwasserdargebot nicht verändern und in der Region um Braunschweig soll das Grundwasserdargebot um 5–15 % abnehmen (s. Abb. 5.1.1).

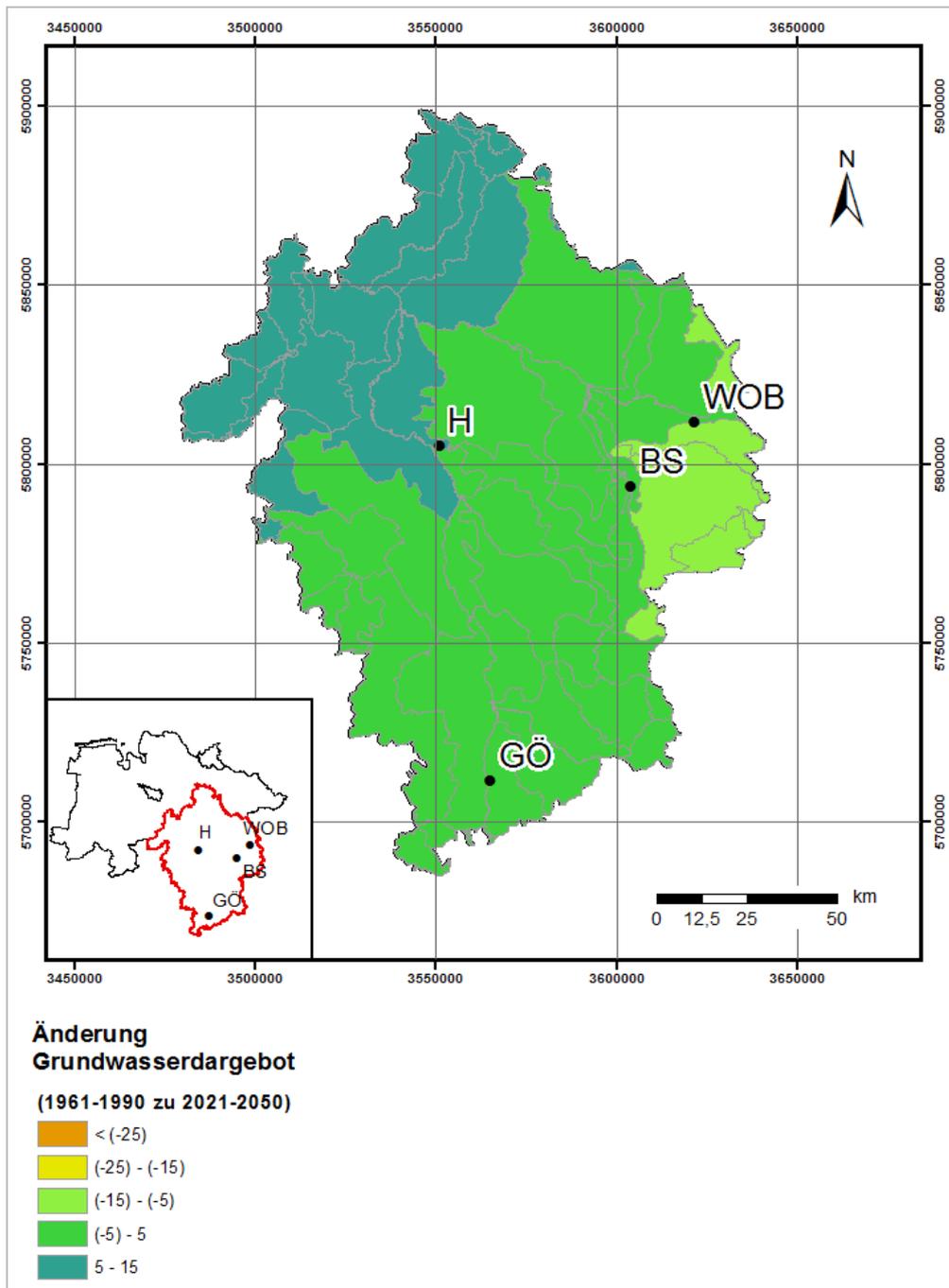


Abb. 5.1.2: Änderung des Grundwasserdargebots von 2021–2050 im Vergleich zu 1961–1990.

Im dreißigjährigen Mittel von 2071–2100 soll es ebenso zu Zunahmen des Grundwasserdargebots von 5–15 % im Nordwesten kommen. Das Grundwasserdargebot im zentralen Bereich

der Metropolregion soll dem des Referenzzeitraums 1961–1990 entsprechen. Allerdings soll es im östlichen Teil der Metropolregion zu Abnahmen von 5–15 % kommen.

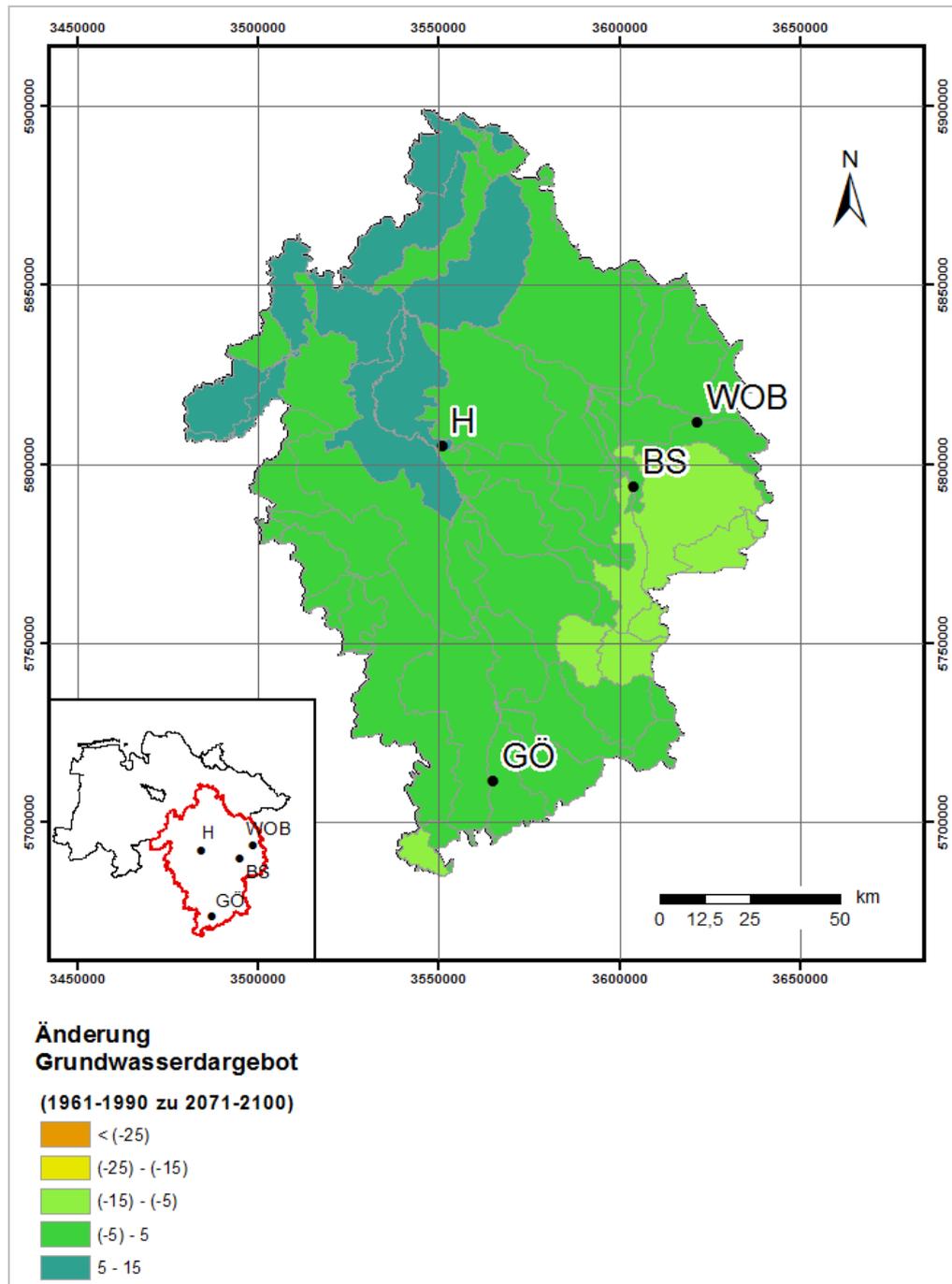


Abb. 5.1.3: Änderung des Grundwasserdargebots von 2071–2100 im Vergleich zu 1961–1990.

Für die anderen berechneten Zeiträume ist hier eine stichwortartige Übersicht der Ergebnisse zu finden; die dazugehörigen Karten sind unter www.klimafolgenmanagement.de abrufbar.

Zeitraum 2011–2040 (Vergleich zu 1961–1990)

- keine Änderung im Westen der Metropolregion,
- Abnahmen 5–15 %: Bereich von Braunschweig,
- Abnahmen 15–25 %: im E der Metropolregion.

Zeitraum 2031–2060 (Vergleich zu 1961–1990)

- Zunahme 5–15 %: NW der Metropolregion,
- gleichbleibend: restlicher Bereich der Metropolregion,
- Ausnahme: Abnahme 5–15 %: „Bode Triaslandschaft der subherzynen Senke“.

Zeitraum 2041–2070 (Vergleich zu 1961–1990)

- Zunahme 5–15 %: NW der Metropolregion,
- gleichbleibend: restlicher Bereich der Metropolregion.

Zeitraum 2051–2080 (Vergleich zu 1961–1990)

- Zunahme 5–15 %: Grundwasserkörper „Wümme“ im N der Metropolregion,
- gleichbleibend: zentraler Bereich der Metropolregion,
- Abnahmen von 5–15 %: E von Braunschweig.

Zeitraum 2061–2090 (Vergleich zu 1961–1990)

- Zunahme 5–15 %: NW der Metropolregion,
- gleichbleibend: zentraler Bereich der Metropolregion (Richtung SE),
- Ausnahme: Abnahmen von 5–15 %: „Bode Triaslandschaft der subherzynen Senken“, „Innerste-Harzpaläozoikum“, „Oker-Harzpaläozoikum“.

Die Ergebnisse für die Änderung der Grundwasserneubildung spiegeln die Änderung der jährlichen Niederschlagsmengen wider. Die Grundwasserkörper im Osten der Metropolregion sind auf Grund ihrer Lage stärker kontinentalerem Klima ausgesetzt. Die Grundwasserkörper im Norden der Metropolregion stehen unter maritimem Einfluss.

5.1.4 Abschätzung der mittleren monatlichen Grundwasserneubildung

Die Abschätzung der mittleren monatlichen Grundwasserneubildung erfolgte lediglich für den Grundwasserkörper Wietze/Fuhse (s. Abb. 5.1.4). Auf Grund der Datenlage wurde dieser Grundwasserkörper als Modellgebiet ausgewiesen. Für eine große Anzahl von Messstellen wurden die Wasserstandsdaten vom zweiten wasserwirtschaftlichen Teilprojekt (s. Kap. 5.2) zur Verfügung gestellt.

Die angewandte Methode kann nur verwendet werden, wenn ausreichend Messdaten zur Verfügung stehen, so dass ein repräsentatives Flächenmittel bestimmt werden kann. Für das Modellgebiet des Grundwasserkörpers Wietze/Fuhse wurde für die Zeiträume 2021–2050 und 2071–2100 („normale“, „feuchte“ und „trockene“ Ausprägung), sowie für den Referenzzeitraum 1961–1990 die monatliche Grundwasserneubildung abgeschätzt.

Zur Abschätzung der monatlichen Grundwasserneubildung standen im Grundwasserkörper Wietze/Fuhse die Daten von 47 Grundwassermessstellen zur Verfügung. Für jede Messstelle lag in der Regel ein Messwert pro Monat vor. Grundlage für die Abschätzung der monatlichen Grundwasserneubildung aus Wasserstandsdaten bildet die Annahme, dass bei ei-

ner Zugabe von 1 l Wasser der Porenraum eines vierfachen Gesteinsvolumens (bei 25 % Nutzporosität) aufgefüllt wird und somit eine Wasserstandsanhöhung von 4 dm erfolgt. Nach LILLICH, KUCKELKORN & HOFMANN (1973) liegt im Gebiet des Fuhrberger Felds der Nutz-

porenanteil im Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels überwiegend bei >24 %, sodass es gerechtfertigt erscheint, bei einer Grundwasserneubildungsrate von 100 mm und einer Porosität von 25 % eine Wasserstandsänderung von 0,4 m anzunehmen.

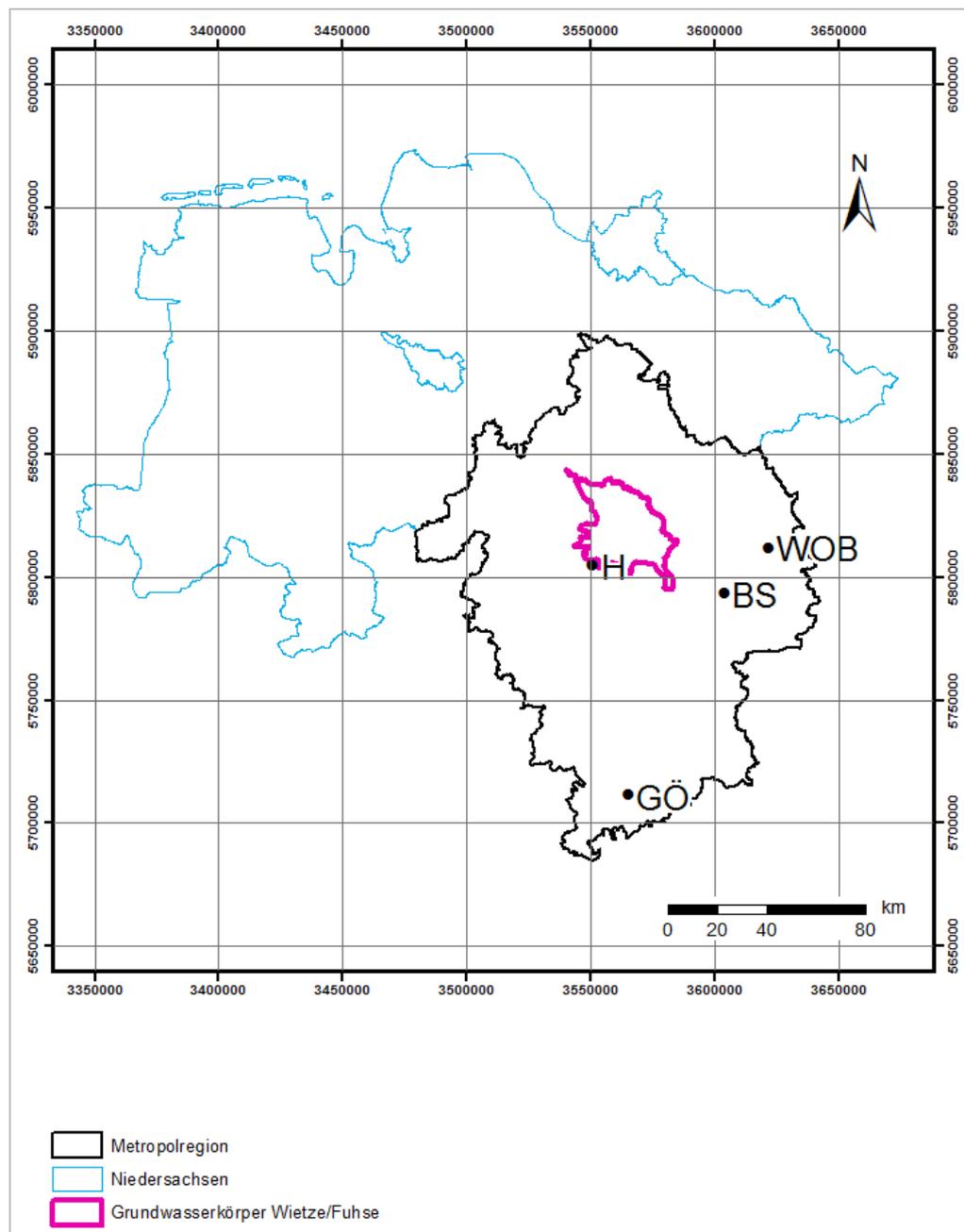


Abb. 5.1.4: Lage des Grundwasserkörpers Wietze/Fuhse in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg.

Beispielhaft werden hier die Ergebnisse für die Monate Januar und Juli dargestellt. Die Ergebnisse für die weiteren Monate sind im Folgenden stichwortartig beschrieben; die dazugehörigen Karten befinden sich auf der Homepage www.klimafolgenmanagement.de.

Im Monat Januar kam es im Referenzzeitraum 1961–1990 auf den überwiegenden Flächen zu Grundwasserneubildungsraten von 20–40 mm/Monat, auf einigen Flächen auch 40–50 mm/

Monat. Im Zeitraum 2021–2050 werden überwiegend 20–50 mm/Monat gebildet, auf wenigen Flächen lediglich 0–10 mm/Monat. Zum Ende des Jahrhunderts ergibt sich eine deutliche Zunahme der Grundwasserneubildung für den Monat Januar. Auf dem überwiegenden Teil der Flächen soll es zu Grundwasserneubildungsraten von 30–50 mm/Monat oder mehr kommen, auf den restlichen Flächen 20–30 mm/Monat (s. Abb. 5.1.5a–c).

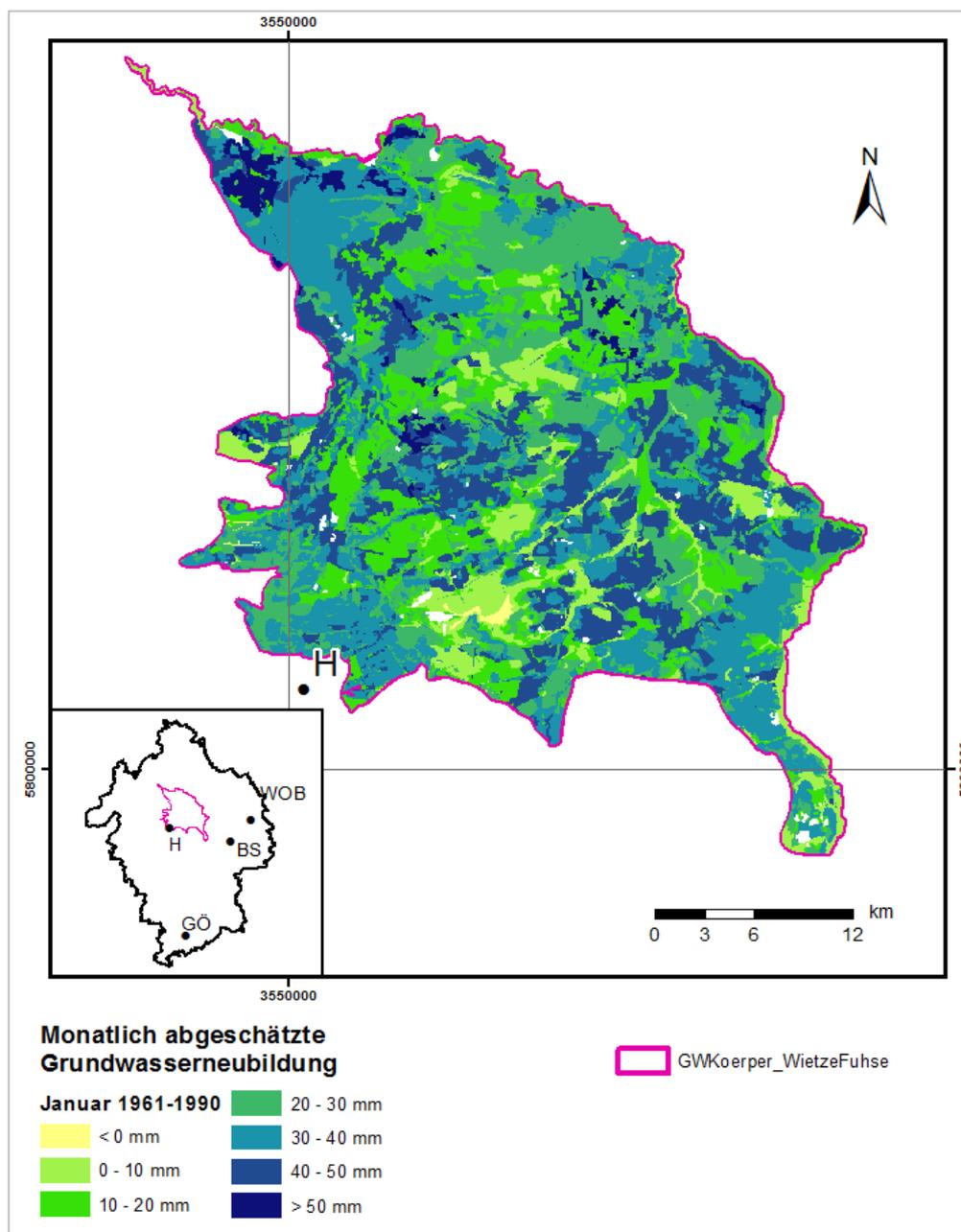


Abb. 5.1.5a: Monatliche Grundwasserneubildungsrate im Januar für den Zeitraum 1961–1990.

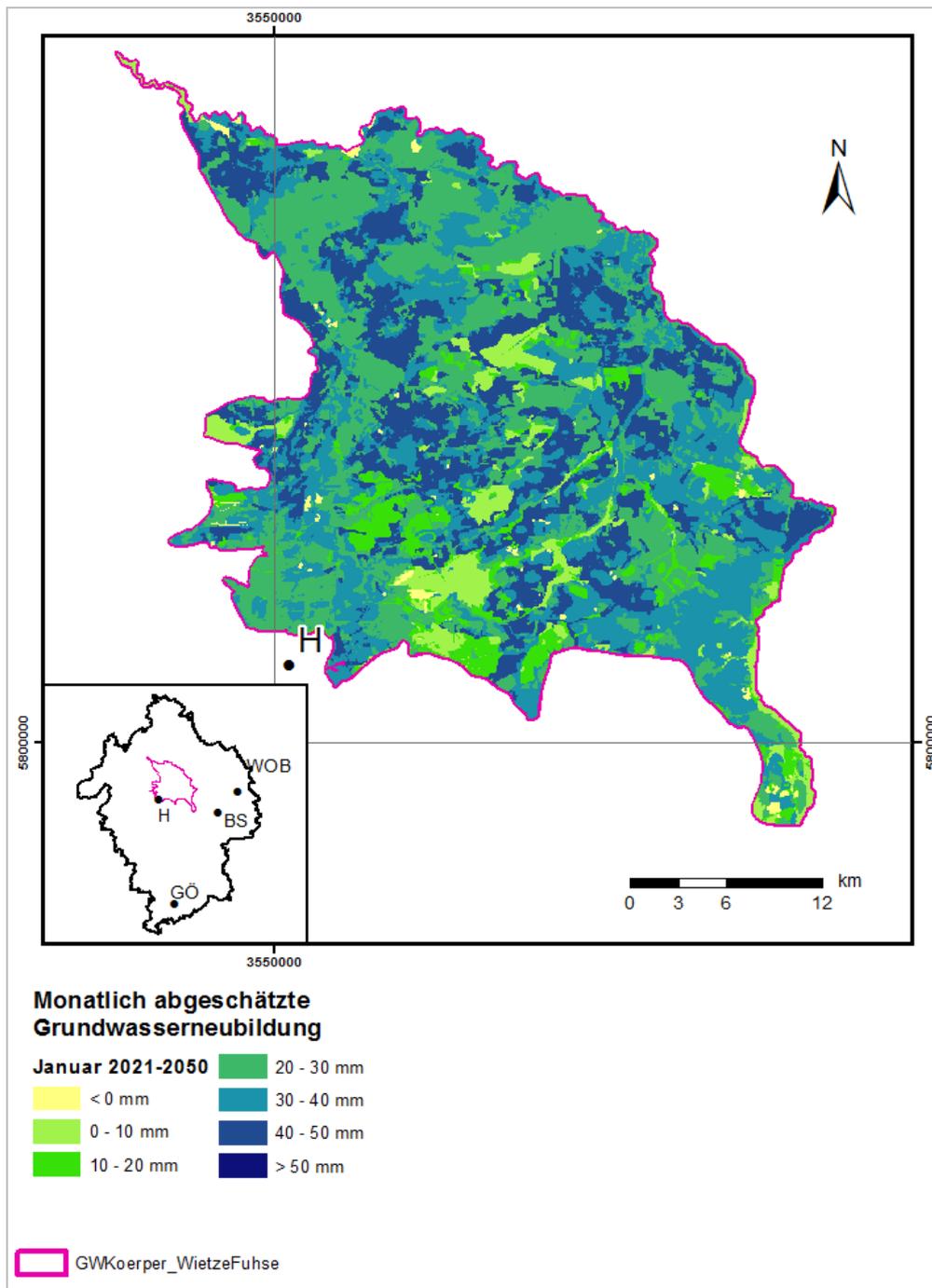


Abb. 5.1.5b: Monatliche Grundwasserneubildungsrate im Januar für den Zeitraum 2021–2050.

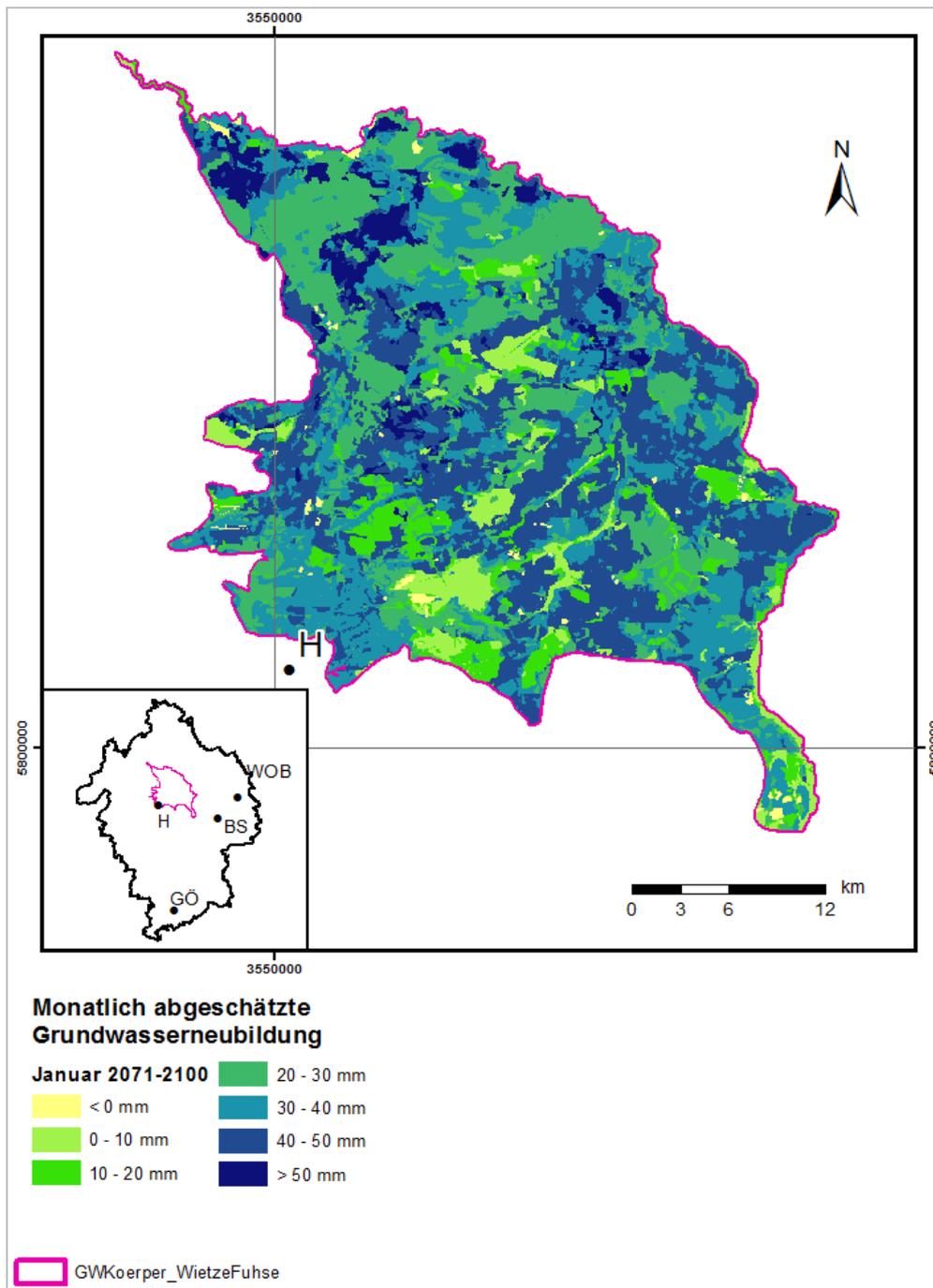


Abb. 5.1.5c: Monatliche Grundwasserneubildungsrate im Januar für den Zeitraum 2071–2100.

Im Monat Juli kam es im Vergleichszeitraum 1961–1990 überwiegend zu Grundwasserneubildungsrate von 0–10 mm/Monat. Für die Zeiträume 2021–2050 und 2071–2100 sind keine quantitativen Aussagen möglich, da die

Klimatischen Wasserbilanzen in diesen Zeiträumen negativ sind. In Bereichen mit geringen Grundwasserflurabständen kann es daher zu Grundwasserzehrung kommen.

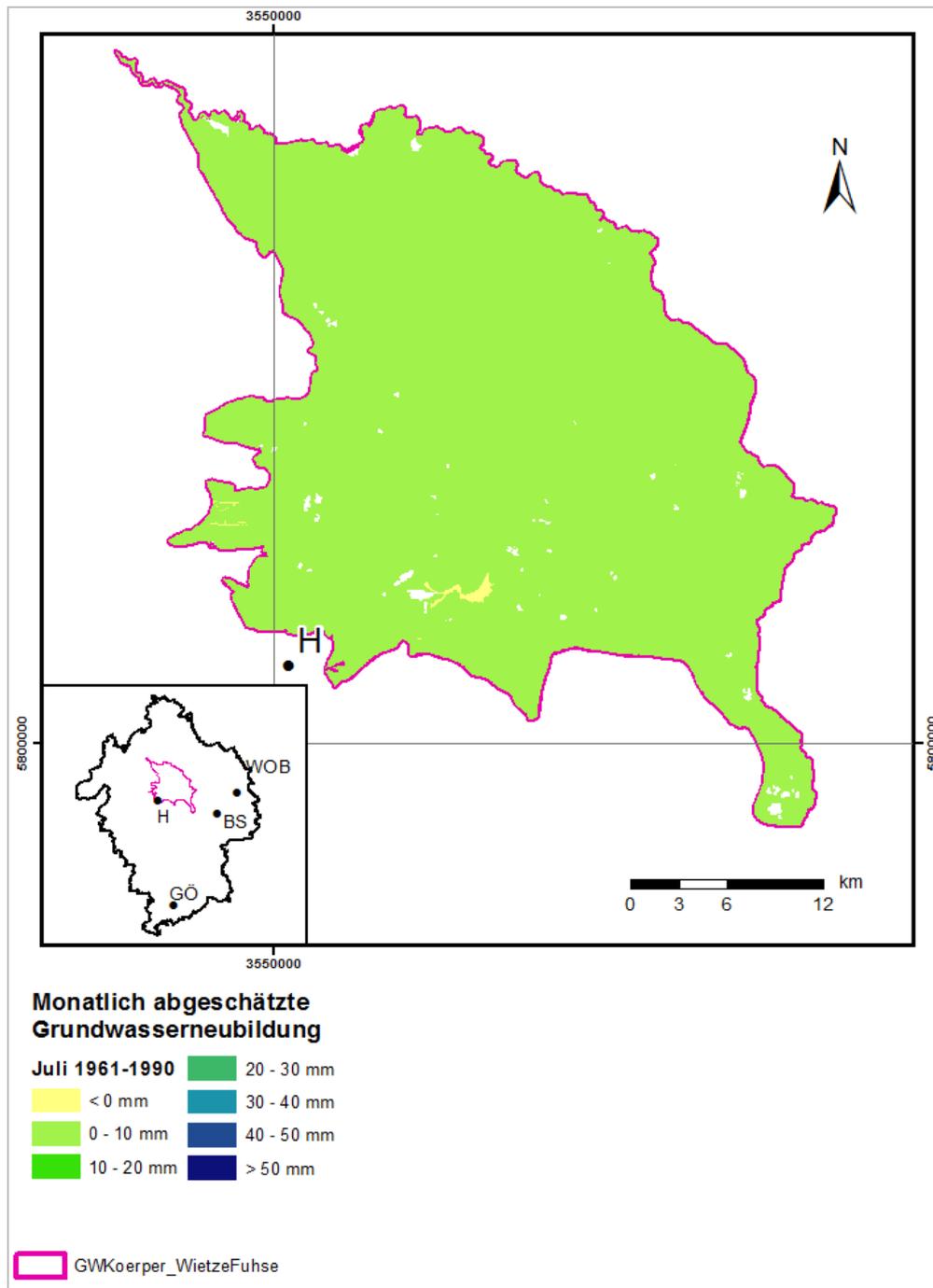


Abb. 5.1.6a: Monatliche Grundwasserneubildungsrate im Juli für den Zeitraum 1961–1990.

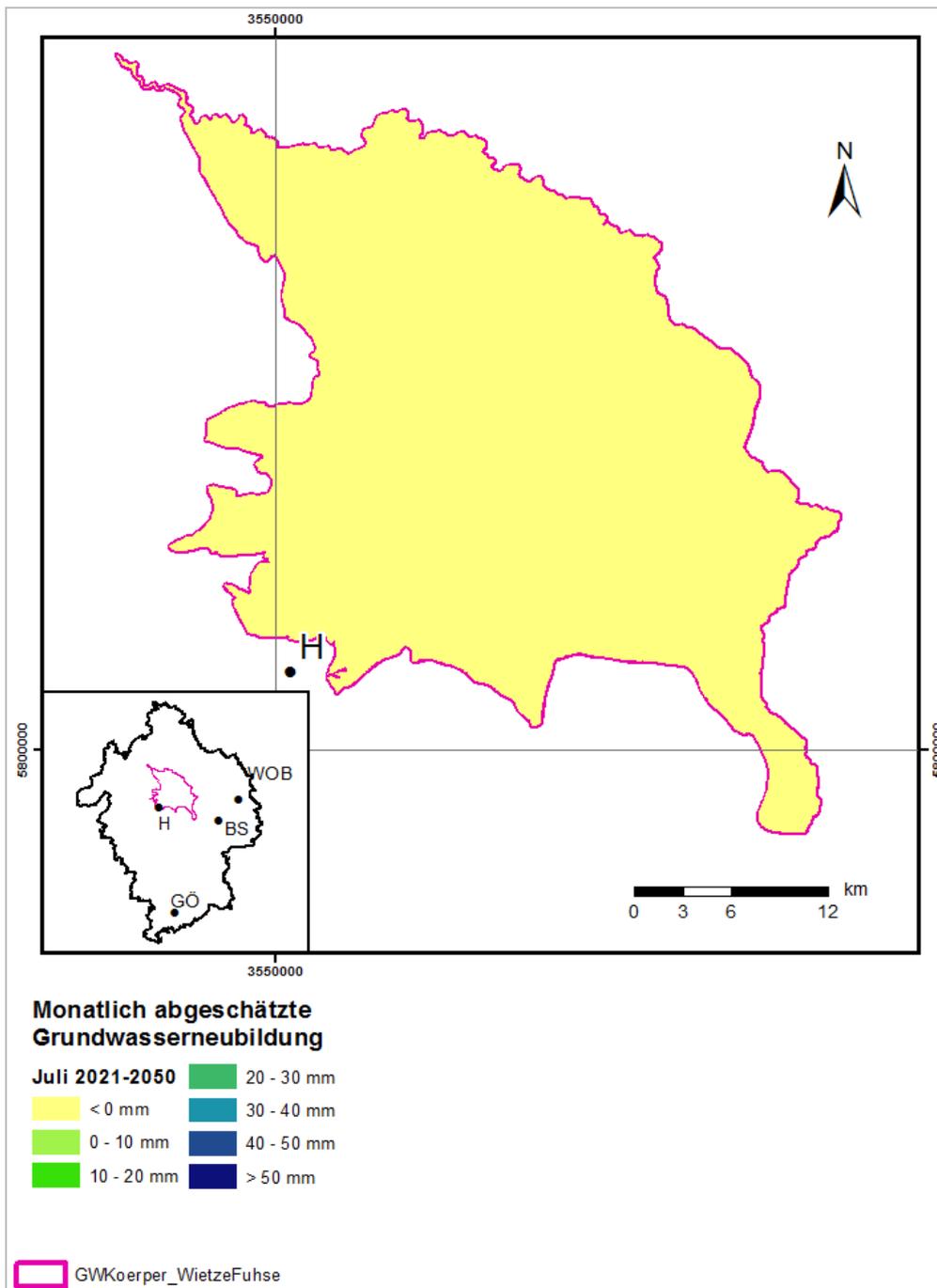


Abb. 5.1.6b: Monatliche Grundwasserneubildungsrate im Juli für den Zeitraum 2021–2050.

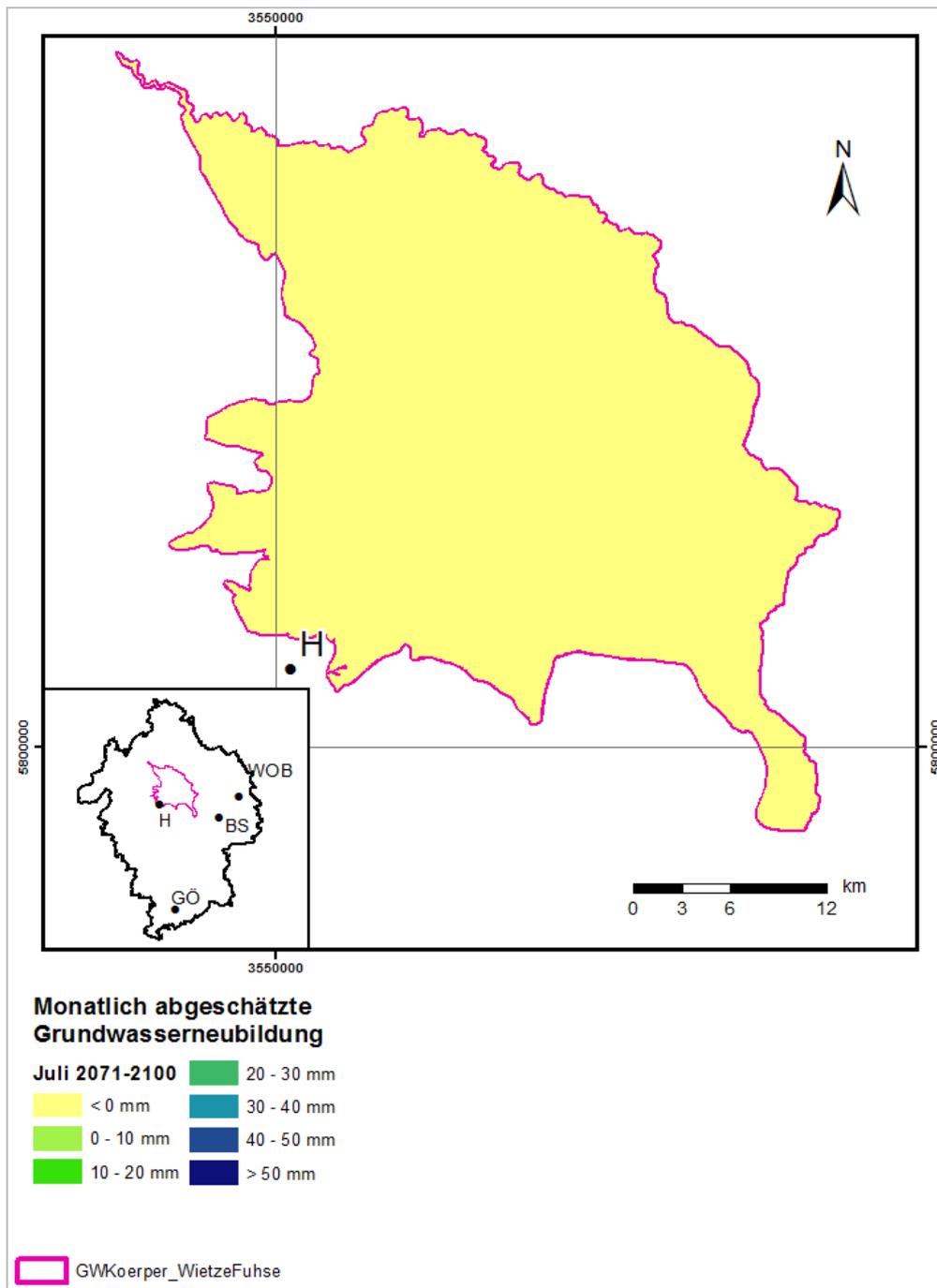


Abb. 5.1.6c: Monatliche Grundwasserneubildungsrate im Juli für den Zeitraum 2071–2100.

Hier folgen kurz gefasst die Ergebnisse für die übrigen Monate; die dazugehörigen Karten befinden sich auf der Homepage www.klima-folgenmanagement.de.

Februar

- 1961–1990: überwiegend 10–30 mm/Monat, auf einigen Flächen 30–40 mm/Monat,
- 2021–2050: überwiegend 20–40 mm/Monat, vereinzelt 40–50 mm/Monat,
- 2071–2100: überwiegend 30–50 mm/Monat oder mehr, restliche Flächen 20–30 mm/Monat; deutliche Zunahme für den Monat Februar.

März

- 1961–1990: überwiegend 10–30 mm/Monat, auf einigen Flächen 30–40 mm/Monat,
- 2021–2050: überwiegend 20–40 mm/Monat, vereinzelt 40–50 mm/Monat,
- 2071–2100: überwiegend 0–10 mm/Monat (starke Abnahmen), vereinzelt 0–10 mm/Monat.

Mai, Juni, August

- 1961–1990: überwiegend 0–10 mm/Monat,
- 2021–2050: keine Aussage möglich, da negative Klimatische Wasserbilanzen,
- 2071–2100: keine Aussage möglich, da negative Klimatische Wasserbilanzen.

September

- 1961–1990: überwiegend 0–10 mm/Monat,
- 2021–2050: überwiegend 0–10 mm/Monat,
- 2071–2100: keine Aussage möglich, da negative Klimatische Wasserbilanzen.

Oktober

- 1961–1990: überwiegend 0–10 mm/Monat,
- 2021–2050: überwiegend 10–20 mm/Monat, einige Flächen 20–30 mm/Monat, vereinzelt 0–10 mm/Monat,
- 2071–2100: überwiegend 10–20 mm/Monat, einige Flächen 20–30 mm/Monat, vereinzelt 0–10 mm/Monat.

November

- 1961–1990: überwiegend 10–20 mm/Monat, einige Flächen 20–30 mm/Monat, vereinzelt 0–10 mm/Monat,
- 2021–2050: überwiegend 30–>50 mm/Monat, vereinzelt <20 mm/Monat,
- 2071–2100: überwiegend 30–>50 mm/Monat, vereinzelt <20 mm/Monat.

Dezember

- 1961–1990: überwiegend 20–30 mm/Monat, einige Flächen 10–20 mm/Monat, vereinzelt 40–50 mm/Monat,
- 2021–2050: überwiegend 40–>50 mm/Monat, einige Flächen 30–40 mm/Monat, vereinzelt 0–10 mm/Monat,
- 2071–2100: überwiegend >50 mm/Monat, einige Flächen 40–0 mm/Monat, vereinzelt 10–20 mm/Monat.

5.1.5 Hydrogeologische Typstandorte

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das gesamte Gebiet der Metropolregion in Hydrogeologische Typstandorte eingeteilt. Hydrogeologische Typstandorte sind Bereiche mit gleichen geologischen und hydrogeologischen Eigenschaften, also einem ähnlichen geologischen und hydrogeologischen Aufbau und ähnlichen Grundwasserflurabständen. Diese Einteilung dient zur Einordnung von Wasserstandsdaten in einen geologisch-hydrogeologischen Kontext.

Auf der Basis der Hydrogeologischen Übersichtskarte 1 : 500 000 (HÜK 500) „Hydrogeologische Einheiten“ (LBEG 2008) und HÜK 500 „Hydrogeologische Räume und Teilräume“ (LBEG 2009) wurden die folgenden Hydrogeologischen Typstandorte für das Gebiet der Metropolregion bestimmt:

- Lockergestein
 - Ia: Lockergestein des Niedersächsischen Tieflandes (Geest),
 - Ib: Lockergestein des Niedersächsischen Tieflandes (Niederung),
 - Ic: Lockergestein im Bergland und Bergvorland, tertiäre Sedimente.
- Festgestein
 - IIa: Festgestein, karbonatisch,
 - IIb: Festgestein, silikatisch,
 - IIc: Festgestein ungegliedert,
 - IId: Harz.

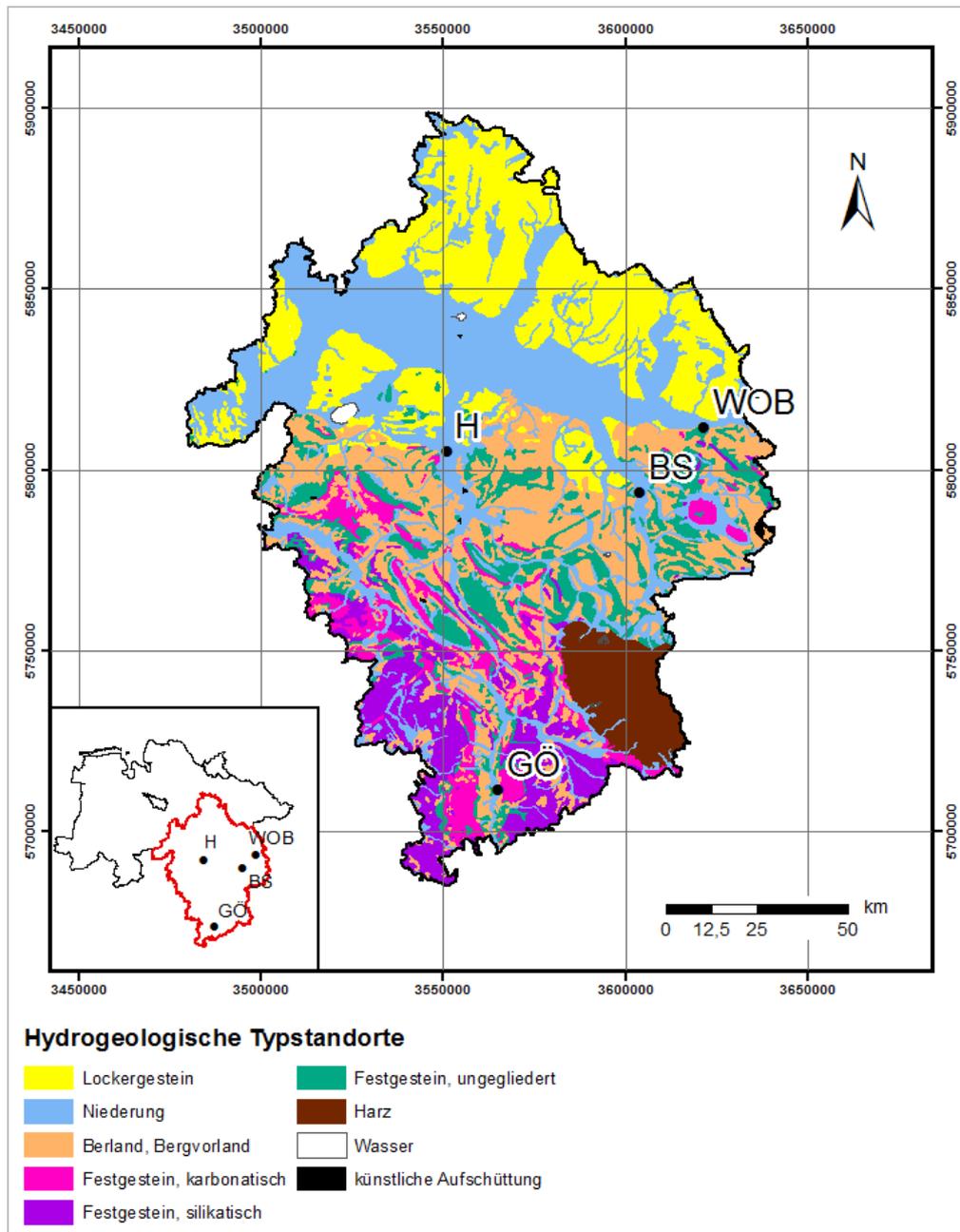


Abb. 5.1.7: Hydrogeologische Typstandorte in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg.

Für jeden Hydrogeologischen Typstandort wurden charakteristische Grundwasserganglinien hergeleitet. Einerseits können damit Rückschlüsse auf die standorttypische Amplitude der Wasserstandsschwankungen gezogen und zum anderen sollen Aussagen über

die innerjährliche Verteilung der Grundwasserneubildungsmenge gemacht werden.

Hierzu konnten im Gebiet der Metropolregion ca. 260 Grundwassermessstellen ausgewertet werden.

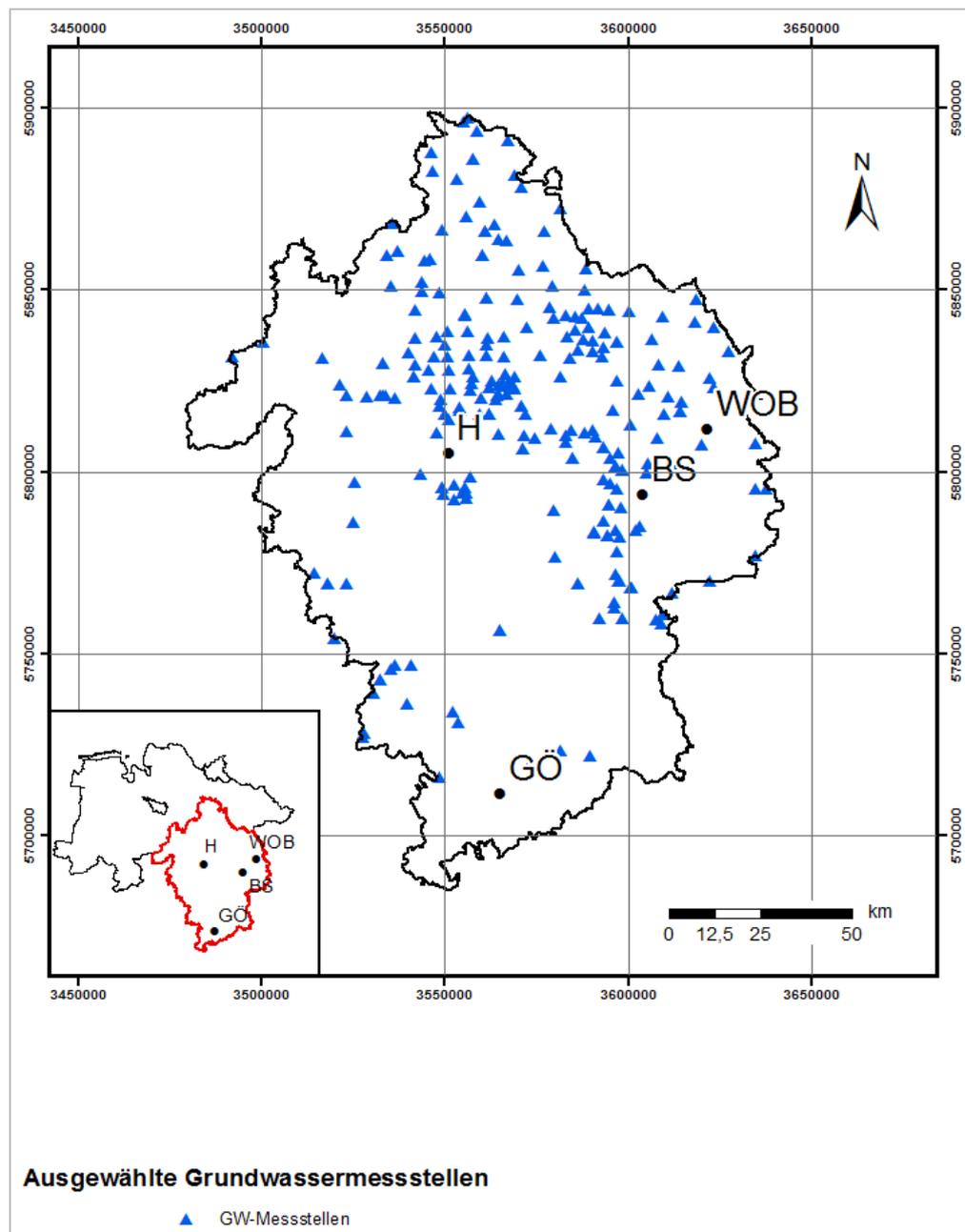


Abb. 5.1.8: Ausgewählte Grundwassermessstellen in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg.

Die Auswahl erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Länge und Vollständigkeit der Messreihe (mindestens 15 Jahre und keine Datenlücken über mehrere Monate nacheinander),
- Distanz zu Förderbrunnen,
- Lage des Filters und
- Distanz zu einem Vorfluter.

Die Auswertung hinsichtlich der o. g. Kriterien hat gezeigt, dass in den Festgesteinsgebieten Niedersachsens nicht genügend Grundwassermessstellen vorhanden sind, um gesicherte Aussagen zu erhalten, so dass für die Festgesteinstypstandorte keine charakteristischen Grundwasserganglinien ermittelt werden konnten.

Für jede Messstelle wurde das mehrjährige Jahresmittel gebildet. Alle Messstellen, die in einem hydrogeologischen Typstandort liegen, wurden normiert, indem die Schwankung um den Jahresmittelwert bestimmt wurde. Aus dem Gesamtmittel ergab sich die charakteristische Grundwasserganglinie für den jeweiligen Typstandort. Die Schwankungsbreite für die einzelnen Jahre liegt höher als die gemittelte. Die höchste Amplitude der charakteristischen

Grundwasserganglinien von über 0,6 m wird in den Hydrogeologischen Typstandorten „Lockergestein im Bergland und Bergvorland, tertiäre Sedimente“ erreicht. Die geringste Amplitude ist auf den Hydrogeologischen Typstandorten „Lockergestein des Niedersächsischen Tieflandes (Geest)“ zu finden, die Amplitude beträgt ca. 0,3 m. Beim Hydrogeologischen Typstandort „Lockergestein des Niedersächsischen Tieflandes (Niederung)“ beträgt die Amplitude ca. 0,4 m. Im Monat April kommt es auf den Typstandorten „Geest“ und „Bergland/Bergvorland“ zu den höchsten Grundwasserständen, auf dem Typstandort „Niederung“ bereits im März. Die niedrigsten Grundwasserstände sind im Typstandort „Niederung“ in den Monaten September und Oktober, auf den „Geest“-Standorten im Oktober und November und im Typstandort „Bergland/Bergvorland“ im Oktober. Im Rahmen des Klimawandels wird sich durch die Verschiebung der höchsten Niederschlagsmengen von den Sommer- in die Wintermonate die Amplitude vergrößern, ebenso können sich Minima und Maxima verschieben.

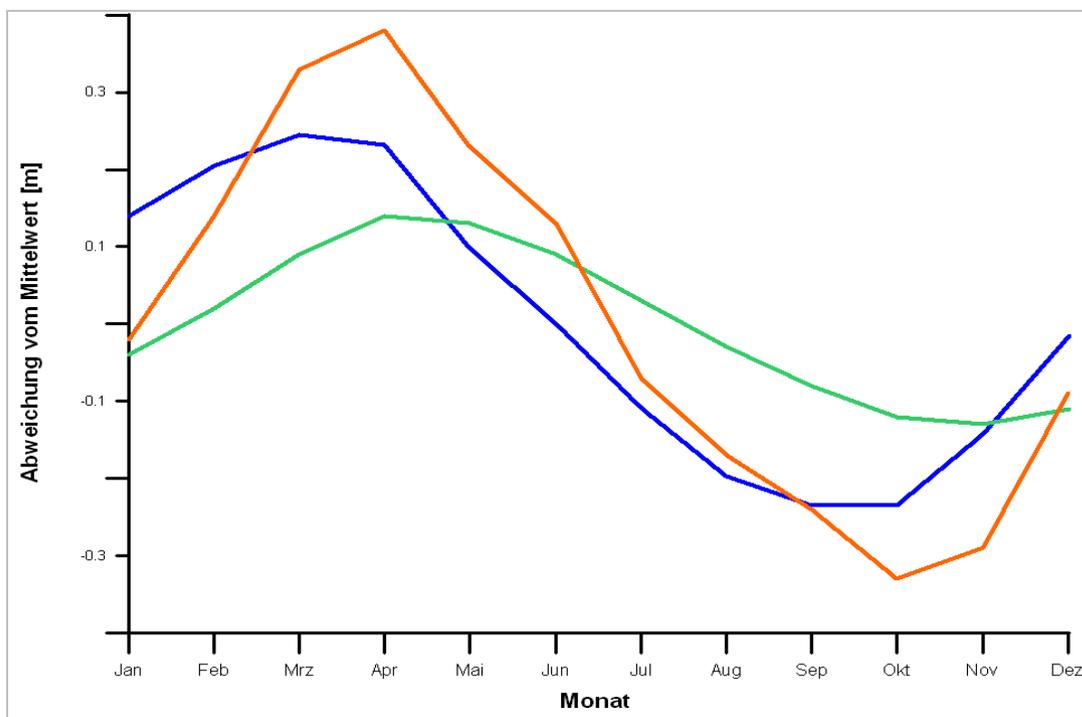


Abb. 5.1.9: Charakteristische Grundwasserganglinien für die Hydrogeologischen Typstandorte Niederung, Geest und Bergland/Bergvorland.

Im Detailuntersuchungsgebiet Wietze/Fuhse wurden die Veränderungen der Amplituden mit einem instationären Wasserhaushaltsmodell berechnet und werden im Folgekapitel beschrieben.

5.1.6 Literatur

- ARBEITSKREIS KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland - Abschätzung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. – KLIWA-Bericht **9**.
- BERTHOLD, G. & HERGESELL, M. (2005): Flächendifferenzierte Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Hessen. – INKLIM 2012 - Integriertes Klimaschutzprogramm, Klimafolgen in der Wasserwirtschaft (Grundwasser), 21 S.; Wiesbaden.
- DÖRHÖFER, G., KUNKEL, R., TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen. – Arb.-H. Wasser 2001/1: 109–167, 11 Abb., 16 Tab., 15 Ktn.; Hannover (NLfB).
- GERSTENGARBE, F.-W., BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOW, F., WECHSUNG, F. & WERNER, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, PIK-Report **83**, 82 S.; Potsdam.
- HOLLWEG, H.-D., BÖHM, U., FAST, I., HENNEMUTH, B., KEULER, K., KEUP-THIEL, E., LAUTENSCHLAGER, M., LEGUTKE, S., RADTKE, K., ROCKEL, B., SCHUBERT, M., WILL, A., WOLDT, M. & WUNRAM, C. (2008): Ensemble Simulations over Europe with the Regional Climate Model CLM forced with IPCC AR4 Global Scenarios. – Technical Report No. **3**, 152 S., Max-Planck-Institut für Meteorologie; Hamburg.
- LAHMER, W. & PFÜTZNER, B. (2003): Orts- und zeitdiskrete Ermittlung der Sickerwassermenge im Land Brandenburg auf der Basis flächendeckender Wasserhaushaltsberechnungen. – PIK-Report **85**; Potsdam.
- LBEG – LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2008): HÜK 500 - Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000, Hydrogeologische Einheiten. – Hannover.

- LBEG – LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2009): HÜK 500 – Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000, Hydrogeologische Räume und Teilräume. – Hannover.
- LEMKE, D. & ELBRACHT, J. (2008): Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06V2. – Geoberichte **10**, 61 S., 19 Abb., 24 Tab., Anh.; Hannover (LBEG).
- LILLICH, W., KUCKELKORN, K. F. & HOFMANN, W. (1973): Untersuchungen zum Grundwasserhaushalt im repräsentativen Lockergesteinsgebiet Fuhrberger Feld bei Hannover, Bilanzjahre 1976 und 1968. – Beihefte zum Geol. Jb. **107**, 67 S., 37 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 7. Aufl., Arb.-H. Boden 2004/2: 409 S., 3 Abb., 405 Tab.; Hannover (NLfB).
- NAKICENOVIC, N. & SWART, R. (Hrsg.) (2000): IPCC Special Report on Emmissions Scenarios. – 612 S.; Cambridge (University Press).
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1996): Berechnung der Verdunstungsjahressummen einzelner Jahre. – DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft **238**: 47; Bonn.
- REUTTER, E. (2011): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens. – 2. Aufl., Geofakten **21**: 11 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2005): Klimawandel in Sachsen - Sachstand und Ausblick 2005. – Dresden.
- WENDLING, U. (1997): Bilanzierung der hydro-meteorologischen Grundgrößen korrigierter Niederschlag und Grasreferenzverdunstung sowie ihre Rückkopplung zu Abfluss und Grundwasserneubildung. – In: LEIBUNDGUT, C. & DEMUTH, S. (Hrsg.) (1997): Freiburger Schriften zur Hydrologie **5**, Grundwasserneubildung: 60–70; Freiburg.
- WESSOLEK, G. (1996): Abschätzung der Grundwasserneubildung von Hangstandorten. – im Auftrag der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 31 S.; Hannover.
- WIXWAT, T. (2009): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen. – Geoberichte **12**: 80 S., 45 Abb., 8 Tab.; Hannover (LBEG).

5.2 Wasserwirtschaftliche Anpassungsstrategien im Grundwasserkörper Fuhse-Wietze vor dem Hintergrund des Klimawandels

KATJA FÜRSTENBERG, ANDREAS MATHEJA & MARTIN MEINKEN

Kurzfassung

Im Zuge des Klimawandels ist von steigenden Niederschlägen im Winter und deutlichen Rückgängen im Sommer auszugehen. Damit sind zeitweise erhebliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt im oberirdischen Fließgewässer- und im Grundwassersystem verbunden. Aufgabe dieses Teilprojektes war es, die Auswirkungen der im Gesamtprojekt festgelegten Klimaszenarien auf die Wasserstände und Abflüsse in diesen Systemen zu ermitteln und geeignete Anpassungsstrategien zu erarbeiten. Aufgrund der komplexen Wirkungszusammenhänge kam zur Prognose der Wasserhaushaltssituation bis 2100 ein gekoppeltes, numerisches Oberflächen- und Grundwassermodell für den Betrachtungsraum des Grundwasserkörpers „Wietze-Fuhse Lockergestein“ zum Einsatz. Damit wurden die derzeitige und die zukünftige Wasserhaushaltssituation für vorgegebene Szenarien simuliert. Im Durchschnitt ist bis 2100 mit moderaten Veränderungen im Bereich des Grundwassers, aber deutlich stärkeren im Bereich der oberirdischen Fließgewässer zu rechnen. Gleichwohl zeigte die Simulation unterschiedlicher Maßnahmen zur Kompensation der Klimafolgen, dass die Situation für das zu erwartende Durchschnittsszenario durch die Auswahl geeigneter Maßnahmen beherrschbar ist.

5.2.1 Zielsetzung

Zur Gewährleistung eines schonenden Umgangs mit der Ressource Wasser, zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung und zur Bereitstellung von Wasser für die Beregnung werden vor dem Hintergrund des Klimawandels die Anforderungen an einen verantwortungsbewussten Umgang mit dem Grund- und Oberflächenwasser zunehmen.

Das Teilprojekt FE 5.2 „Integratives Management von Grundwasserkörpern vor dem Hintergrund des Klimawandels“ hatte die Aufgabe, die Auswirkungen der veränderten Klimaparameter für die im Gesamtprojekt festgelegten Szenarien „durchschnittlich“, „nass“ und „trocken“ auf die oberirdischen Fließgewässer sowie das Grundwassersystem zu ermitteln. Dabei waren indirekte Einflüsse, wie z. B. die klimabedingte Abhängigkeit der Beregnungsbedürftigkeit, zu berücksichtigen. Auf Grundlage der Ergebnisse sollten Potenziale zur Kompensation der Klimafolgen mittels geeigneter Maßnahmen abgeleitet werden.

5.2.2 Untersuchungsraum

Die komplexe Aufgabenstellung erfordert eine Untersuchung mit hohem Detaillierungsgrad. Deshalb musste das Untersuchungsgebiet auf einen Teilbereich innerhalb der Metropolregion beschränkt werden. Antragsgemäß wurde der Grundwasserkörper „Wietze-Fuhse Lockergestein“ ausgewählt. Der Grundwasserkörper liegt nordöstlich von Hannover und hat eine flächige Ausdehnung von rund 981 km² (Abb. 5.2.1).

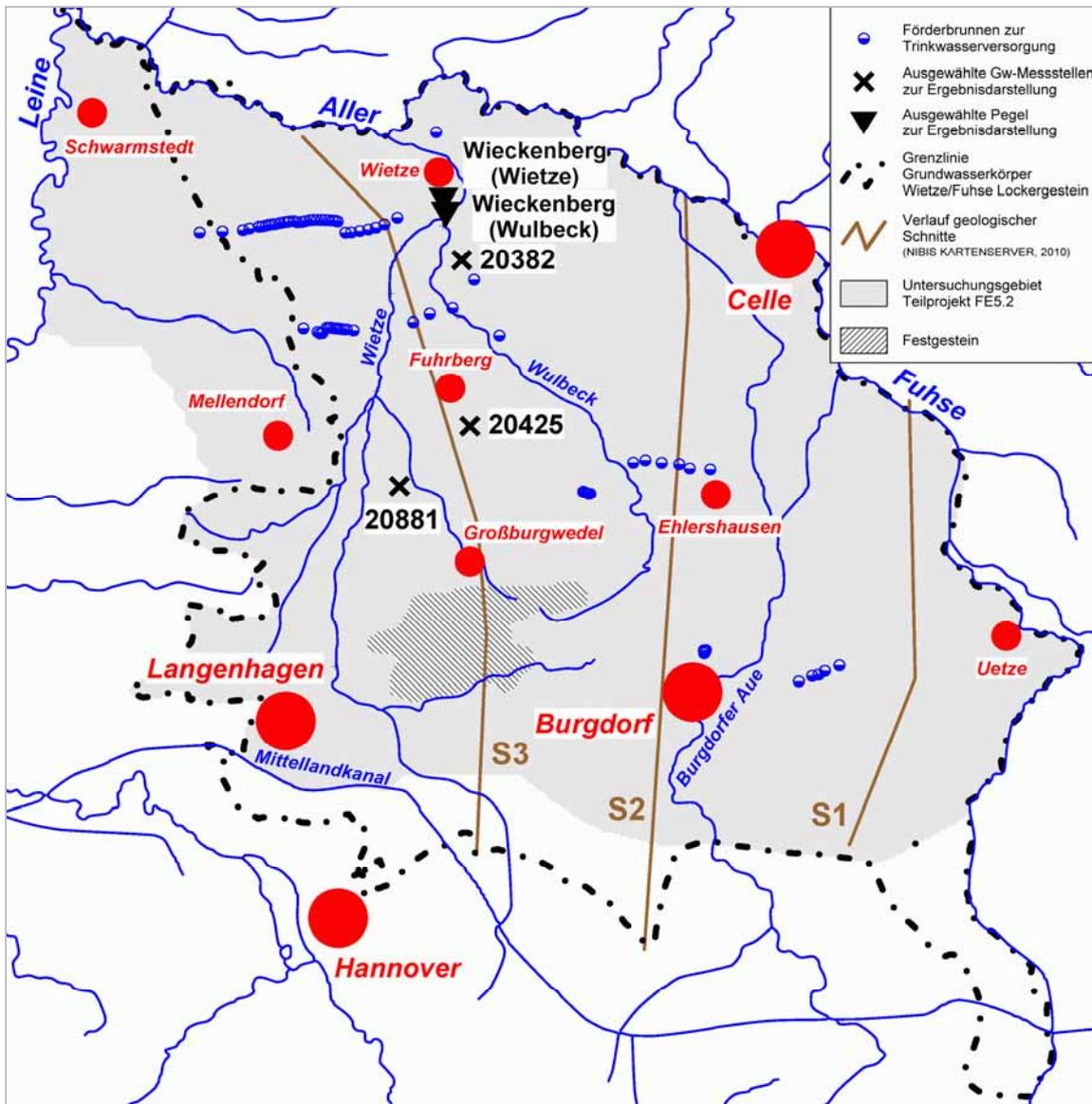


Abb. 5.2.1: Untersuchungsgebiet Teilprojekt FE 5.2.

Dieses Gebiet ist für die Bearbeitung der Aufgabenstellung besonders geeignet, weil

- relevante (Teil-)Untersuchungsräume für alle Teilprojekte der Gesamtstudie enthalten sind,
- es repräsentativ für einen Großteil der Metropolregion ist,
- es bereits heute durch einen hohen Nutzungsgrad gekennzeichnet ist und damit wahrscheinlich empfindlich auf Klimaveränderungen reagiert,

- ausreichendes Datenmaterial vorliegt und
- das erforderliche Instrumentarium zur Bearbeitung grundsätzlich bereits zur Verfügung stand und lediglich für die anstehenden zeitabhängigen Fragestellungen erweitert werden musste.

5.2.3 Methodik

Ziel ist die flächendeckende Ermittlung der Auswirkungen der prognostizierten Klimaveränderungen und der zu erarbeitenden Kompensationsmaßnahmen auf die oberirdischen Fließgewässer sowie das Grundwassersystem. Wegen der Komplexität der Aufgabenstellung wurde dazu ein numerisches Modell eingesetzt, das die den Wasserhaushalt beeinflussenden Parameterveränderungen in ausreichender Weise berücksichtigt.

Die vom Teilprojekt FE 1 vorgegebenen Veränderungen von Klimaparametern (z. B. Niederschlag und Temperatur) wirken direkt auf die Wasserhaushaltsgrößen „Grundwasserneubildung“ im Grundwassersystem und „Direktabfluss“ (oberirdischer Abfluss und Zwischenabfluss) im oberirdischen Fließgewässersystem. Antragsgemäß wurde die Grundwasserneubildungsveränderung innerhalb des Teilprojektes FE 5.1 nach dem Verfahren GROWA06V2 ermittelt. Dabei erfolgte eine Erweiterung der Methodik, so dass langfristige Monatswerte vorgegeben werden konnten. Prinzipiell liefert das Verfahren GROWA06V2 auch den Direktabflussanteil. Diesbezügliche Monatswerte konnten aber im Rahmen der Modellerweiterung vom Teilprojekt FE 5.1 nicht bestimmt werden. Da eine Niederschlags-Abflussmodellierung aus Zeit- und Kostengründen nicht umsetzbar war, wurde hier der zukünftige Direktabfluss in erster Näherung in Abhängigkeit vom ermittelten Basisabfluss bestimmt, in dem das für die heutige Situation geltende Verhältnis von Direkt- zu Basisabfluss konstant gehalten wurde.

Grundsätzlich stand das hier eingesetzte Wasserhaushaltsmodell im Vorfeld der vorliegenden Studie bereits zur Verfügung. Im Rahmen des Projektes „Operatives Monitoring und Integrative Mengenbewirtschaftung für den Grundwasserkörper Wietze-Fuhse, Teilprojekt Wulbeck“ (MATHEJA & MEYER 2006, MATHEJA & MEINKEN 2007) wurden stationäre Modelle für die hier betrachteten Gewässersysteme entwickelt, die über die Schnittstellen „Wasserstand“ und „Basisabfluss“ in den oberirdischen Fließgewässern gekoppelt wurden.

Die zur Einbeziehung der innerjährlichen Veränderung der Klimagrößen erforderliche zeitabhängige Simulationsmöglichkeit war nur ansatzweise vorhanden, so dass beide Teilm Modelle zunächst instationär kalibriert werden

mussten. Entsprechend den Vorgabemöglichkeiten durch das Teilprojekt FE 5.1 wurde zur Kalibrierung ein mittlerer Jahresgang (Monatswerte) angesetzt, der anhand von Messdaten des Zeitraumes 1998–2007 (Wasserwirtschaftsjahre) gebildet wurde. Dieser Jahresgang repräsentiert langfristig mittlere Bedingungen und diente bei den vorliegenden Untersuchungen als Bezugszustand (Ist-Zustand). Der für das Gesamtprojekt festgelegte Vergleichszeitraum 1961–1990 konnte nicht umgesetzt werden, da die örtliche und zeitliche Messdatendichte bezüglich der Grundwasserstände sowie Wasserstände und Abflüsse in oberirdischen Fließgewässern nicht ausreichend ist.

Das kalibrierte Modell ermöglicht die Simulation der Auswirkungen veränderter Parameter infolge des Klimawandels sowie gegensteuernder Anpassungsmaßnahmen auf das Grundwassersystem und die oberirdischen Fließgewässer (Prognosezustände). Als Indikatorgrößen zur Beschreibung der Klimaänderungsfolgen dienen hier der Grundwasserflurabstand sowie die Wasserstände und Abflüsse im oberirdischen Fließgewässersystem. Sie müssen für den Ist-Zustand und für die verschiedenen Prognosezustände mit dem Wasserhaushaltsmodell berechnet werden. Die Quantifizierung der Auswirkungen erfolgt dann jeweils durch Bildung der Größendifferenz zwischen betrachtetem Prognose- und Ist-Zustand.

Allgemein wurde für die Gesamtstudie ein Top-Down-Ansatz festgelegt, d. h. Rückkopplungseffekte (hier im Wesentlichen auf die grundwasserstandsabhängige Grundwasserneubildung) werden bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Die Darstellung der Auswirkungen erfolgt im Gesamtprojekt für die Prognosezeiträume 2021–2050 und 2071–2100, und zwar für durchschnittlich zu erwartende Parameterveränderungen (Average-Case-Szenario) sowie „trockene“ und „nasse“ Ausprägungen (Worst-Case-Szenarien), deren Eintrittswahrscheinlichkeit aus heutiger Sicht gering ist, aber nicht ausgeschlossen werden kann.

In der Regel liegt die Aussagegenauigkeit bei der großflächigen Berechnung von Grundwasserspiegelveränderungen im Rahmen von hydrogeologischen Begutachtungen bei etwa 2–3 dm (ECKL & RAISSI 2009). In Anlehnung an diesen Erfahrungswert wurde hier eine Signifi-

kanzschwelle für die Berechnungsergebnisse von 2 dm zugrunde gelegt.

Der hydrodynamische Modellteil liefert Berechnungsergebnisse mit einer Genauigkeit von $< \pm 5$ cm bei Wassertiefen zwischen 40 und 80 cm (Mittelwasser) und von $< \pm 10$ cm bei Wassertiefen von 100–150 cm (Hochwasser). Als Signifikanzschwelle für die Veränderung von Wasserständen in den oberirdischen Fließgewässern wurde ein Wert von einem Dezimeter gewählt.

5.2.4 Datengrundlage und Beschreibung der Ist-Situation

Folgende Basisdaten sind in die Bearbeitung eingeflossen:

- Grundwasserentnahmen (Trinkwasserversorgung, Feldberegnung, Industrie & Gewerbe),
- Schichtenverzeichnisse bzw. Bohrprofile (Trinkwasserversorger), Geologische Schnitte (NIBIS[®]-KARTENSERVEN 2010),
- Grundwasserstände (Messstellen der Trinkwasserversorger und öffentlicher Institutionen),
- Wasserstände und Abflüsse der oberirdischen Fließgewässer, inklusive der Kläranlagenabflüsse (Pegel der Trinkwasserversorger und öffentlicher Institutionen, Kläranlagenbetreiber),
- jährliche und monatliche Grundwasserneubildungsverteilung für Ist- und Prognosezustände (Teilprojekt FE 5.1),
- Geländehöhen zur Erzeugung der Flurabstände (DGM 25 des LGLN (LGLN 2010)),
- Gewässerquerschnitte der Oberflächengewässer.

Auf Grundlage dieser Daten stellt sich die Ist-Situation im Untersuchungsgebiet kurzgefasst wie folgt dar:

Großräumig ist ein einschichtiger Grundwasserleiter ausgebildet, der im Wesentlichen aus gut durchlässigen, quartären Sanden und Kiesen besteht (s. Abb. 5.2.2). Örtlich sind Schluff- und Geschiebelehmungen unterschiedlicher Mächtigkeit zwischengelagert, was im Bereich östlich von Burgdorf zu einer großflächigen Gliederung in zwei Stockwerke führt. Eine Überdeckung des Grundwasserleiters mit gering durchlässigen Sedimenten ist nur vereinzelt und örtlich eng begrenzt anzutreffen. Die Basis wird von vergleichsweise sehr schlecht wasserdurchlässigen Gesteinsfolgen des Tertiärs und der Kreide gebildet (Festgestein). Meist liegt die Grundwasserleitermächtigkeit in einem Wertebereich von 20–40 m.

Im südlichen bzw. südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes ist die geologische Situation sehr komplex, da die Basis z. T. bis an die Geländeoberfläche aufsteigt. Die entsprechenden Bereiche wurden bei den Untersuchungen ausgegrenzt. Im Süden und Südosten ist die Datendichte z. T. nicht ausreichend, so dass auch hier das Untersuchungsgebiet gegenüber der Fläche des Grundwasserkörpers „Wietze-Fuhse Lockergestein“ verkleinert wurde. Dagegen erfolgte im Westen eine Erweiterung des Untersuchungsgebietes, weil dort die hydrographische Grenze, die den Grundwasserkörper „Wietze-Fuhse Lockergestein“ vom benachbarten GW-Körper „Leine Lockergestein rechts“ trennt, nicht mit der unterirdischen Einzugsgebietsgrenze übereinstimmt. Somit ergibt sich das in Abbildung 5.2.1 dargestellte Untersuchungsgebiet für das Teilprojekt FE 5.2 mit einer Flächengröße von rund 1 000 km².

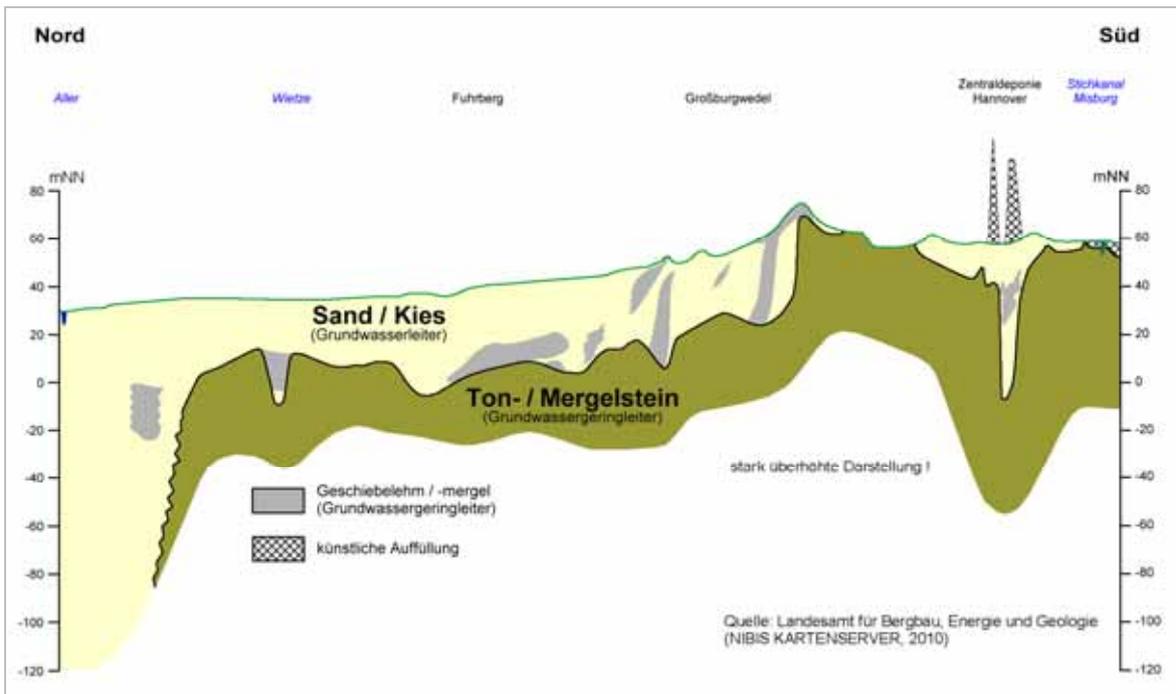


Abb. 5.2.2: Geologischer Schnitt S3 (Lage s. Abb. 5.2.1).

Ein weiterer Bereich mit komplizierten geologischen Gegebenheiten findet sich in den Brelinger Bergen (bei Mellendorf, s. Abb. 5.2.1). Es handelt sich um einen Stauchendmoränenzug. Dort sind in die quartären Sande und Kiese tonige und/oder schluffige Schichten infolge Eisdrucks eingeschuppt. Dadurch ergeben sich engräumig unterschiedliche Aquifermächtigkeiten und Höhenlagen der Grundwasseroberfläche.

Aus den örtlich vorhandenen Grundwasserspiegelmessungen wurde durch Interpolation zwischen den Messstellen ein auf NN bezogener Grundwasserhöhen-Gleichenplan für den Zeitraum 1998–2007 flächendeckend konstruiert. Dabei wurde der Einfluss der oberirdischen Gewässer berücksichtigt. Die Grundwasserspiegelfläche fällt von maximal rund 60 mNN im Süden und im Westen (Brelinger Berge) auf rund 25 mNN im Nordwesten ab. Entsprechend ist die Grundwasserströmung generell von den südlich gelegenen Geestbereichen nach Norden hin zur Aller und Leine ausgerichtet. Dabei gelangt ein Teil des im

Untersuchungsgebiet neu gebildeten Grundwassers in die oberirdischen Fließgewässer (z. B. Wietze, Burgdorfer Aue, Entwässerungsgräben). Ein weiterer Teil wird von den Förderbrunnen der Trinkwasserversorger und Industrieunternehmen sowie den Brunnen zur Feldberegnung abgefangen.

Durch Überlagerung des flächendeckend für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Digitalen Geländemodells (LGLN 2010) mit der konstruierten Grundwasserspiegelfläche für den Zeitraum 1998–2007 wurde ein Grundwasserflurabstandsplan flächig ermittelt (Abb. 5.2.3). Deutlich erkennbar sind die Geestflächen im Süden mit Flurabständen von häufig mehr als 5 m. Auch im Bereich der Brelinger Berge und in der Umgebung der Grundwasserentnahmen durch die Stadtwerke Hannover AG finden sich relativ große Werte. Im zentralen Untersuchungsgebiet und in der Nähe der großen Flüsse steht das Grundwasser weitflächig oberflächennah an (Flurabstände im Mittel kleiner als 2 m). Dort sind i. d. R. auch weitläufige Entwässerungssysteme eingerichtet.

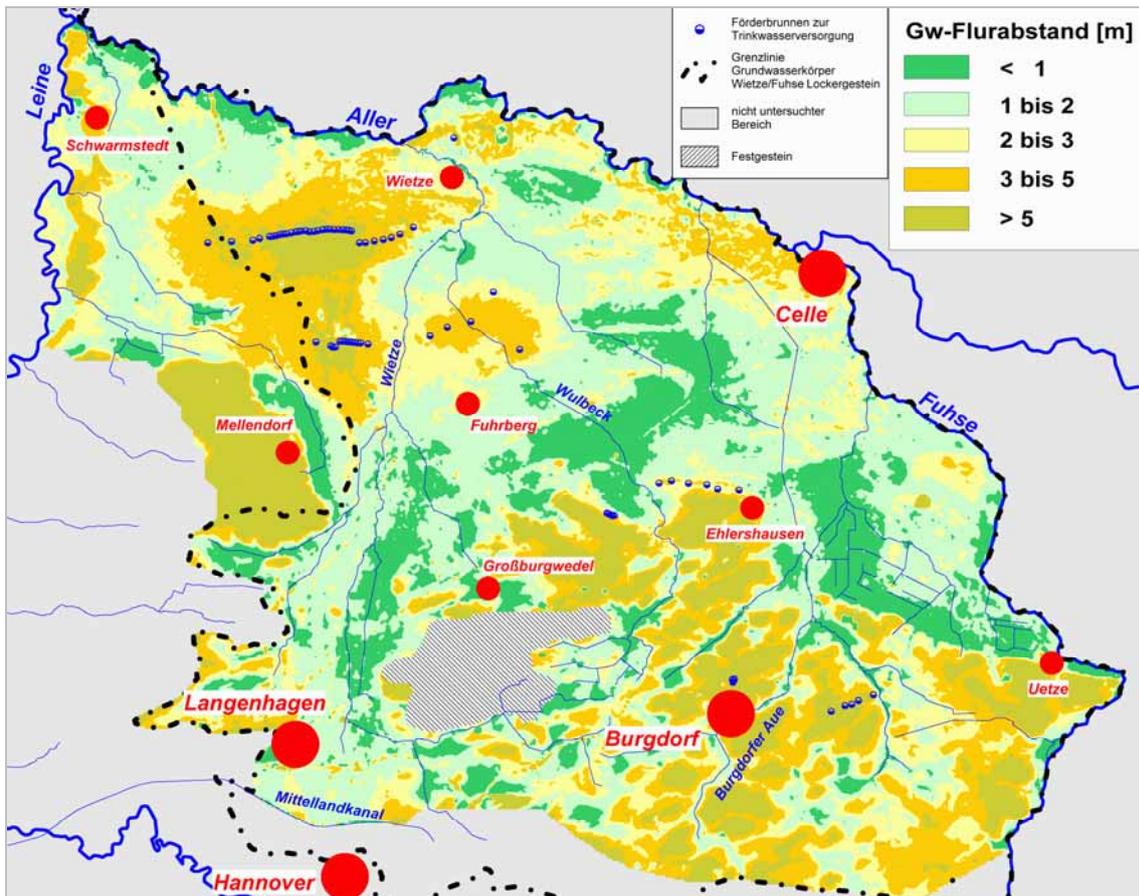


Abb. 5.2.3: Langfristig mittlerer Grundwasserflurabstand.

Das oberirdische Gewässersystem ist geprägt durch die Aller im Norden und die Leine im Nordosten des Untersuchungsgebietes. Alle anderen oberirdischen Fließgewässer entwässern dorthin. Für das Einzugsgebiet der Wietze liegen langjährige Wasserstands- und Abflussdaten mit hoher zeitlicher Auflösung (15 min) vor. Alle Brücken, Wehre, steuerbaren Strukturen (mit Regeln) sind bekannt und wurden berücksichtigt. Die Wietze entwässert mit einem Einzugsgebiet von rund 514 km² Teile der Hannoverschen Moorgeest um Großburgwedel-Fuhrberg, aber auch Teile des hannoverschen Stadtgebietes bzw. der Stadt Langenhagen.

In der Aller wurde ganzjährig ein mittlerer Abfluss berücksichtigt. Die Wasserstände beinhalten die Stauziele der vorhandenen Wehre.

In Abbildung 5.2.5 sind die derzeit im Monatsmittel am Pegel Wiekenberg/Wietze ablaufenden Abflüsse dargestellt. Es ist ein ausgeprägter Jahresgang erkennbar. Der Jahresgang hat sein Minimum in den Monaten August/September und sein Maximum in den Monaten Januar bis Februar.

5.2.5 Klimainduzierte Auswirkungen auf das Grundwassersystem und die oberirdischen Fließgewässer

Im Folgenden werden die Ergebnisse exemplarisch anhand der Grundwasserspiegelveränderungen an den drei Grundwassermessstellen 20382, 20425 und 20881 sowie der Gesamtabflussveränderungen am Pegel Wieckenberg/Wietze dargestellt (Lage der Grundwassermessstellen und des Pegels s. Abb. 5.2.1). Die Grundwassermessstellen repräsentieren Bereiche mit geringen bis mittleren Grundwasserflurabständen, die typisch für die natürlichen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet sind und sensitiv gegenüber klimabedingten Grundwas-

serpiegelveränderungen reagieren. Der Pegel Wieckenberg/Wietze bietet die Möglichkeit, die Veränderungen in der Wasserbilanz des maßgeblichen oberirdischen Einzugsgebietes des Grundwasserkörpers Wietze-Fuhse zu beurteilen.

Veränderte Klimaparameter, wie Temperatur und Niederschlag, wirken auf die Grundwasserneubildung, deren Veränderung vom Teilprojekt FE 5.1 ermittelt wurde. Die nachfolgenden Tabellen 5.2.1 und 5.2.2 enthalten die im Grundwassermodell verwendeten Grundwasserneubildungsraten für den kalibrierten Ist-Zustand sowie die verschiedenen Prognosezustände.

Tab. 5.2.1: Grundwasserneubildung [Mio. m³] im Bereich des Grundwassermodells für Ist-Zustand und Prognosezeitraum 2021–2050.

	Ist-Zustand	Prognose Durchschnittswert	Prognose nass	Prognose trocken
Jahr	166	175	257	105
Sommer (Apr.–Sep.)	48	4	32	2
Winter (Okt.–Mrz.)	118	171	225	103

Tab. 5.2.2: Grundwasserneubildung [Mio. m³] im Bereich des Grundwassermodells für Ist-Zustand und Prognosezeitraum 2071–2100.

	Ist-Zustand	Prognose Durchschnittswert	Prognose nass	Prognose trocken
Jahr	166	175	236	113
Sommer (Apr.–Sep.)	48	11	18	7
Winter (Okt.–Mrz.)	118	164	218	106

Demnach ergeben sich für das Average-Case-Szenario (Durchschnittswert) über das Jahr gesehen nur geringfügige Erhöhungen der Grundwasserneubildung um rund 5 %. Interessanter dagegen ist die prognostizierte jahreszeitliche Verschiebung: So ist für den Winter eine deutliche Zunahme und im Sommer eine deutliche Abnahme erkennbar. Außerdem ist bemerkenswert, dass die Werteunterschiede für die zu betrachtenden Zeiträume nicht bedeutend sind.

Die in den Tabellen 5.2.1 und 5.2.2 angegebenen Werte für die Worst-Case-Szenarien „nass“ und „trocken“ geben die Spannweite der im Teilprojekt FE 1 definierten Klimaanregung wieder.

Für das durchschnittliche Szenario sind in Abbildung 5.2.4 die resultierenden innerjährlichen Veränderungen des Grundwasserstandes an Grundwassermessstellen und in Abbildung 5.2.5 die entsprechenden Gesamtabflüsse am Pegel Wieckenberg/Wietze dargestellt. Es ist erkennbar, dass

- die Unterschiede zwischen den betrachteten Prognosezuständen nicht signifikant sind (deshalb werden im Folgenden nur noch die Ergebnisse für den Prognosezustand 2071–2100 betrachtet),
- im Winter (insbesondere in den Monaten Dezember–März) der Grundwasserspiegel um einige Dezimeter ansteigt,
- im Sommer der Grundwasserspiegel tendenziell absinkt (insbesondere am Ende der Vegetationsphase),
- folglich die Schwankungsbreite des Grundwasserspiegelganges deutlich zunimmt,
- eine zeitliche Verschiebung der jährlichen minimalen und maximalen Werte zu erwarten ist (jeweils früheres Eintreten),
- im Sommer in den oberirdischen Fließgewässern deutliche Abflussreduktionen eintreten, die im Bereich schon heute sensibler Gewässerstrecken die Problematik des Trockenfallens verstärken können,
- es am Pegel Wieckenberg zu einer deutlichen Zunahme der Jahressumme kommt (um rund 6,5 Mio. m³).

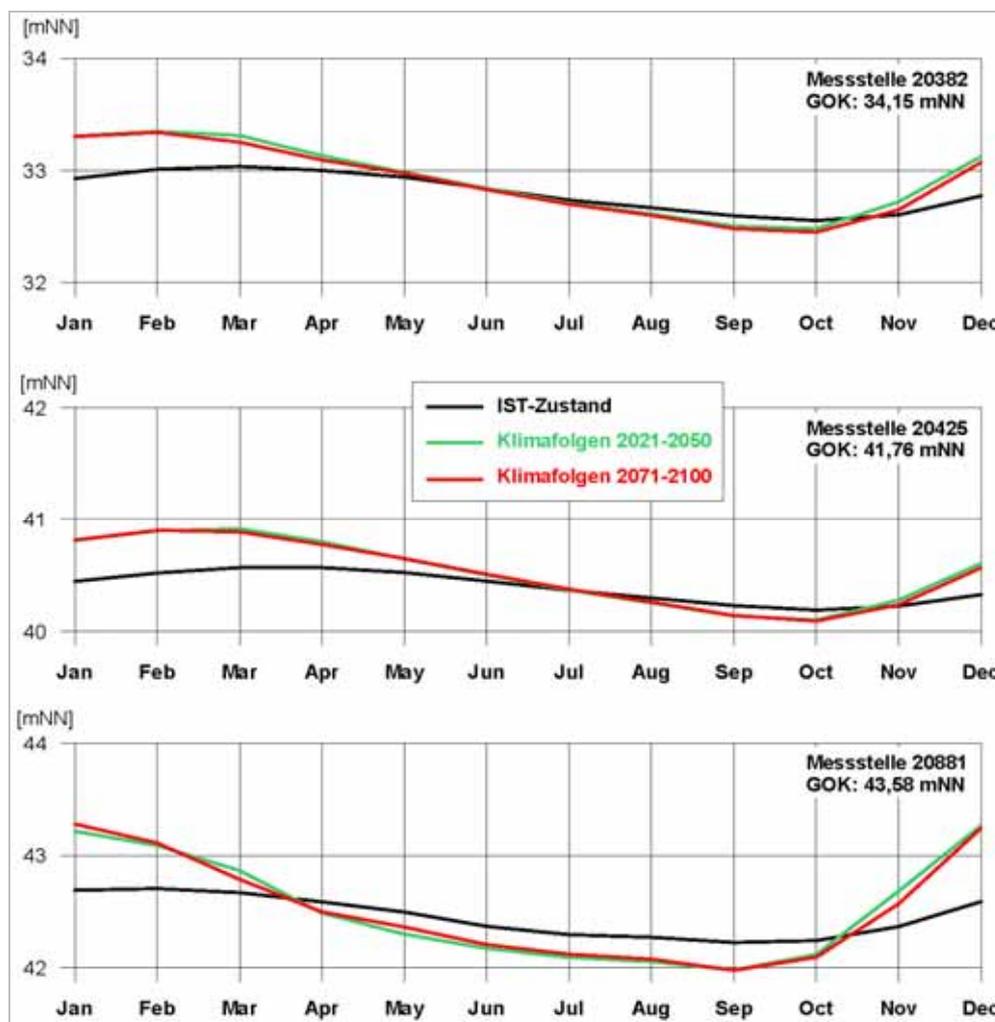


Abb. 5.2.4: Langjährige Monatsmittel der Grundwasserstände für den Ist-Zustand und durchschnittliche Prognosezustände 2021–2050 sowie 2071–2100.

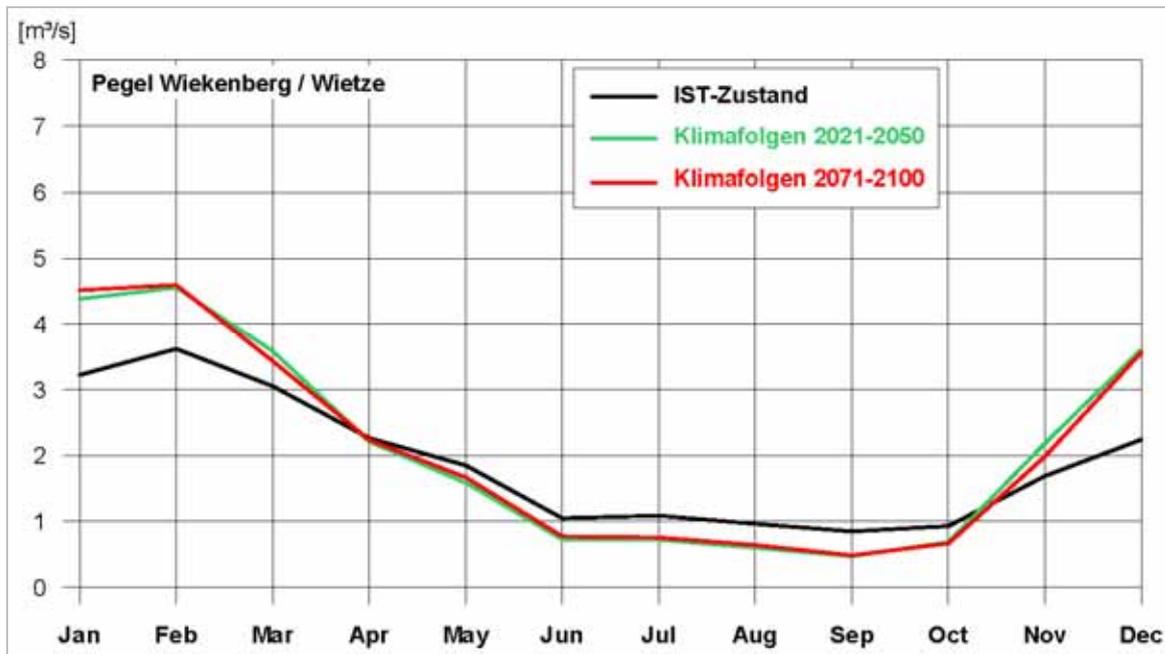


Abb. 5.2.5: Langjährige Monatsmittel der Gesamtabflüsse für den Ist-Zustand und durchschnittliche Prognosezustände 2021–2050 sowie 2071–2100.

Flächige Ergebnisdarstellungen der aufgezeigten Grundwasserspiegel sowie Wasserstände und Abflüsse im oberirdischen Fließgewässersystem für die einzelnen Monate und für zusammengefasste Zeitperioden (auch in Form von Differenzen) können innerhalb der I+K-Plattform (s. Beitrag des Teilprojektes FE 6) eingesehen werden.

Die Worst-Case-Szenarien betrachtend sind drastische Veränderungen der Wasserhaushaltssituation festzustellen. Gemäß den Tabellen 5.2.1 und 5.2.2 ist bereits die Anregung des Systems deutlich erkennbar.

Abbildung 5.2.6 zeigt die resultierenden Veränderungen des Grundwasserstandes an den drei ausgewählten Grundwassermessstellen und Abbildung 5.2.7 die entsprechenden Veränderungen des Gesamtabflusses am Pegel Wiekenberg/Wietze. Zusammengefasst lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- Weitflächig ergeben sich je nach Szenario Absenkungen bzw. Aufhöhungen des Grundwasserspiegels um deutlich mehr als einen Meter, und zwar ganzjährig.
- Damit würde es gebietsweise zu dauerhaften Vernässungen (Niederungen) bzw. Austrocknungen kommen (der Trockenstress für grundwasserabhängige Biotope wäre damit erheblich). Für das trockene Szenario ergibt sich am Pegel Wiekenberg/Wietze rechnerisch sogar ein Trockenfallen im Zeitraum Juni–Oktober.
- Allerdings sind die Ergebnisse damit z. T. nicht mehr plausibel, da Rückkopplungseffekte nicht mehr vernachlässigbar sind (grundwasserabhängiger Einfluss auf Grundwasserneubildung und Direktabfluss).

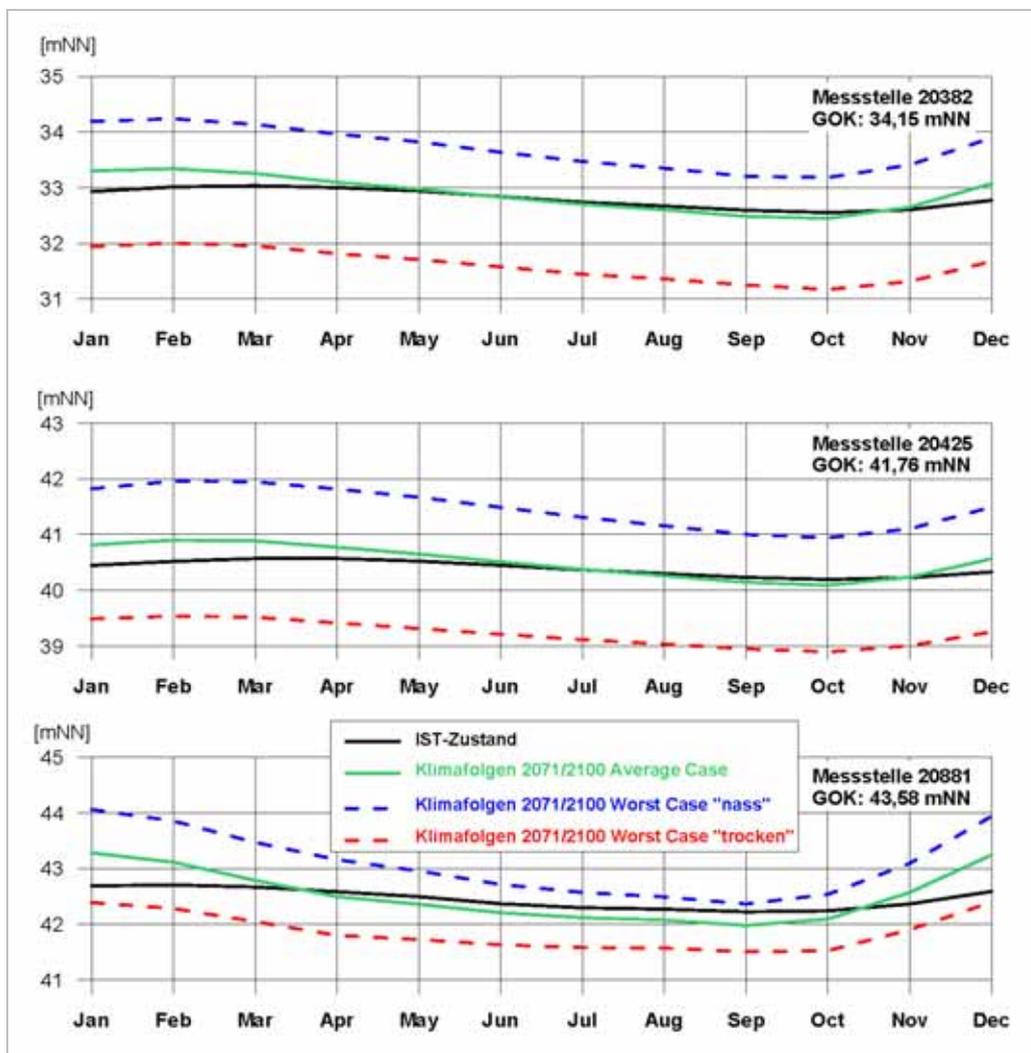


Abb. 5.2.6: Langjährige Monatsmittel der Grundwasserstände für den Ist-Zustand und die durchschnittliche, trockene sowie nasse Variante des Prognosezustandes 2071–2100.

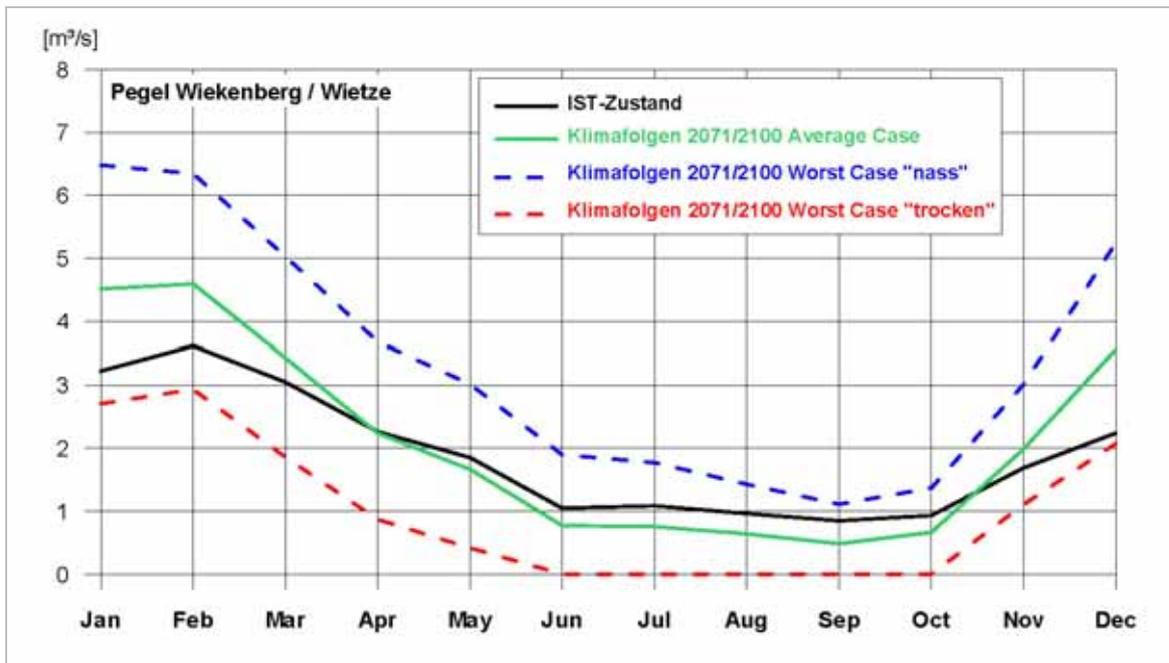


Abb. 5.2.7: Langjährige Monatsmittel der Gesamtabflüsse für den Ist-Zustand und die durchschnittliche, trockene sowie nasse Variante des Prognosezustandes 2071–2100.

Auch für diese Worst-Case-Szenarien sind die Ergebnisse in der I+K-Plattform flächenhaft dargestellt.

5.2.6 Auswirkung indirekter Einflussgrößen

Die klimatischen Veränderungen fließen über die Anpassung der Grundwasserneubildung und des Direktabflusses direkt in das Modell ein und bewirken geänderte Wasserstände, Abflüsse und Mengenzustände. Daneben kommen aber auch indirekte Einflüsse über ebenfalls klimaabhängige Sekundärsysteme zum Tragen. Dies sind z. B. der Bewuchs (natürliche Vegetation, Land- und Forstwirtschaft) und die Wasserversorgung (Trinkwasser, Feldberegnung, Gewerbe/Industrie).

Betrachtet werden konnten hier die klimainduzierten Veränderungen bei der Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen und die Erfordernisse zur Abdeckung des Trinkwasserbedarfes.

Das Teilprojekt FE 2 hat eine Zunahme der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit infolge der

Temperatur- und Niederschlagsveränderung in den Sommermonaten ermittelt. Diese wurde im Modell durch eine entsprechende Verringerung der Grundwasserneubildung voll angesetzt. Damit ergibt sich für das Average-Case-Szenario eine flächenhafte, aber geringfügige zusätzliche Abnahme der Grundwasserstände. Im Sommermittel verbleiben die Werte großflächig unterhalb von einem Dezimeter, örtlich werden rund 2–3 dm erreicht. Dies gilt auch für das Ende der Vegetationsperiode (September). Die durchschnittliche jährliche Zunahme der Abflüsse fällt am Bilanzpegel Wieckenberg/Wietze von ca. 6,5 auf ca. 2,8 Mio. m³ ab. An den Pegeln Fuhrberg und Wieckenberg/Wulbeck ist die durch den Klimawandel bedingte Zunahme des jährlichen Abflusses jetzt fast nicht mehr erkennbar. Am Pegel Wieckenberg/Wietze sind die Abnahmen gegenüber dem Ist-Zustand zeitweise größer als die Abflüsse im Ist-Zustand selbst. Das Gewässer wird in diesem Bereich trocken fallen.

Im Rahmen einer Literaturstudie hat enercity sich mit der Entwicklung des Wasserbedarfs und der Ableitung sinnvoller Modellannahmen auseinandergesetzt. Die bestimmende Größe des Wasserbedarfs bildet die demografische

Entwicklung, deren lokale Variabilität im Wesentlichen von der Attraktivität einer Region geprägt ist. Darüber hinaus gibt es technische und ökonomische Rahmenbedingungen, die Einfluss auf den zukünftigen Wasserverbrauch einer Region haben. Aber alle diese Größen werden sich in unserer eher vom Wasserüberfluss geprägten Landschaft weitestgehend unabhängig vom Klima verändern. Daher wurde in die Gestaltung der indirekten Einflüsse allein der klimabedingte Mehrverbrauch der Trinkwassergewinnung (Hygiene, Gartenbewässerung etc.) einbezogen. Dieser wird bis 2100 mit 5 % im Jahresmittel unterstellt (nach GROSSMANN & HOFFMANN 2008 und ROTH et al. 2008). Die innerjährliche Entwicklung des Wasserverbrauchs wurde über eine geringfügige monatliche Umverteilung – vom Winter in den Sommer – realisiert. Die Entwicklung des täglichen Spitzenverbrauchs kommt aufgrund des gewählten zeitlichen Rasters nicht zum Tragen. Weitere klimabedingte Veränderungen (z. B. Ausweitung der dezentralen Versickerung unter Ortschaften) wurden z. B. als Maßnahme bewertet.

Die entsprechende Simulation ergibt eine geringfügige und örtlich stark begrenzte zusätzliche Grundwasserspiegelabsenkung, deren Ausmaß abhängig von der Entfernung zu den Förderbrunnen ist. Die Werte verbleiben im Allgemeinen unterhalb der Signifikanzschwelle von 2 dm, nur in der näheren Umgebung der Förderbrunnen treten Absenkungen von bis zu 4 dm auf. Dabei sind die innerjährlichen Unterschiede vernachlässigbar. Auch die Auswirkungen auf das oberirdische Fließgewässersystem sind relativ gering. So ergibt sich z. B. am Bilanzpegel Wieckenberg/Wietze eine Abnahme der Jahreszunahme von ca. 6,5 Mio. m³ (Jahressumme bei Berücksichtigung der direkten Klimafolgen) auf ca. 5,1 Mio. m³. Damit steht über das Jahr gesehen mehr Wasser im Gewässer zur Verfügung als im Ist-Zustand.

5.2.7 Identifikation von Handlungsschwerpunkten

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die direkt wirkenden Klimaveränderungen (Grundwasserneubildung, Direktabfluss) generell zu nasserem Bedingungen im Winter (Aufhöhung des Grundwasserspiegels) und zu trockeneren Bedingungen zum Ende der Vegetationsperiode (Absenkung des Grundwasserspiegels) führen. Insbesondere die oberirdischen Fließgewässer sind von der zunehmenden Trockenheit im Sommer betroffen.

Signifikante Veränderungen der Ergebnisgrößen werden im Gesamtprojekt anhand von Betroffenheitsbereichen („Hot-Spots“) in entsprechenden Themenkarten der I+K-Plattform sichtbar gemacht (s. Beitrag des Teilprojektes FE 6). Dabei werden sowohl positive als auch negative Effekte erfasst.

Die Umsetzung dieses Konzeptes wurde hier auf Basis der ermittelten Veränderungen der Grundwasserflurabstände sowie der Wasserstände in den oberirdischen Fließgewässern vorgenommen. Die Beurteilung der Signifikanz einer Veränderung der Grundwasserstände erfolgte im Zusammenhang mit der Möglichkeit des Einflusses auf örtlich vorhandene Nutzungsarten (Betroffenheitsanalyse). Wegen der Größe des Untersuchungsgebietes konnte im Rahmen dieses Projektes nur eine grobe Beurteilung anhand von relativ einfachen Bedingungen erfolgen. Diese ermöglichen aber eine Einschätzung, ob eine Betroffenheit für die Hauptnutzungsarten Wald, Landwirtschaft und Siedlung generell auszuschließen ist oder nicht. Zur Ermittlung des Ausmaßes einer Betroffenheit ist eine Einzelfallprüfung unter Berücksichtigung kleinräumiger Standortfaktoren unabdingbar (insbesondere Feldkapazität des Bodens und Durchwurzelungstiefe).

Beispielsweise wurde bei landwirtschaftlich genutzten Flächen eine potenzielle Betroffenheit beim Eintreten signifikanter Wasserstandsschwankungen (2 dm) und gleichzeitiger Unterschreitung von Flurabständen, die im Sommer geringer als 2 m sind, unterstellt.

Es zeigt sich, dass weite Teile der Siedlungsbereiche potenziell betroffen sind, die Betroffenheit landwirtschaftlicher Flächen dagegen weitaus geringer ist.

Die Beurteilung der Beeinflussung der FFH-Gebiete erfolgte gesondert über das Teilprojekt FE 4 (WEISS, REICH & RODE (2011), da hier einfache, einheitlich geltende Kriterien nicht abzuleiten sind.

5.2.8 Kompensationspotenzial durch Anpassungsmaßnahmen

Im Anschluss an die Identifikation potenziell betroffener Bereiche wurde die Effektivität unterschiedlicher Maßnahmen zur Kompensation der Klimafolgen untersucht.

Hierfür wurden einfache Annahmen getätigt, in welchen Räumen die Maßnahmen umzusetzen sind. Diese Suchräume sind ebenfalls im lokalen Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) hinterlegt. Eine Versickerung ist beispielsweise nur dort sinnvoll möglich, wo Flurabstände von mehr als 3 m vorhanden sind.

Innerhalb des Forschungsprojektes wurden unterschiedliche Maßnahmen untersucht. Dabei wurden wiederum die Auswirkungen auf die Grundwasserstände, aber auch auf die Wasserstände und Abflüsse in den oberirdischen Fließgewässern prognostiziert. Die Maßnahmen können zu einer Verbesserung des Wasserhaushalts im Sommer und/oder zur Entlastung des Systems im Winter beitragen.

Die untersuchten Maßnahmen (M1–M4) stellen sich wie folgt dar:

M1: Dezentrale Versickerung

Beschreibung:
Wasserrückhalt des von den Dach- und Hofflächen anfallenden Niederschlagswassers; modelltechnische Umsetzung über lokale Erhöhung der Grundwasserneubildung und Reduktion des Direktabflusses,

Anwendung:
in Siedlungsbereichen,

Wirkung/Bewertung:
Lokale Verbesserung des Dargebotes in Verbindung mit Hochwasserentlastung im Winter und Abflussreduktion im Sommer; Identifikation geeigneter Bereiche vorzugsweise in Ortsrandlagen.

M2: Steuerung der Entwässerungssysteme

Beschreibung:
Wasserrückhalt in Entwässerungssystemen über gezielte, ggf. automatisierte Steuerung von Schiebern oder vergleichbaren Systemen; modelltechnische Umsetzung über lokale Erhöhung der Grundwasserneubildung und Reduktion des Direktabflusses,

Anwendung:
im Bereich vorhandener Entwässerungssysteme (Gräben, Dränagen),

Wirkung/Bewertung:
Lokale Dargebotsverbesserung im Frühjahr/Sommer bzw. gezielte Entwässerung vernässelter Bereiche; vorzugsweise Nutzung vorhandener Systeme, Berücksichtigung der Bewirtschaftungsansprüche.

M3: Regeneration

Beschreibung:
flächige, linienförmige oder punktuelle Versickerung von Wasser verschiedener Quellen (z. B. Oberflächengewässer) im Grundwassersystem; modelltechnische Umsetzung über lokale Infiltration und Reduktion des Direktabflusses,

Anwendung:
in Bereichen mit ausreichend großen Flurabständen und entsprechender Mengenverfügbarkeit,

Wirkung/Bewertung:
Dargebotsverbesserung; mit Entfernung zur Quelle und Steigerung des technischen Aufwandes steigen die Kosten; Berücksichtigung von Wasserqualität und Bewirtschaftungsansprüchen.

M4: Waldumbau

Beschreibung:
Umwandlung von immergrünen Nadelwäldern in laubbaumreiche Mischwälder bis hin zu reinen Laubwäldern mit einem Potenzial zur Erhöhung der Grundwasserneubildung von bis 100 mm (nach MÜLLER 1996); modelltechnische Umsetzung über eine Erhöhung der Grundwasserneubildung in Anlehnung an die Ergebnisse nach DUINISVELD, PILEVSKI & KLUMP (2001),

Anwendung:
Nadelwälder,

Wirkung/Bewertung:
Erhöhung der Grundwasserneubildung; Größenordnung der Veränderung wird grundsätzlich von der Niederschlagsmenge und -verteilung bestimmt und ist damit variabel.

Die ausgewählten Räume für die Simulationsrechnungen der Maßnahmen sind der Abbildung 5.2.8 zu entnehmen.

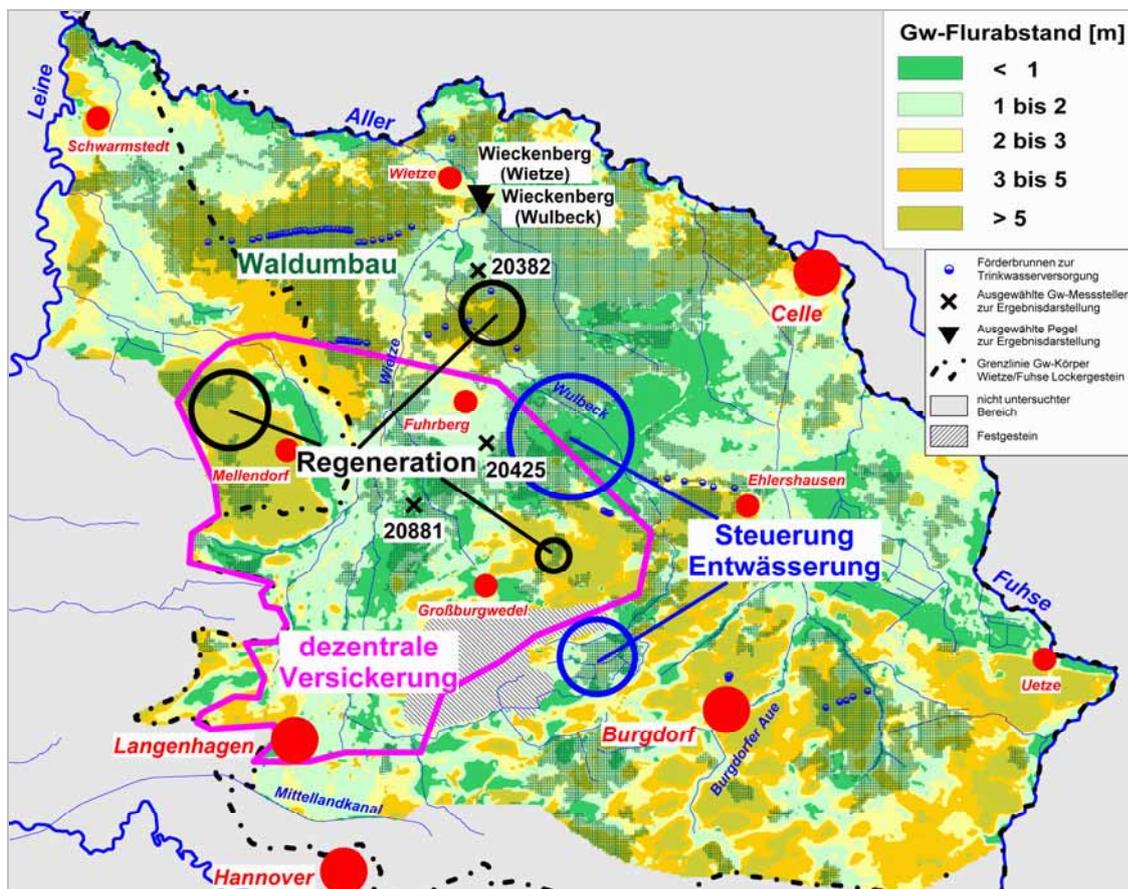


Abb. 5.2.8: Betrachtete Lokationen für Anpassungsmaßnahmen.

Auswahlkriterium für die Lokation der simulierten Maßnahmen war im Wesentlichen die wasserwirtschaftliche Signifikanz hinsichtlich Menge und/oder die Abdeckung eines großen Einflussgebietes. Eine Machbarkeit vor Ort wurde nicht geprüft. Es galt, die wasserwirtschaftliche Relevanz der Anpassungsmaßnahmen herauszuarbeiten und zu bewerten. Die unterschiedlichen Potenziale sind der Tabelle 5.2.3 zu entnehmen. Es wird deutlich, dass im Bereich der Grundwasserregeneration (hier: überschüssiges Wasser, das im Winter für eine Versickerung zur Verfügung steht) das größte

verfügbare Wasservolumen entsteht. Dieses beschränkt sich sogar nur auf das betrachtete Einzugsgebiet der Wietze und gibt damit nicht das Potenzial des gesamten Grundwasserkörpers wieder. Die Erhöhung des Grundwasserdargebotes durch einen vollständigen Waldumbau ist zwar groß, dessen Höhe wird aber durch die wirtschaftlichen Belange der Forstwirtschaft beeinflusst. Zur Verdeutlichung des maximalen wasserwirtschaftlichen Potenzials wurde in diesem Fall dennoch die Gesamtmenge simuliert.

Tab. 5.2.3: Potenziell zur Verfügung stehende Wassermengen für die betrachteten Anpassungsmaßnahmen M1–M4 im Betrachtungszeitraum.

Maßnahmen	Potenzielle Mengen [Mio. m³]	Simulierte Mengen [Mio. m³]	
		Sommer	Winter
Dezentrale Versickerung	1,7	0,6	1,1
Steuerung der Entwässerungssysteme „Winter“	1,5		1,5
Steuerung der Entwässerungssysteme „Sommer“	1,6	1,6	
Regeneration	20,2		7,0
Waldumbau*	13,0	3,1	22,8

* Belange der Forst- und Wasserwirtschaft bedingen die Höhe des Potenzials; bei Unterstellung einer vollständigen Umsetzung der Umwandlung von Nadel- zu Laubwald (bis zu 100 mm Differenz nach MÜLLER 1996) können maximal sogar bis zu 25,9 Mio. m³/a erreicht werden, die in diesem Fall zur Darstellung der Systemanregung simuliert wurden.

Die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmen auf das Grundwassersystem und die oberirdischen Fließgewässer sind den Abbildungen 5.2.9 und 5.2.10 zu entnehmen. Die größte flächige Beeinflussung erfolgt über den Waldumbau. Aber auch vergleichsweise geringe potenzielle Mengen, wie bei der Steuerung der Entwässerungssysteme, führen im unmittelbaren Wirkungsbereich dieser Maßnahmen zu deutlichen Aufhöhungen der Wasserstände im Grundwasserkörper und im Gewässernetz. Dieser Zusammenhang ist in der Abbildung 5.2.9 deutlich anhand der Ganglinie für die Messstelle 20425 zu erkennen. Damit konnte gezeigt werden, dass nicht nur die Höhe des Potenzials über die Wirksamkeit einer Maß-

nahme entscheidet. Es gibt vielmehr eine Vielzahl von Kriterien:

- Auswirkung auf die betroffenen Systeme ist groß (Anhebung des Grundwasserstandes bzw. Wasserstandes in den oberirdischen Fließgewässern und/oder Bilanzverbesserung) – in der Regel lokal begrenzt,
- Umsetzbarkeit ist einfach (im Interesse mehrerer Nutzer),
- Maßnahmen werden schon aus anderen Gründen durchgeführt und weisen auch einen wasserwirtschaftlichen Effekt auf (z. B. Waldumbau).

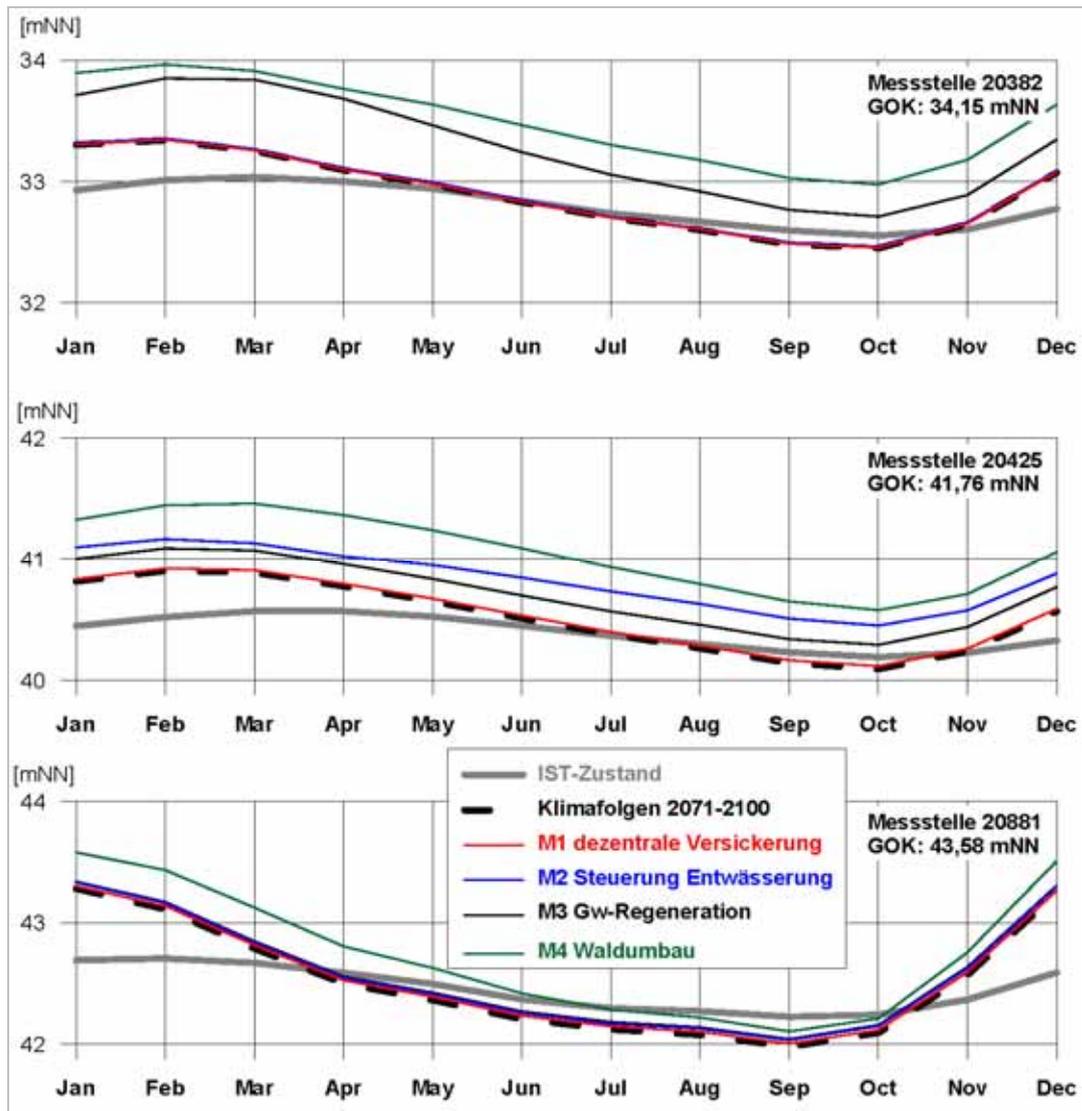


Abb. 5.2.9: Langjährige Monatsmittel der Grundwasserstände für den Ist-Zustand und die verschiedenen Prognosezustände.

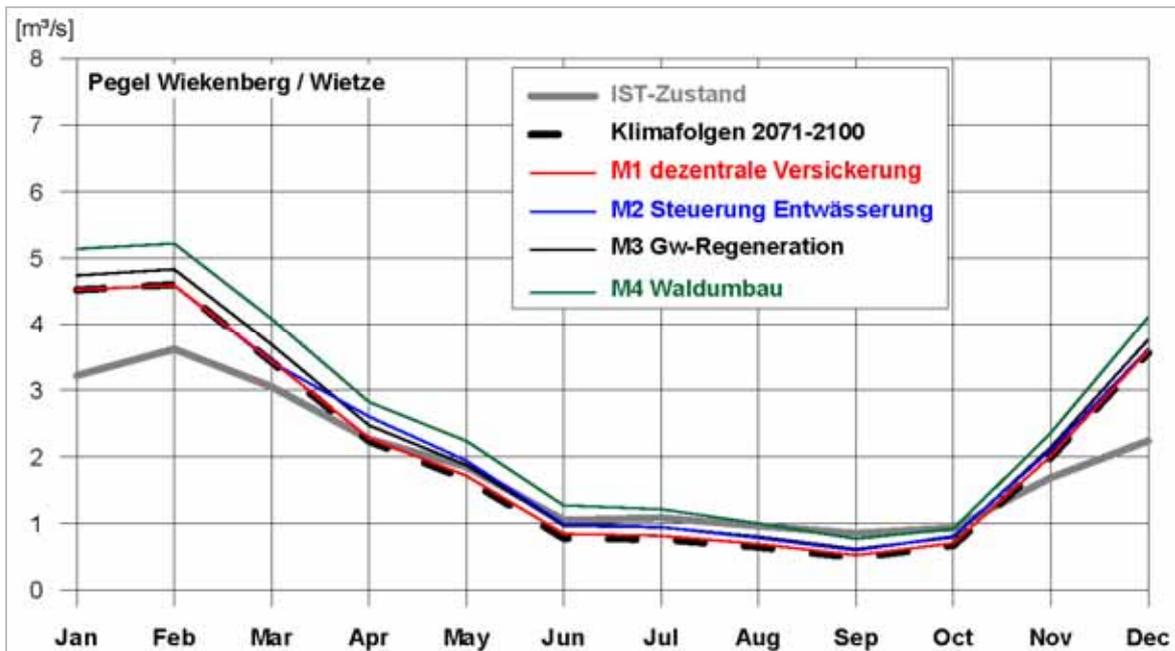


Abb. 5.2.10: Langjährige Monatsmittel der Gesamtabflüsse für den Ist-Zustand und die verschiedenen Prognosezustände.

Obwohl durch die hier dargestellte Maßnahmenrealisierung (vgl. Tab. 5.2.3) das Dargebot um rund 20 % erhöht werden kann, scheint es schwierig, diese Mengen auch umzusetzen. Wie aus der Abbildung 5.2.8 zu erkennen ist, sind insbesondere die Bereiche, in denen relativ große Flurabstände vorliegen und damit eine Regeneration stattfinden kann, begrenzt. Bei der Simulation zur Anregung des Systems wurden hier bereits Standorte gewählt, die ohne eine technische Lösung (Graben, Rohrleitungen, Pumpen etc.) nicht realisierbar sind und deren Prüfung für eine Eignung der Umsetzung noch aussteht. Dennoch konnte nur ein Drittel des in dem betrachteten Gewässersystem der Wietze zur Verfügung stehenden Potenzials ausgeschöpft werden. Weitere Potenziale in den übrigen Gewässernetzen sind darüber hinaus noch vorhanden.

Generell steht ein großes Potenzial zur Verfügung, dennoch ist es geboten, neben dem Blick auf die Gesamtbilanz immer auch die lokalen Auswirkungen einzubeziehen. Auch „kleine“ Maßnahmen können bereichsweise die Situation durchaus entschärfen. Exemplarisch wird das mit Abbildung 5.2.11 deutlich. Obwohl nur ein vergleichsweise geringes Potenzial den Maßnahmen zur Entwässerungssteuerung zugrunde liegt, werden durch die Maßnahmen deutliche Aufhöhungen der Wasserstände in der nahegelegenen Wulbeck verursacht. Diese Aufhöhungen vermögen zumindest im mittleren Szenario die Klimafolgen zeitweise vollständig zu kompensieren.

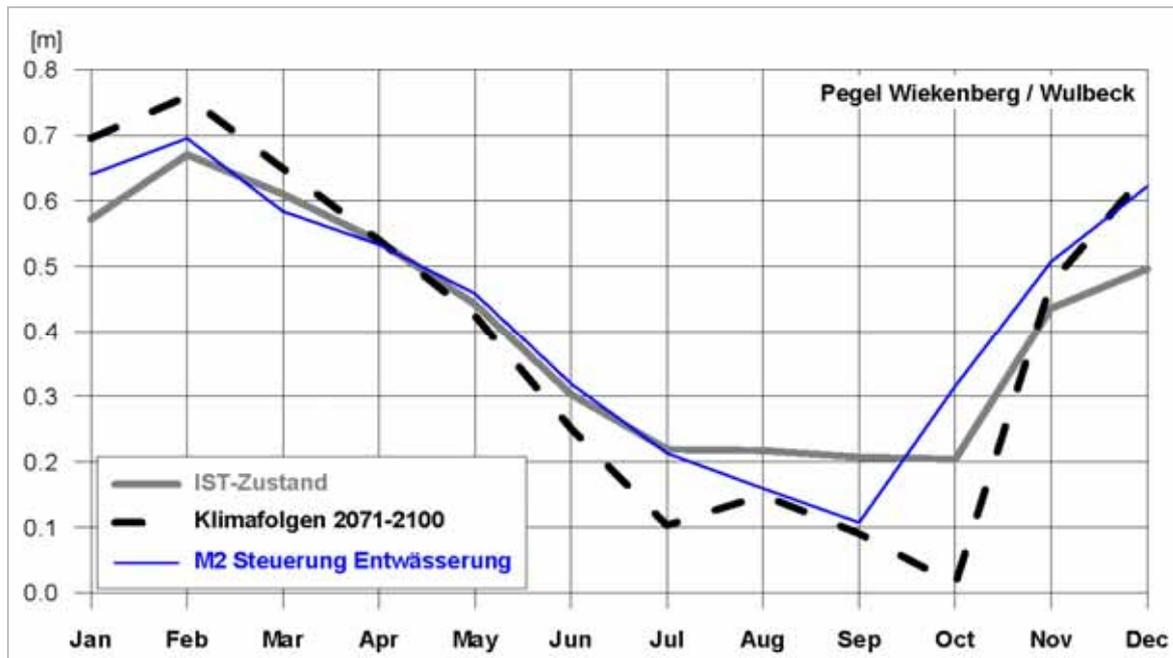


Abb. 5.2.11: Langjährige Monatsmittel der Wassertiefen in der Wulbeck für den Ist-Zustand und die verschiedenen Prognosezustände.

5.2.9 Ergebnisdiskussion

Mittlerweile ist in der Fachwelt unstrittig, dass zukünftig eine Klimaänderung mit steigender Durchschnittstemperatur um einige Grad Celsius und Veränderung der Niederschlagsverhältnisse (im Wesentlichen eine Verschiebung der jährlichen Verteilung) nicht mehr abgewendet werden kann. Es ist aber derzeit nicht möglich, das Ausmaß des Klimawandels mit eindeutiger Quantifizierung der bestimmenden Parameter zu beschreiben. Dieser Umstand spiegelt sich in den im Gesamtprojekt betrachteten Worst-Case-Szenarien wider. Bei der Interpretation der Ergebnisse zu den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf das Grundwassersystem und die oberirdischen Fließgewässer sind zusätzliche Unsicherheiten innerhalb der Bearbeitungskette im Gesamtprojekt zu bedenken. Beispielsweise sei hier genannt:

- Regionalisierung der Klimaparameter auf das Untersuchungsgebiet (s. dazu den Beitrag des Teilprojektes FE 1),
- Ermittlung der monatlichen Grundwasserneubildung mit einem vereinfachten Ansatz (s. dazu den Beitrag des Teilprojektes FE 5.1),

- generelle Vernachlässigung von Rückkopplungseffekten im Gesamtprojekt,
- Annahme eines konstant bleibenden Verhältnisses Direkt- zu Basisabfluss zur Abschätzung des zukünftigen Direktabflusses aus dem ermittelten Basisabfluss,
- bereichsweise geringe Datendichte, insbesondere im Osten des Untersuchungsgebietes,
- bereichsweise vereinfachte Nachbildung komplizierter geologischer Verhältnisse im einschichtigen Grundwassermodell (z. B. zweistöckiges Grundwassersystem östlich von Burgdorf),
- Ermittlung der Grundwasserspiegelfläche für das Untersuchungsgebiet durch Interpolation von punktuellen Messdaten.

Trotz dieser Unsicherheiten zeigen die Ergebnisse aber die große Sensitivität gegenüber Klimaveränderungen sowie die Größenordnung der zu erwartenden Werteveränderungen auf. Die im Gesamtprojekt angenommenen trockenen und nassen Ausprägungen der Klimaveränderung führen zu drastischen Unterschieden bei den Eingangsparametern für die Wasserhaushaltssimulation. Es ergeben sich

damit generell gegensätzliche Aussagen bezüglich der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt: Die Berechnungsergebnisse der hier betrachteten Größen Grundwasserstand und Gesamtabfluss liegen im trockenen Szenario ganzjährig deutlich unterhalb und im nassen Szenario ganzjährig deutlich oberhalb der für den Ist-Zustand ermittelten Werte. Für zukünftige Planungen konkreter Maßnahmen ist es somit von entscheidender Bedeutung, die Bandbreite prognostizierter Klimaentwicklungen besser einzugrenzen.

Legt man die Ergebnisse für das Average-Case-Szenario zugrunde, so treten die aufgezeigten negativen Auswirkungen im Sommer schon für den Prognosezeitraum 2021–2050 in nahezu vollständiger Ausprägung auf. Daraus lässt sich ableiten, dass kurzfristiger Handlungsbedarf zur Verbesserung der Wasserhaushaltssituation gegeben ist. Schon heute sollten Maßnahmen im Bereich stark belasteter oberirdischer Fließgewässer oder Grundwasserkörper eingeleitet werden. Dabei ist die Durchführung eines begleitenden Messprogramms wichtig, um die Effektivität sowie die Effizienz der Maßnahme beurteilen zu können und realistische Erfahrungswerte für weitere Projekte zu bekommen.

Es ist weiterhin zu beachten, dass hier nur die Veränderung langfristiger Monatsmittel betrachtet werden konnte. Die prognostizierte Zunahme von Extremereignissen führt natürlich auch zu einer verstärkten Reaktion der hier betrachteten Systeme, insbesondere in den oberirdischen Fließgewässern. Es ist damit zu rechnen, dass im Winter häufiger Vernässungen in Niederungsbereichen eintreten und im Sommer die Problematik des Trockenfallens von oberirdischen Fließgewässern zunimmt.

Im Rahmen der vorliegenden Veröffentlichung konnten nicht alle Ergebnisse dargestellt und beschrieben werden. Es wurde versucht, einen durchgängigen Überblick der Untersuchungen von der Datengrundlage über die Methodik bis zu den Ergebnissen darzulegen. Die Ergebnisse aller Simulationsrechnungen sind in der I+K-Plattform sowie dem ausführlichen Abschlussbericht dokumentiert. Das sind im Einzelnen:

- Grundwasserflurabstände sowie Wasserstände und Abflüsse in den oberirdischen Fließgewässern; jeweils monatliche, halbjährliche (Sommer/Winter) und jährliche Werte für den Ist-Zustand,

- Grundwasserflurabstände sowie Wasserstände und Abflüsse in den oberirdischen Fließgewässern; jeweils monatliche, halbjährliche (Sommer/Winter) und jährliche Werte für die Prognosezeiträume 2021–2050 und 2071–2100,
- Grundwasserflurabstände sowie Wasserstände und Abflüsse in den oberirdischen Fließgewässern; jeweils monatliche, halbjährliche (Sommer/Winter) und jährliche Werte für das trockene und nasse Szenario der Prognosezeiträume 2021–2050 sowie 2071–2100.

5.2.10 Fazit

Die Klimaprognosen gehen für den Betrachtungsraum insgesamt von einer geringfügigen Erhöhung des jährlichen Wasserdargebots aus. Die Simulation der Wasserhaushaltssituation bis zum Ende des Jahrhunderts macht deutlich, dass für das Average-Case-Szenario mit eher moderaten Veränderungen der Grundwasserstände zu rechnen ist. Gleichwohl führt dies in den Sommermonaten aber zu einer verstärkten Gefahr des Trockenfallens von schon im jetzigen Zustand kritischen Abschnitten oberirdischer Fließgewässer.

Im Untersuchungsgebiet besteht genügend Potenzial, um diese Auswirkungen durch geeignete Maßnahmen zu kompensieren. Dabei besteht die Schwierigkeit, geeignete Lokalitäten zu finden, die zum einen die technischen Voraussetzungen für eine Maßnahme erfüllen und zum anderen allen Nutzungsansprüchen gerecht werden. Zudem sind mit der Umsetzung immer erhebliche Investitions- und Betriebskosten durch den erforderlichen Bau von z. B. Gräben, Rohrleitungen, regelbaren Wehren oder sogar Pumpwerken verbunden.

Die hier betrachteten Worst-Case-Szenarien führen zu generell gegensätzlichen Aussagen zu den Auswirkungen einer Klimaänderung auf den Wasserhaushalt. Somit ist es für die Planung von Maßnahmen unabdingbar, die Bandbreite prognostizierter Klimaentwicklungen deutlich zu reduzieren.

Es hat sich gezeigt, dass Grundwasserstände und Gesamtabflüsse sehr sensitiv auf die prognostizierten Klimaveränderungen reagieren. Deshalb sollten in zukünftigen Forschungsvorhaben Rückkopplungseffekte berücksichtigt werden.

5.2.11 Literatur und Datenquellen

- CORINE LAND COVER (2000): Daten zur Bodenbedeckung Deutschland. – Umweltbundesamt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Ausgabe 2004.
- DUIJNISVELD, W. H. M., PILEVSKI, J. & KLUMP, G. (2001): Qualität und Quantität der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bestandsaufbau und Boden. Modelluntersuchungen im Fuhrberger Feld und angrenzenden Gebieten. – Ergänzungsbericht: Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung, Forschungsprojekt zum Pilotvorhaben „Grundwasserschutzwald im Wassergewinnungsgebiet Fuhrberger Feld“ der Stadtwerke Hannover AG, 24 S.; Hannover (BGR) [Unveröff.].
- DWD (2011): Niederschläge für die Wetterstation Langenhagen/Flughafen. – Deutscher Wetterdienst; Offenbach.
- ECKL, H. & RAISSI, F. (2009): Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. – GeoBerichte **15**: 99 S., 39 Abb., 10 Tab., Anh.; Hannover (LBEG).
- GEMEINDE WEDEMARK (2009): Schmutzwassermengen für die Kläranlage Bissendorf. – Wedemark.
- GROSSMANN, J. & HOFFMANN, H. - HAMBURG WASSER (2008): Integrierte Wasserbedarfsanalyse. – Wasser - Abwasser **2008/10**.
- HWW (2009): Entnahme-, und Grundwasserstandsdaten zum Wasserwerk Ramlingen, Wasserstands- und Abflussdaten für Wulbeckpegel, Grundwassermodell „Ramlingen/Wettmar“, Stand 2006. – Harzwasserwerke GmbH; Hildesheim.
- LANDKREIS CELLE (2010): Entnahmen im Untersuchungsgebiet. – Amt für Umwelt und ländlichen Raum; Celle.
- LANDKREIS SOLTAU-FALLINGBOSTEL (2010): Entnahmen im Untersuchungsgebiet. – Fachgruppe Wasser, Boden und Abfall; Soltau.
- LANDVOLK NIEDERSACHSEN KREISVERBAND CELLE E. V. (2010): Brunnenstandorte der Feldberegnung im Grundwasserkörper Wietze-Fuhse. – Celle.
- LGLN (2010): Digitales Geländehöhenmodell 1 : 25 000 (DGM 25) des Amtlichen Topographisch- Kartographischen Informationssystems. – Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen; Hannover.
- MATHEJA, A. & MEINKEN, M. (2007): Operatives Monitoring und Integrative Mengenbewirtschaftung für den Grundwasserkörper Fuhse-Wietze - Teilprojekt Wulbeck, Phase 2. – Im Auftrag des Wasserverbandes Peine, September 2007; Wettmar/Hemmingen.
- MATHEJA, A. & MEYER, H.-H. (2006): Operatives Monitoring und Integrative Mengenbewirtschaftung für den Grundwasserkörper Wietze-Fuhse - Teilprojekt Wulbeck, Phase 1. – Im Auftrag des Wasserverbandes Peine, Juli 2006; Wettmar/Hemmingen.
- MÜLLER, J. (1996): Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen. – In: Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft **185**; Hamburg.
- NIBIS®-KARTENSERVEN (2010): Thema: Profilschnitte. – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.
- NLWKN (2009a): Grundwasserstandsdaten für die Messstellen sowie Wasserstände und Abflüsse für die Pegel im Untersuchungsgebiet. – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Hannover-Hildesheim.
- NLWKN (2009b): Grundwasserstandsdaten für die Messstellen sowie Wasserstände und Abflüsse für die Pegel im Untersuchungsgebiet. – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Verden.
- PURENA GMBH (2010): Entnahme- und Grundwasserstandsdaten zum Wasserwerk Burgdorf. – Springe.
- REGION HANNOVER (2009): Entnahmen im Untersuchungsgebiet. – Team 36.09; Hannover.
- ROTH, U., BERGER, H., MÜLLER, A. & WAGNER, H. (2008): Höhe und Häufigkeit von Wasserbedarfsspitzen bei der Hessenwasser GmbH & Co. KG. – Wasser - Abwasser **2008/11**.

- SWH (2009): Entnahme- und Grundwasserstandsdaten zu den Wasserwerken Fuhrberg und Elze-Berkhof, Wasserstands- und Abflussdaten für diverse Pegel sowie diverse Gewässerquerschnitte der Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet, Grundwassermodell „Fuhrberger Feld“, Stand Januar 2006. – Stadtwerke Hannover AG; Hannover.
- STADT BURGWEDEL (2009 und 2011): Schmutzwassermengen und Niederschläge für die Kläranlagen Burgwedel, Engensen, Fuhrberg, Thönse und Wettmar. – Burgwedel.
- STADT HANNOVER (2009): Grundwasserstandsdaten für Messstellen im Untersuchungsgebiet. – Fachbereich Umwelt und Stadtgrün; Hannover.
- STADT LANGENHAGEN (2009): Schmutzwassermengen für die Kläranlage Langenhagen. – Langenhagen.
- WASSERVERBAND PEINE (2010): Entnahme- und Grundwasserstandsdaten zum Wasserwerk Burgdorfer Holz. – Peine.
- WEISS, C., REICH, M. & RODE, M. (2011): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Netzwerk Natura 2000 in der Metropolregion Hannover – Braunschweig – Göttingen – Wolfsburg und Konsequenzen für den Naturschutz. – Geoberichte **18**: 103–116; Hannover (LBEG).
- WSV (2009, 2011): Wasserstände und Abflüsse der Pegel im Untersuchungsgebiet. – Wasser- und Schifffahrtsverwaltung; Hannover
- WVHN (2009): Entnahme-, und Grundwasserstandsdaten zum Wasserwerk Wettmar, Grundwassermodell „Ramlingen/Wettmar“, Stand 2006. – Wasserverband Nordhannover; Burgwedel/Wettmar.

6 Teilprojekt 6: Informations- und Kommunikationsplattform

6.1 Die internetbasierte Informations- und Kommunikationsplattform zum Klimafolgenmanagement in der Metropolregion

BJÖRN BEERMANN

Kurzfassung

Die hohe Komplexität von Ergebnissen der (regionalen) Klimafolgenforschung bedarf der Entwicklung von Instrumenten, die es den Stakeholdern des Adaptionprozesses ermöglichen, wissensbasierte Entscheidungen unter Berücksichtigung der Unsicherheit von Klimaszenarien und -modellen zu treffen. Das KFM-Projekt hat diesem Umstand mit der Entwicklung einer „Internetbasierten Informations- und Kommunikationsplattform zum Klimafolgenmanagement“ Rechnung getragen, die in Kooperation zwischen der GEO-NET Umweltconsulting GmbH aus Hannover und der Ingenieurgesellschaft für Datenverarbeitung und Umweltschutz mbH mit Hauptsitz in Zittau entstanden ist. Die Plattform stellt seinen adressierten Nutzern aus Verwaltung, Politik und Wirtschaft zum einen eine anwenderfreundliche Visualisierung von Klimadaten und Klimafolgen zur Verfügung. Zum anderen werden den Stakeholdern aber auch im Rahmen eines Entscheidungsunterstützungssystems über die Identifizierung von „Hot-Spots“ Hilfestellungen bei der Einordnung der Erheblichkeit der Klimafolgen gegeben und Vorschläge zu ihrem Management unterbreitet. Mit der I+K-Plattform steht der Metropolregion ein Werkzeug zur Verfügung, das sie auf dem gerade erst eingeschlagenen und noch langen Weg hin zu einer klimawandelangepassten Region unterstützt und das ihr im Wettbewerb der Metropolregionen ein Alleinstellungsmerkmal verleiht.

6.1.1 Hintergründe und Ziele des Teilprojektes

Mit der „Internetbasierten Informations- und Kommunikationsplattform zum Klimafolgenmanagement in der Metropolregion“ waren vor allem zwei Ziele verknüpft. Erstens sollten die von den Teilprojekten „Lokaler Klimawandel“, „Energiepflanzen“, „Feldberegnung“, „Naturschutz“ und „Wasserwirtschaft“ erarbeiteten Forschungsergebnisse zum Klimawandel und seinen potenziellen Folgen sowie Handlungsansätze zu deren Management interaktiv und anwenderfreundlich für das WorldWideWeb aufbereitet werden. Zweitens sollte im Rahmen eines Entscheidungsunterstützungssystems (EUS) die Relevanz der ermittelten Klimafolgen bewertet und die Priorisierung der identifizierten Anpassungsmaßnahmen methodisch unterstützt werden. Als Zielgruppe hat die I+K-Plattform Entscheidungsträger und -vorbereiter aus Politik, Verwaltung und Privatwirtschaft im Fokus und richtet sich damit primär an Stakeholder mit einer gewissen thematischen Vorbildung und weniger an die breite Öffentlichkeit.

Im Rahmen des KFM-Forschungsvorhabens konnten mit der Land- und Wasserwirtschaft sowie dem Naturschutz lediglich drei der fünfzehn in der 2008 von der Bundesregierung verabschiedeten „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS)“ genannten Handlungsfelder in Teilbereichen Berücksichtigung finden. Folglich sollten die I+K-Plattform, insbesondere das EUS, methodisch und technisch so entwickelt werden, dass eine Ergänzung und Integration von weiteren Fachthemen möglich ist. Da die Klima(folgen)forschung gegenwärtig und vermutlich auch zukünftig ein hochdynamisches Forschungsfeld darstellt, sollte diese Flexibilität freilich auch für die im Rahmen des Projektes erzielten und ggf. in Zukunft aktualisierungsbedürftigen Ergebnisse gelten. So ist beispielsweise zu erwarten, dass der für 2014 angekündigte 5. IPCC-Sachstandsbericht mit neuen Emissionsszenarien aufwartet, die über den Weg der globalen und regionalen Klimamodelle in letzter Konsequenz auch Auswirkungen auf die im KFM-Projekt erzielten Ergebnisse haben werden.

Letztlich ist die I+K-Plattform also darauf ausgerichtet, den durch das Projekt initiierten Anpassungsprozess sowie das sich gegenwärtig bildende Anpassungsnetzwerk in der Metropolregion auch über das Projektende hinaus

wissensbasiert zu unterstützen. Darüber hinaus sollte sich die I+K-Plattform auch der Herausforderung stellen, keine Insellösung für die Metropolregion darzustellen, sondern unter der

Prämisse einiger weniger Anpassungen auch auf andere Räume außerhalb der Metropolregion übertragbar zu sein.



Abb. 6.1.1: Die I+K-Plattform.

6.1.2 Die I+K-Plattform in der Übersicht

Die I+K-Plattform ist unter der Webadresse <http://www.klimafolgenmanagement.de> zu erreichen. Sie lässt sich inhaltlich in drei große Themenbereiche unterteilen, die sich auch in der Menüführung wieder finden. In den ersten drei Menüpunkten kann sich der User über die Metropolregion und das Forschungsprojekt informieren. Hier werden ihm das Untersuchungsgebiet sowie die Ziele, Inhalte und Ansprechpartner der einzelnen Teilprojekte und der Projektkoordination vorgestellt. Die vier nachfolgenden Menüpunkte enthalten die Ergebnisse der sieben Teilprojekte. So können

unter „Klimawandel in der Metropolregion“ u. a. die von FE1 zur Verfügung gestellten Klimadaten interaktiv vom User visualisiert werden (vgl. Kap. 6.1.3). Die „fachbezogenen Forschungsergebnisse“ enthalten die wichtigsten wissenschaftlichen Outputs der Teilprojekte 2–5. Neben diversen Web-GIS-Anwendungen finden sich hier auch Abbildungen, Texte, Graphiken und erläuternde und weiterführende externe Dokumente. Der Menüpunkt „Entscheidungsunterstützungssystem“ enthält mit dem regionalen EUS und dem lokalen EUS die Weiterverarbeitung und Systematisierung der Ergebnisse der Teilprojekte zur Unterstützung des zielgerichteten Klimafolgenmanagements in der Metropolregion. Das regionale EUS fokus-

siert dabei auf die Identifizierung von Hot-Spots sowie auf potenzielle Maßnahmen zu ihrem Management auf der Ebene der Metropolregion, während das lokale EUS für einen Beispielraum versucht, diese Maßnahmen zu konkretisieren und ein Werkzeug zu ihrer vergleichenden Bewertung bereitstellt (vgl. Kap. 6.1.4). Die unter der Federführung von FE7 durchgeführten Fort- und Weiterbildungsveranstaltungen finden sich im Menüpunkt „Veranstaltungsreihe“. Hier wurden im Vorfeld der Veranstaltungen Steckbriefe und Anmeldebögen bereitgestellt und konnten im Nachhinein die Präsentationen der Redner heruntergeladen werden. Die letzten beiden Menüpunkte beinhalten das obligatorische Impressum sowie ein Glossar, dessen Einträge auf den einzelnen Plattformseiten mit einer Sprechblase  gekennzeichnet sind.

6.1.3 Akteurgerechte Aufbereitung von Ergebnissen der Klimafolgenforschung für das Internet

Die Vorzüge einer internetbasierten, interaktiven und anwenderfreundlichen (kurz: einer „akteurgerechten“) Präsentation bzw. Aufbereitung von Forschungsergebnissen als Ergän-

zung zu klassischen analogen Forschungsberichten liegen insbesondere für die Klimafolgenforschung klar auf der Hand. Wie wohl keine zweite Forschungsrichtung basiert die Klimafolgenforschung in erster Linie auf verschiedensten (gekoppelten) Modellen und diversen Szenarienkombinationen. Dieser Umstand führt dazu, dass nicht etwa ein einziges „richtiges“ Forschungsergebnis publiziert werden kann, sondern gleich ein ganzer bunter Strauß an (bestenfalls) mehr oder weniger wahrscheinlichen Ergebnissen über die Auswirkungen des Klimawandels. Allein aus den im Jahr 2010 für Deutschland verfügbaren Klimamodellen und -szenarien ergeben sich neunundsechzig verschiedene Zukunftsklimate und damit ebenso viele Klimafolgen-szenarien (vgl. Abb. 6.1.2). Diese Anzahl vervielfältigt sich noch, wenn man jeweils noch mehrere (z. B. kurz-, mittel- und langfristige) Zeitszenarien betrachtet bzw. miteinander vergleichen will. Ein allein schriftlich verfasster Forschungsbericht, der versucht, eine solche Vielzahl an Informationen umfassend zu verarbeiten oder gar einen paarweisen Vergleich der einzelnen Szenariokombinationen anzustellen, ist entweder schon in seiner Entstehung zum Scheitern verurteilt oder aber er verwirrt die Zielgruppe mehr, als das er einen wirklichen Problemlösungsbeitrag liefert.

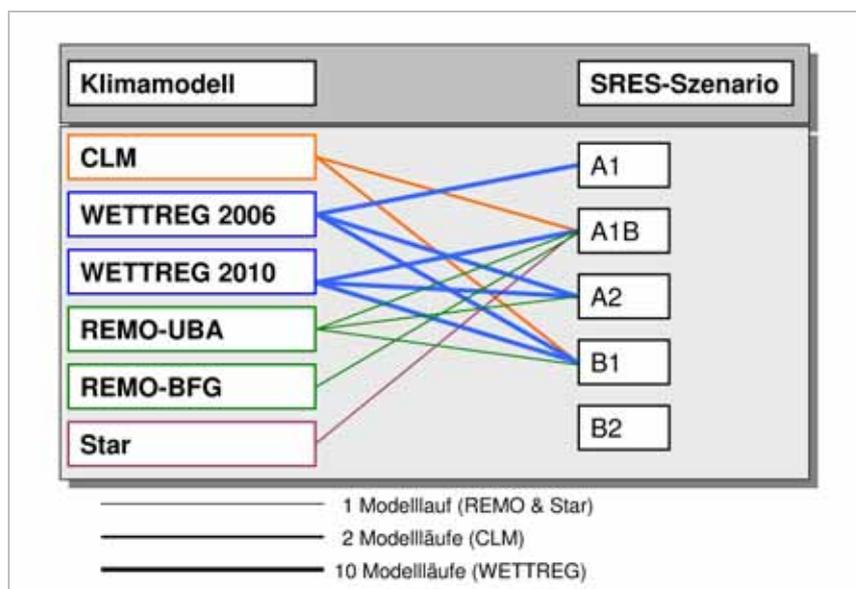


Abb. 6.1.2: Für Deutschland verfügbare Klimamodelle und -szenarien (Stand: 2010, Quelle: eigene Zusammenstellung).

Eine große Hilfe bei der Komplexitätsverarbeitung können hierbei interaktive Internetanwendungen sein. Besonders relevant werden diese Anwendungen, wenn es sich um räumlich vergleichsweise hoch aufgelöste Daten für relativ kleine geographische Maßstäbe handelt. Zumindest für die Basisdaten der Klimafolgenforschung, also die Klimadaten, ist dieses (ggf. nach einer räumlichen Interpolation von Stationsdaten) schon fast als obligatorisch zu bezeichnen. So auch im KFM-Projekt, in dem die wichtigsten CLM-Klimaparameter mit einer Auflösung von 1 x 1 km „intelligent interpoliert“ worden sind. Hieraus ergeben sich für die gesamte Metropolregion rund 20 000 Rasterzellen

mit potenziell unterschiedlichen Informationen. In der I+K-Plattform wurde ein Werkzeug implementiert, das es dem Nutzer erlaubt, die Klimadaten zu visualisieren (Abb. 6.1.3). Dieses erfolgt in sechs Schritten, in denen der Nutzer nacheinander einen von achtzehn Klimaparametern (Schritt 1), eine zu betrachtende Zeitperiode zwischen 1960 und 2100 (Schritt 2), einen innerjährlichen Zeitraum wie Monate oder Jahreszeiten (Schritt 3), einen Bezugszeitraum (Schritt 4) sowie eine Legendenform wählen kann (Schritt 5) und anschließend eine entsprechende Kartendarstellung erhält (Schritt 6).

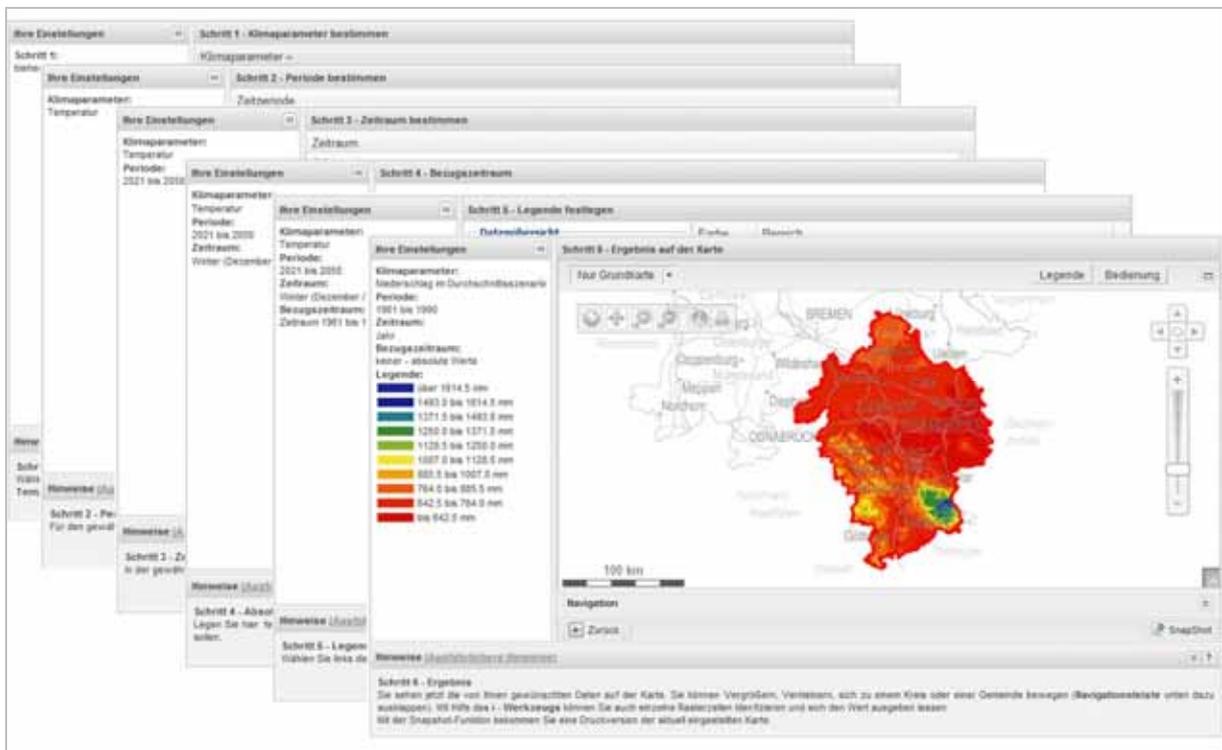


Abb. 6.1.3: Sechs Schritte zur Visualisierung von Klimadaten in der I+K-Plattform (Quelle: eigene Darstellung aus <http://www.klimafolgenmanagement.de/Default.aspx?pgid=77>).

Der Vorteil dieser interaktiven Darstellung liegt nicht nur darin, dass der Nutzer schnell und intuitiv das für ihn relevante Ergebnis erhält, sondern auch darin, dass er innerhalb der Ergebniskarte navigieren und sich Ausschnitte speziell für den ihn interessierenden Raum ausschnitt erstellen kann. Diese und vergleichbare Funktionen sind allein deswegen schon

von Relevanz, weil die Metropolregion keinen homogenen Verwaltungsraum darstellt, sondern sich die Kommunen innerhalb der Metropolregion weiterhin selbst verwalten und sich Politik und Verwaltung naturgemäß in erster Linie über ihren eigenen Landkreis bzw. ihre eigene Kommune sowie ggf. ihre direkte Nachbarschaft informieren wollen und müssen.

Dieses trifft analog auch für die aus den Klimaparametern abgeleiteten Klimafolgen zu, die im KFM-Projekt fast alle aus Geodaten basierten Wirkmodellen ermittelt worden sind. So wurden beispielsweise im Teilprojekt „Energiepflanzen“ flächendeckend für die Metropolregion Biomassepotenziale für fünfzehn landwirtschaftliche Kulturen unter dem Einfluss des Klimawandels erforscht. Multipliziert mit den sieben im Projekt betrachteten Szenarienkombinationen, bestehend aus einem baseline-Szenario (1960–1991) sowie je einem kurz- bis mittelfris-

tigen (2021–2050) und einem langfristigen Szenario (2071/00) für ein trockenes, durchschnittliches und feuchtes Klimaszenario, ergeben sich insgesamt 105 verschiedene Kartendarstellungen allein für die gesamte Metropolregion. Die in der I+K-Plattform implementierte Anwendung zur Information über diese Daten stellt ein klassisches Beispiel dafür dar, wie raumbezogene Klimafolgen in der Plattform interaktiv und aktorsgerecht aufbereitet worden sind.

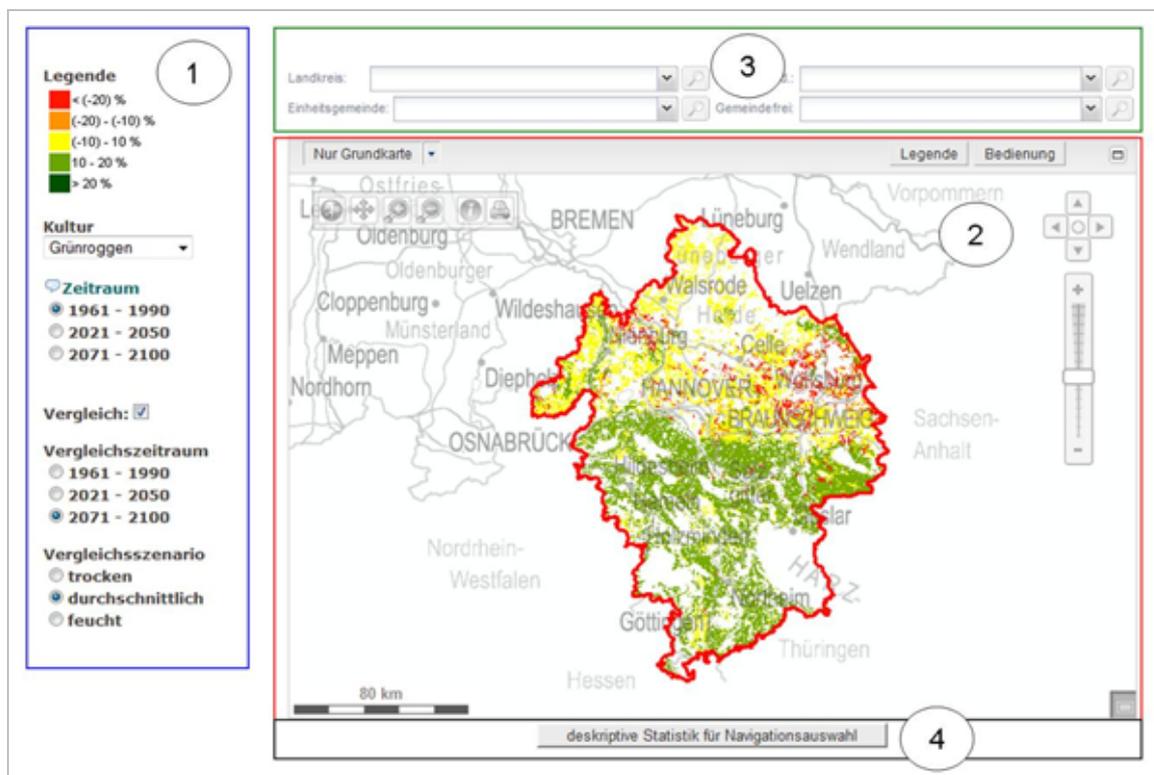


Abb. 6.1.4: Visualisierung von Klimafolgen in der I+K-Plattform (hier am Beispiel Biomasseertragspotenziale, Quelle: eigene Darstellung aus <http://www.klimafolgenmanagement.de/Default.aspx?pgid=132>).

Wie Abbildung 6.1.4 zeigt, besteht ein solches so genanntes mapcontrol aus vier Bereichen. In der Menüleiste links (1) ist neben der Legende zur Kartendarstellung regelmäßig eine Auswahlfunktion zur Kombination von Zeit- und Klimaszenarien implementiert. Über die Vergleichsfunktion können auch zwei dieser Szenariokombinationen miteinander verglichen werden. Im hier dargestellten Beispiel existiert zusätzlich noch ein Drop-Down-Menü, in dem

die vorgenommene Auswahl auf eine der fünfzehn Kulturen angewendet werden kann. Das Ergebnis der über das Menü getroffenen Auswahl wird im Kartenbereich visualisiert (2). Über die Navigationsleisten am linken und rechten Rand der Kartendarstellung oder direkt über die Maus kann in der Darstellung frei und intuitiv navigiert werden. Eine Navigation zu einer bestimmten Gebietskörperschaft kann zusätzlich über das Navigationsmenü oberhalb

der Kartendarstellung erfolgen (3). Informationen zu einem bestimmten Punkt (hier zu Ertragspotenzialen) erhält der User über einen Mausklick in die Karte. Neben dieser Informationsfunktion ist es auch möglich, sich eine deskriptive Statistik der Legendenklassen anzei-

gen zu lassen (4). Dieses ist entweder für die gesamte Metropolregion oder aber in Verbindung mit einer Auswahl im Navigationsmenü für einzelne Gebietskörperschaften möglich (vgl. Abb. 6.1.5).

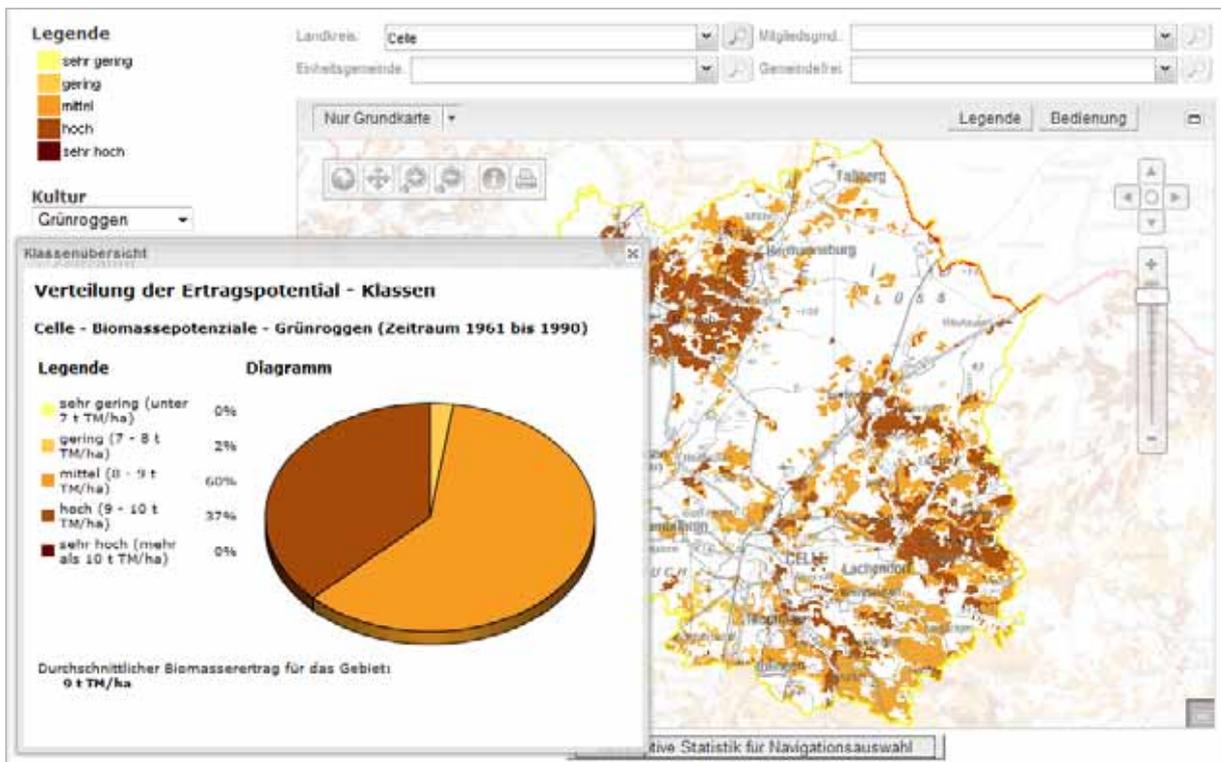


Abb. 6.1.5: Anwendung – deskriptive Statistik für Klimafolgen (hier am Beispiel der Biomassertragspotenziale für den Landkreis Celle, Quelle: eigene Darstellung aus <http://www.klimafolgenmanagement.de/Default.aspx?pgid=132>).

Die hier überblicksartig beschriebene Anwendung existiert mit kleineren themenbedingten Änderungen auch für die jährliche und monatliche Grundwasserneubildung, Grundwasserstände sowie Pegel und Abflüsse von Fließgewässern (zusätzlich ausgestattet mit Grafiken zu Jahreganglinien), Grundwasserdargebote für einzelne Grundwasserkörper, die Beregnungsbedürftigkeit von neun verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen sowie einige weitere kleinere Themen. Neben diesen Standardanwendungen hat sich aus den Zielsetzungen einzelner Teilprojekte heraus auch die Notwendigkeit ergeben, speziellere Instrumente zu entwickeln. Hierzu gehören vor allem das Werkzeug zur optimierten Standortplanung von

Bioenergieanlagen¹ sowie die Visualisierung der potenziellen Beeinflussung von FFH-Lebensraumtypen durch den Klimawandel².

Die in der I+K-Plattform implementierten Werkzeuge erleichtern also einerseits der Zielgruppe den inhaltlichen Zugang zu den Forschungsergebnissen. Andererseits stellen sie aber auch eine nicht unerhebliche Erleichterung für die Forschenden dar. Denn sie müssen sich nicht alle Karten erst mühsam selbst in ihren GIS-Systemen erstellen, sondern kön-

¹ <<http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=88>>.

² <<http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=117>>.

nen sich bequem aus dem auf dem Datawarehouse-Prinzip basierenden automatisch generiertem „Kartenschatz“ bedienen. Darüber hinaus können sie sich in ihrem analogen Bericht auf die aus ihren Augen relevantesten Szenariokombinationen begrenzen und die Forschungsergebnisse damit didaktisch reduzieren, ohne dabei Gefahr zu laufen, wichtige Ergebnisse außen vor gelassen zu haben.

6.1.4 Internetbasiertes Entscheidungsunterstützungssystem – Bewertung von Klimafolgen und Anpassungsmaßnahmen

Entscheidungsunterstützungssysteme (EUS) sind ursprünglich für die Vorbereitung von betriebswirtschaftlichen Entscheidungen entwickelt worden und waren somit längere Zeit das wissenschaftliche Monopol wirtschaftsinformatischer Forschung (vgl. z. B. LAUDON, LAUDON & SCHODER 2010 oder XUE 2008). EUS erfreuen sich in den letzten Jahren aber auch einer wachsenden Beliebtheit im Rahmen von anderen hochkomplexen Planungs- und Entscheidungsprozessen. Hierzu zählt ohne Zweifel auch das Klimafolgenmanagement. Dabei ist das KFM-Projekt bei Weitem nicht das erste und einzige Klimafolgenforschungsvorhaben, das u. a. das Ziel verfolgt, ein Decision-Support-System (DSS) zu entwickeln. Richtungsweisende Beispiele sind hier „Danubia“ (vgl. BARTH et al. 2004) und die „Elbe-Expert-Toolbox (EET)“ (vgl. WECHSUNG, BECKER & GRÄFE 2005), die zwischen 2000 und 2010 im Rahmen des ebenfalls vom BMBF aufgelegten Forschungsprogramms „GLOWA – Globaler Wandel des Wasserkreislaufs“ für die Einzugsgebiete von Donau und Elbe entworfen worden sind. Im Rahmen von „klimazwei“ haben sich neben dem KFM-Projekt u. a. auch die Vorhaben „Landcare 2020 – Klimawandel und ländliche Räume“¹ (WENKEL & BERG 2010) sowie „DSS WuK – Decision Support System – Wald und Klimawandel“² mit der Entwicklung eines EUS beschäftigt.

So unterschiedlich die einzelnen EUS ausfallen und unabhängig davon, ob betriebswirtschaftliche, klimaanpassungsorientierte oder sonstige komplexe Entscheidungen vorbereitet werden

sollen, können EUS ganz allgemein definiert werden als „[...] computergestützte Informationssysteme, die einen oder mehrere Entscheidungsträger bei semistrukturierten Entscheidungsprozessen durch die Bereitstellung der zur Problemstellung erforderlichen Informationen, Methoden und Lösungsmodelle unterstützen. Sie dienen ferner der Präsentation der Analyse- und Bewertungsergebnisse auf eine Weise, so dass diese Entscheidungsgrundlage verwendet werden können.“ (AVERDUNG 2000: 17). In eine ähnliche Richtung zielt auch die Definition, die das deutsche Umweltbundesamt (UBA) in Zusammenhang mit der Entwicklung des „Klimalotsen“³ gibt: „EUS bezeichnen in der Regel die operative oder strategische Unterstützung für Managementaufgaben (insbesondere Entscheidungsfindung) durch Informationssysteme. Es werden Informationen angeboten, welche die Entscheidungsfindung erleichtern, z. B. durch das Aggregieren und Systematisieren von vorhandenen Daten. Ein EUS selbst trifft dabei keine Entscheidung.“ (UBA 2010)⁴. Diese beiden Definitionen zeigen, dass Bewertungen und Bewertungsverfahren innerhalb von Entscheidungsunterstützungssystemen eine entscheidende Rolle einnehmen. Im Prozess des Klimafolgenmanagements können EUS vor allem zwei Prozessphasen methodisch unterstützen: Die Bewertung von Klimafolgen und den wertenden Vergleich von Anpassungsmaßnahmen zu ihrem Management.

Bei der Bewertung von Klimafolgen steht die Beurteilung ihrer Erheblichkeit im Fokus des Interesses. Im Forschungsprojekt wurde in diesem Zusammenhang das Hauptaugenmerk auf die Identifizierung von Hot-Spots gelegt, also von Flächen bzw. Räume, für die aufgrund ihrer hohen Betroffenheit vom Klimawandel eine besondere Handlungspriorität besteht. Aus methodischer Sicht sind für die Hot-Spot-Identifizierung in erster Linie Expertenmeinungen, Richt- und Grenzwerte, sowie (bei entsprechender Datenqualität) auch statistische Signifikanztests sinnvoll einsetzbar. Für die Ermittlung von fachspezifischen Hot-Spots wurden im Forschungsvorhaben jeweils drei Bearbeitungsschritte durchgeführt, deren Grundbedingung lediglich das Vorhandensein von auf Geodatenbasis arbeitenden Wirkmo-

¹ <<http://www.landcare-dss.de>>.

² <<http://www.dss-wuk.de>>.

³ <<http://www.klimalotse.anpassung.net>>.

⁴ <<http://www.klimalotse.anpassung.net/klimalotse/DE/weiterfuehrend/entscheidungsunterstuetzungssysteme.html>>.

dellen ist. In einem ersten Schritt wurden durch die Teilprojekte „Energiepflanzen“, „Feldberegung“, „Naturschutz“ und „Wasserwirtschaft“ die Zustände der untersuchten Themenbereiche für die Gegenwart („Ist-Zustand“) und die Zukunft („Zustand unter Klimawandel“) modelliert. Diese Modellierungen basieren auf den vom Klimamodell CLM bereitgestellten Klimadaten des SRES-Szenarios A1B und wurden für ein kurz- bis mittelfristiges Szenario (2021/2050) sowie ein langfristiges Szenario (2071–2100) erstellt. Um die Bandbreite möglicher Klimafolgen (und daraus abgeleiteten Hot-Spots) abbilden zu können, wurde für diese beiden Zeiträume jeweils ein trockenes, ein durchschnittliches und ein feuchtes Klimaszenario betrachtet. Das Ergebnis dieses zunächst wertneutralen Arbeitsschrittes kann auch als Sachmodell bezeichnet werden. Im zweiten Schritt wurde in einem Wertsystem festgelegt, wie ein guter und wie ein schlechter Zustand

des betrachteten klimasensitiven Themas (unabhängig vom Klimawandel) definiert werden kann. Auf der resultierenden Bewertungsskala können im anschließenden dritten Schritt, dem eigentlichen Bewertungsvorgang, zunächst die im Sachmodell erhobenen Gegenwarts- und Zukunftszustände bewertend eingeordnet werden, bevor der sich ergebende Unterschied zwischen den Zuständen dahingehend bewertet werden kann, ob es sich um einen negativen oder einen positiven Hot-Spot handelt oder aber ob die Änderungen als nicht signifikant bzw. irrelevant eingestuft werden können. Letztlich stellt ein Hot-Spot also das Bewertungsergebnis der Erheblichkeit von Klimafolgen dar, das methodisch auf einer Verknüpfung von Sach- und Wertebene basiert. Das theoretische Konstrukt, auf das sich das beschriebene Vorgehen stützt, ist in Abbildung 6.1.6 dargestellt.

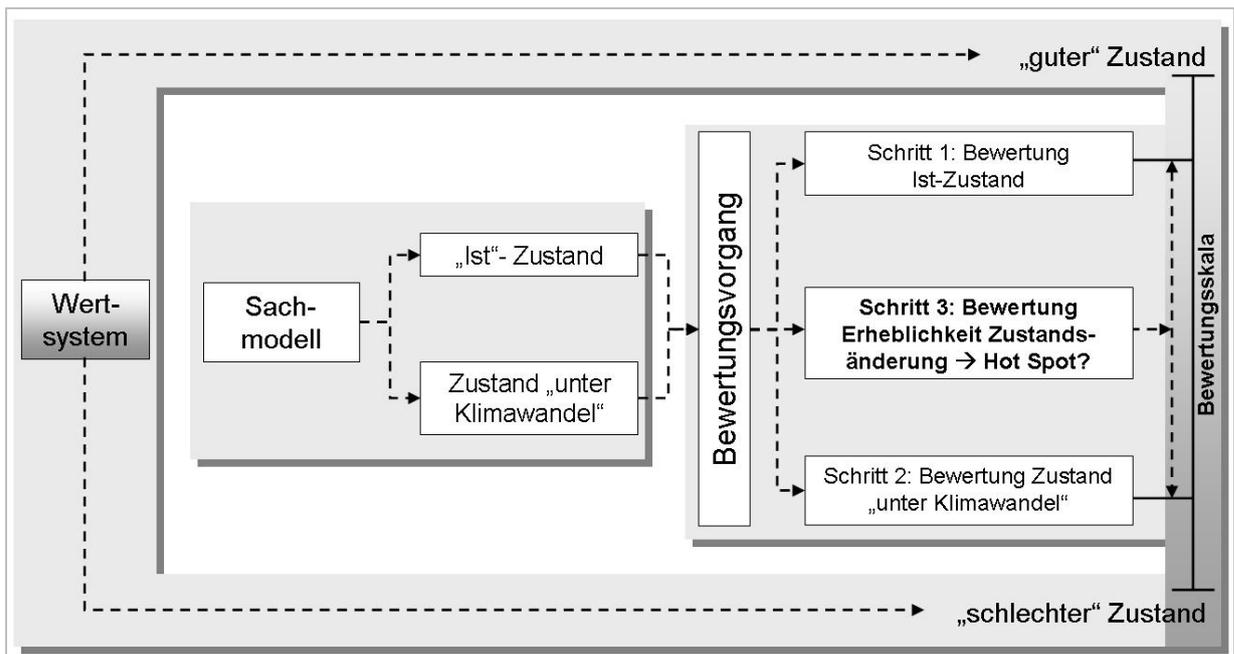


Abb. 6.1.6: Theoretische Grundlage zur Identifizierung von Hot-Spots (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an GAEDE & HÄRTLING 2010).

Die beschriebene Methodik kann anhand eines einfachen Beispiels veranschaulicht werden. Im Rahmen des Teilprojekts 3 „Feldberechnung“ wurde ackerflächendeckend für die Metropolregion die fruchtspezifische Beregnungsbedürftigkeit (fbm) von sieben landwirtschaftlichen Kulturen unter dem Einfluss des Klimawandels auf Basis der Bodenübersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50) modelliert. Hieraus ergeben sich rund 13 000 Bewertungseinheiten, die gemäß der in Tabelle 6.1.1 dargestellten Algorithmen bewertet wurden. Demnach existieren je zwei Vorschriften, die aus einer BÜK50-Fläche einen positiven bzw. negativen Hot-Spot der Beregnungsbedürftigkeit machen. Für einen negativen Hot-Spot ist entweder Voraussetzung, dass die Fläche im Ist-Zustand (1960–1991) einen Beregnungsbedarf von ≤ 75 mm und un-

ter dem Einfluss des Klimawandels von > 75 mm oder dass sie bereits im Ist-Zustand einen Beregnungsbedarf von > 75 mm aufweist und dieser unter dem Einfluss des Klimawandels noch um mindestens 25 mm zunimmt. Für positive Hot-Spots gilt dieser Algorithmus vis versa. Die 75 mm wurden deswegen als Grenzwert verwendet, weil sie die Klassengrenze zwischen einer geringen und einer mittleren Beregnungsbedürftigkeit darstellen und die Experten davon ausgehen, dass eine Beregnungsanlage erst beim Überschreiten dieser Marke tatsächlich auch notwendig wird. Nach einer vergleichbaren Methodik wurden auch weitere landwirtschaftliche, wasserwirtschaftliche und naturschutzfachliche Hot-Spots abgeleitet.

Tab. 6.1.1: Algorithmen zur Ableitung von Hot-Spots (Beispiel Beregnungsbedürftigkeit).

Algorithmus für einen negativen Hot-Spot der Beregnungsbedürftigkeit	Algorithmus für einen positiven Hot-Spot der Beregnungsbedürftigkeit
fbm 1961–1990 ≤ 75 mm und unter Klimawandeleinfluss > 75 mm	fbm 1961–1990 ≥ 75 mm und unter Klimawandeleinfluss < 75 mm
fbm 1961–1990 > 75 mm und Zunahme unter Klimawandeleinfluss Zunahme um ≥ 25 mm	fbm 1961–1990 > 75 mm und Abnahme unter Klimawandeleinfluss um ≥ 25 mm

Die sich aus der beschriebenen Methodik ergebenden Hot-Spots werden dem Nutzer der I+K-Plattform im Regionalen Entscheidungsunterstützungssystem¹ aktueursgerecht zur Verfügung gestellt. So können sich Kommunalvertreter beispielsweise die Hot-Spots für ihre Gebietskörperschaften bilanzieren lassen. Dieses ist in Abbildung 6.1.7 für den Landkreis Helmstedt und die Szenariokombination 2021–2050 durchschnittlich dargestellt. Die darin enthaltene Tabelle zeigt eine Übersicht über alle im Landkreis Helmstedt in der gewählten Szenariokombination identifizierten Hot-Spots. Demnach sind sowohl negative (Rottöne) als auch positive Hot-Spots (Grüntöne) im Untersuchungsraum zu erwarten, wobei die negativen Hot-Spots in Anzahl und räumlicher Ausdehnung deutlich überwiegen. Über die Maßnahmenpalte ist die Tabelle zusätzlich mit externen Maßnahmenblättern verlinkt, in denen die Handlungsoptionen zum Management der Hot-Spots ausführlicher beschrieben sowie ihre Vor- und Nachteile diskutiert werden. Im Loka-

len EUS² sind für die Region Wietze-Fuhse darüberhinaus Suchräume für die Durchführung von vor allem wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Klimaanpassung identifiziert worden.

¹ <<http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=116>>.

² <<http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=136>>.

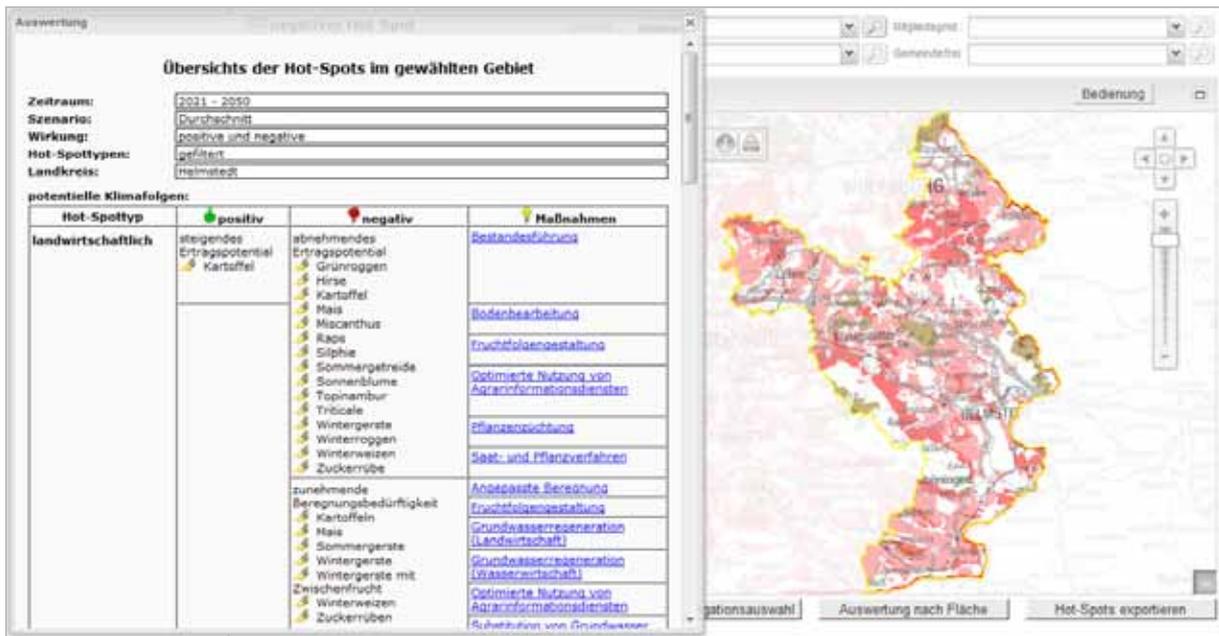


Abb. 6.1.7: Screenshot – Hot-Spot Bilanzierung für eine Gebietskörperschaft am Beispiel des Landkreises Helmstedt (Quelle: eigene Darstellung aus <http://www.klimafolgenmanagement.de/?pgid=116>).

Die zweite Prozessphase im Klimafolgenmanagement, in der Bewertungsprozesse eine entscheidende Funktion einnehmen, ist die seitens der Bundesregierung geforderte Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen (BUNDESREGIERUNG 2008: 66). Hier wird das Ziel verfolgt, verschiedene Handlungsoptionen zur Anpassung an Klimafolgen mit Hilfe von ausgewählten Parametern vergleichend zu bewerten, und so die Entscheidungsfindung zu unterstützen, welche der identifizierten Anpassungsmaßnahmen ggf. (zuerst) umgesetzt werden sollte. Diverse multikriterielle Bewertungsverfahren stehen für einen solchen wertenden Vergleich von Handlungsalternativen als in verschiedenen Disziplinen (z. B. der Umweltplanung) etablierte Instrumente zur Verfügung (vgl. z. B. POSCHMANN, RIEBENSTAHL & SCHMIDT-KALLERT 1998). Aus dieser Angebotsvielfalt wurde für das Forschungsprojekt die Hasse-Diagramm-Technik (HDT) ausgewählt. Die HDT „[...] ist ein vergleichendes, multikriterielles Bewertungsverfahren. Ziel der Bewertung durch die HDT ist es, die zu bewertenden Optionen allein anhand ihrer Eigenschaften zu sortieren und damit das Gesamtproblem soweit wie möglich zu strukturieren“ (SIMON 2003: 19). Dass die HDT sich gerade

auch für den wertenden Vergleich von zukunftsgerichteten Maßnahmen eignet, wurde vor allem am Beispiel von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen aufgezeigt (vgl. u. a. BRÜGGEMANN & PUDENZ 2001 oder SIMON 2003). Hinsichtlich der Theorie sowie der Hintergründe der Methode wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (vgl. u. a. HASSE 1967, HALFON & REGGIANI 1986, BRÜGGEMANN et al. 1999).

Für die Anwendung und Interpretation, die im Forschungsprojekt im Vordergrund stand, ist letztlich entscheidend, dass die Bewertung bei der HDT anhand von die Handlungsoptionen beschreibenden Merkmalen (Indikatoren, Parameter, Kriterien) vollzogen wird, deren Ausprägung auf einer Werteskala einsortiert werden kann. Eine Handlungsoption kann dann als vergleichbar besser als eine andere ausgewiesen werden, wenn sie in mindestens einem Merkmal besser und in keinem schlechter bewertet worden ist, als eine andere Option. Wird hingegen eine Option „[...] bezüglich eines Indikators besser und bezüglich eines anderen Indikators schlechter als eine andere Option bewertet, so werden beide Optionen als miteinander unvergleichbar nebeneinander gestellt“ (SIMON 2003: 19). Das Bewertungsergebnis kann in Form eines Hasse-Diagramms darge-

stellt werden (Abb. 6.1.8). Die Knoten (hier 1, 2, 3) symbolisieren im Diagramm die Maßnahmenoptionen. Wenn die Knoten über Linien (sog. Kanten) verbunden sind, können die Maßnahmen miteinander verglichen werden. Dabei stellt der jeweils obere Knoten die vergleichbar besser bewertete Option dar. Sofern Knoten keine Kantenverbindung aufweisen, handelt es sich um unvergleichbare Optionen, denen zumindest ein gegenläufig ausgeprägtes Merkmal zugrunde liegt. Im Beispiel ist also Option 3 über alle Merkmale besser bewertet als die Optionen 1 und 2, die ihrerseits unter-

einander unvergleichbar sind. Wie das Beispiel zeigt, erzwingt die HDT keinesfalls eine absolute Rangfolge, wie dieses in den meisten anderen Bewertungsverfahren (z. B. Nutzwert-Analyse, PROMETEE) der Fall ist. Möglich sind auch sogenannte Antiketten, bei denen alle Optionen unvergleichbar nebeneinander stehen. Hierdurch wird deutlich, dass neben einer hierarchischen Sortierung vor allem die Offenlegung der Merkmalsausprägungen sowie die Auswirkungen von veränderten Merkmalsätzen und veränderten Bewertungen im Mittelpunkt der HDT stehen.

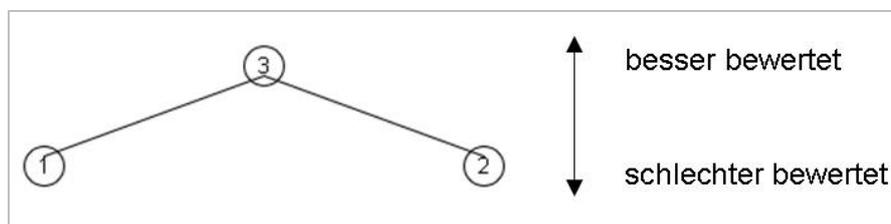


Abb. 6.1.8: Beispiel eines Hasse-Diagramms.

Die Möglichkeit zur vergleichenden Bewertung von Anpassungsmaßnahmen ist im lokalen EUS implementiert. Dass das Instrument nicht im regionalen EUS verankert wurde, folgt der im Laufe des Projektes gesammelten Erfahrung, dass ein sinnvoller Vergleich von Anpassungsoptionen nur für ganz konkrete Hot-Spots im Rahmen von ganz konkreten Anpassungsprojekten erfolgen kann. Neben den ganz individuellen Eigenschaften, die einem jeden Hot-Spot innewohnen, ist dieses auch deswegen der Fall, weil eine vergleichende Bewertung auch immer auf eine Zieldefinition angewiesen ist, wohin sich der Hot-Spot entwickeln bzw. nicht entwickeln soll. Zwar stünde mit dem aus der naturschutzfachlichen bzw. umweltschutzfachlichen „Verschlechterungsverbot“ (vgl. z. B. KOCH 2004) grundsätzlich ein potenzielles universelles Ziel zur Verfügung, das (zumindest) den Erhalt des Status Quo im Fokus hat, doch ließe eine solche Zielsetzung außer Acht, dass auch schon gegenwärtig einige Flächen von ihrer (z. B. naturschutzfachlichen) Zielsetzung entfernt sind und schon aus anderen als klimawandelbedingten Gründen einem Management bedürfen. Eine Zieldefinition ist demnach Hot-Spot spezifisch durchzuführen. Aufgrund der Vielzahl an Hot-Spots und möglichen

Szenariokombinationen war es im Rahmen des Forschungsvorhabens also weder möglich noch gewollt, eine Maßnahmenabwägung für einzelne Hot-Spots durchzuführen, so dass die Ressourcen stattdessen dafür aufgewendet wurden, ein entsprechendes Instrument hierfür bereit zu stellen. Das Layout des Werkzeugs zeigt Abbildung 6.1.9 am Beispiel eines Hot-Spots der Beregnungsbedürftigkeit. Demnach erfolgt die Bewertung anhand von drei fachübergreifenden und vier fachspezifischen Kriterien. Bei der ersten Gruppe steht die Leitfrage im Vordergrund, wie die Beeinflussung der Maßnahme (z. B. der Feldberegnung aus Oberflächenwasser) auf die jeweils nicht direkt adressierten Themenfelder zu bewerten ist (K0–K2). Bei der zweiten Gruppe wird dahingehend bewertet als wie effektiv und kosteneffizient (K4 und K5) die Maßnahme beurteilt wird, wie die Akzeptanz der Maßnahme unter den Stakeholdern einzuschätzen ist (K6) und ob die Maßnahme auch ohne die prognostizierte Klimafolge als sinnvoll einzuschätzen ist (K4). Die Kriterienauswahl basiert auf Veröffentlichungen mit vergleichbaren Ziel- bzw. Fragstellungen (z. B. ETC/ACC 2010 oder UNDP 2004). Über die Checkboxes in der Übersichtstabelle bzw. Legende können so-

wohl einzelne Maßnahme als auch Bewertungskriterien abgewählt werden. Sie werden in diesem Fall deaktiviert und sind für das eigentliche Bewertungsergebnis dann nicht mehr relevant.

Bewertung und Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen

Übersicht über die Einschätzung der Maßnahmen

Diagramm neu erstellen

Maßnahme	Profil	K 0	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6
<input type="checkbox"/> Fruchtartenwahl		0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Fruchtfolgegestaltung	1	0	1	0	3	2	1	0
<input checked="" type="checkbox"/> Grundwasserregeneration (Wasserwirtschaft)	2	4	3	1	1	2	2	0
<input checked="" type="checkbox"/> Optimierte Beregnungssteuerung	3	3	1	1	1	1	2	0
<input checked="" type="checkbox"/> Optimierte Beregnungstechnik	4	3	1	1	1	2	1	0
<input checked="" type="checkbox"/> Optimierte Nutzung von Agrarinformationsdiensten	3	3	1	1	1	1	2	0
<input type="checkbox"/> Sortenwahl		0	0	0	0	0	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> Verregnung von Oberflächenwasser	5	4	3	1	2	3	2	0
<input checked="" type="checkbox"/> Versickerung von Oberflächenwasser	5	4	3	1	2	3	2	0

Legende der Kriterien

Kriterium	Titel	Werte
<input checked="" type="checkbox"/> K 0	Einfluss auf die Ök	0 - unbestimmt; 1 - ausschließlich positiv; 2 - eher positiv; 3 - neutral; 4 - eher negativ; 5 - aus
<input checked="" type="checkbox"/> K 1	Einfluss auf die Lar	0 - unbestimmt; 1 - ausschließlich positiv; 2 - eher positiv; 3 - neutral; 4 - eher negativ; 5 - aus
<input checked="" type="checkbox"/> K 2	Einfluss auf die Wa	0 - unbestimmt; 1 - ausschließlich positiv; 2 - eher positiv; 3 - neutral; 4 - eher negativ; 5 - aus
<input checked="" type="checkbox"/> K 3	No regret	0 - unbestimmt; 1 - ja; 2 - vermutlich ja; 3 - vermutlich nein; 4 - nein
<input checked="" type="checkbox"/> K 4	Kosteneffizienz	0 - unbestimmt; 1 - eher hoch; 2 - eher mittelmäßig; 3 - eher schlecht
<input checked="" type="checkbox"/> K 5	Effektivität	0 - unbestimmt; 1 - eher hoch; 2 - eher mittelmäßig; 3 - eher gering
<input type="checkbox"/> K 6	Akzeptanz	0 - unbestimmt; 1 - mehrheitlich hohe Akzeptanz zu erwarten; 2 - keine eindeutige Mehrheitsm

Bewertungsergebnis: Hasse-Diagramm der Maßnahmenbewertungsprofile

```

graph TD
    subgraph "priorisierbare Maßnahmepprofile"
        3((3)) --- 2((2))
        4((4)) --- 2((2))
        2((2)) --- 5((5))
    end
    subgraph "nicht priorisierbare Maßnahmepprofile"
        1((1))
    end
  
```

Hinweise zum Hasse - Diagramm: Profile, die sich weiter oben im Diagramm befinden, sind in mindestens einem Kriterium besser und in keinem schlechter bewertet als solche die weiter unten liegen und können daher als (über alle Kriterien betrachtet) vergleichbar besser bezeichnet werden. Vergleichbar sind dabei aber nur Profile, die mittelbar oder unmittelbar über eine Linie verbunden sind. Profile, die nicht direkt oder indirekt über eine Linie verbunden sind, sind folglich unvergleichbar. Sie besitzen mindestens ein gegenläufig bewertetes Kriterienpaar.

Abb. 6.1.9: Beispiel einer vergleichenden Bewertung von Anpassungsmaßnahmen für einen Hot-Spot der Beregnungsbedürftigkeit.

6.1.5 Fazit und Ausblick

Die dreijährige Forschungstätigkeit des Teilprojektes 6 hat gezeigt, dass interaktive Internetanwendungen besonders gut geeignet sind, die komplexen Ergebnisse der Klimafolgenforschung akteursgerecht zu präsentieren. Den Stakeholdern der Metropolregion steht mit der „I+K Plattform zum Klimafolgenmanagement“ nun ein Instrument zur Verfügung, mit dem der initiierte Anpassungsprozess wissenschaftlich unterstützt wird und damit der Weg hin zu einer klimawandelangepassten Region geebnet ist. Im Wettbewerb der (europäischen) Metropolregionen verfügt die Metropolregion Hannover-Braunschweig-Göttingen-Wolfsburg damit auch über ein Alleinstellungsmerkmal, das es gilt, herauszustellen und zu nutzen. Allerdings kann die Plattform lediglich den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft darstellen. Die Klimafolgenforschung stellt ein hochdynamisches Forschungsfeld dar, das laufend neue Ergebnisse hervorbringt, die auch für die Metropolregion von hoher Relevanz sind. Spätestens mit den neuen Erkenntnissen und Emissionsszenarien, die im Rahmen des 5. IPCC-Sachstandsberichtes in 2014 erwartet werden, sind die erzielten Ergebnisse des KFM-Projektes zu überprüfen. Das Klimafolgenmanagement stellt also einen iterativen Prozess dar, der aus gegenwärtiger Sicht zumindest mittelfristig nicht abzuschließen sein wird. Für das KFM-Projekt gilt darüber hinaus, dass lediglich drei der fünfzehn in der DAS genannten Handlungsfelder untersucht worden sind und dass daher ein wirklich als integrativ zu bezeichnendes Klimafolgenmanagement unbedingt weiterer Aktivitäten in Bereichen wie der Forstwirtschaft, dem Gesundheitswesen oder dem Tourismussektor bedarf. Dank der Flexibilität der entwickelten I+K-Plattform wird zumindest die Bereitstellung der entsprechenden Ergebnisse und deren Einbindung in das Entscheidungsunterstützungssystem aber zukünftig eine überwindbare Hürde darstellen.

6.1.6 Literatur und Datenquellen

- AVERDUNG, C. (2000): Integration raumbezogener Daten über Schnittstellen. – *Geo-Informationssysteme - Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen* 2000/1: 17–22.
- BUNDESREGIERUNG (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. – http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf.
- BARTH, M., HENNICKER, R., KRAUS, A. & LUDWIG, M. (2004): DANUBIA: An Integrative Simulation System for Global Change Research in the Upper Danube Basin. – *Cybernetics and Systems* 35/7-8: 639–666.
- BRÜGGEMANN, R., GRELL, J., SIMON, U. & PUDENZ, S. (1999): Vergleichende Bewertung mit der Hassediagrammtechnik. – *WASSERFORSCHUNG E. V. (Hrsg.): Methodische Ansätze in der Umweltbewertung. – Schriftenreihe Wasserforschung* 5: 5–31.
- BRÜGGEMANN, R. & PUDENZ, S. (2001): Hassediagrammtechnik zur Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen. – In: *WASSERFORSCHUNG E. V. (Hrsg.): Nachhaltige Entwicklung in der Wasserwirtschaft. Konzepte, Planung und Entscheidungsfindung. – Schriftenreihe Wasserforschung* 7: 225–239.
- ETC/ACC - EUROPEAN TOPIC CENTRE ON AIR AND CLIMATE CHANGE (2010): Guiding principles for adaptation to climate change in Europe. – ETC/ACC Technical Paper 2010/6, November 2010; http://airclimate.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TP_2010_6_guiding_principles_cc_adaptation.pdf, Stand: 05.01.2011.
- GAEDE, M. & HÄRTLING, J. (2010): Umweltbewertung und Umweltprüfung. – Braunschweig (Westermann).
- HALFON, E. & REGGIANI, M. G. (1986): On Ranking Chemicals for Environmental Hazard. – *Environmental Science & Technology* 20: 1173–1179.
- HASSE, H. (1967): Vorlesungen über Klassenkörpertheorie. – Marburg (Physica).
- KOCH, N. (2004): Die FFH-Richtlinie im Spannungsfeld ökologischer und nicht-ökologischer Belange. Schutzregime und Vorhabenzulassung. – *Europäisches und Internationales Integrationsrecht* 9; Münster (Lit).
- LAUDON, C. L., LAUDON, J. P. & SCHODER, D. (2010): *Wirtschaftsinformatik. Eine Einführung.* – 2. Aufl.; München (Pearson Studium).
- POSCHMANN, C., RIEBENSTAHL, C. & SCHMIDT-KALLERT, E. (1998): *Umweltplanung und -bewertung.* – Gotha (Klett-Perthes).
- UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (2004): *Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures.* – Cambridge (University press).
- UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2011): *Unterstützung des Managements von Klimarisiken und -chancen.* – *Climate Change*, 05/2011; Onlinepublikation.
- SIMON, U. (2003): *Multikriterielle Bewertung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen aus gewässerökologischer Sicht - Beispiel Berlin.* – Berlin (Tenea).
- WECHSUNG, F., BECKER, A. & GRÄFE, P. (2005): *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet.* – Berlin (Weißensee).
- WENKEL, K.-O. & BERG, M. (2010): *Vorsorge und Gestaltungspotenziale in ländlichen Räumen unter regionalen Wetter- und Klimaänderungen (LandCaRe 2020) - Teilprojekt 6: Modelle und Entscheidungsunterstützungssystem zur Klimafolgenabschätzung und Ableitung von Adaptionsstrategien der Landwirtschaft an veränderte Klimabedingungen AGROKLIM-ADAPT (DSS) - LandCaRe-DSS: ein interaktives Informations- und Entscheidungsunterstützungssystem zur Klimafolgenabschätzung und Klimaanpassung der Landwirtschaft.* – Abschlussbericht, Förderkennzeichen BMBF 01LS05109, Verbund-Nr. 01044168.
- XUE, Z. (2008): *Konzept und Umsetzung betrieblicher Entscheidungshilfen auf grafischer und objektorientierter Basis als autonome und eingebettete Netzwerklösung.* – Kassel (University Press).

Autoren

- Prof. Dr. Günter Groß
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Meteorologie und Klimatologie
(IMUK),
Herrenhäuser Straße 2,
30419 Hannover.
- Dipl.-Geogr. Andrea Krause
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Meteorologie und Klimatologie
(IMUK),
Herrenhäuser Straße 2,
30419 Hannover.
- Dipl.-Ing. agr. Christina Lenßen
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Dr. Udo Müller
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Dr. agr. Christine von Buttler
IGLU – Ingenieurgesellschaft
für Landwirtschaft und Umwelt
Bühlstraße 10,
37073 Göttingen.
- PD Dr. Marianne Karpenstein-Machan
Georg-August-Universität Göttingen,
IZNE – Interdisziplinäres Zentrum
für nachhaltige Entwicklung,
Goldschmidtstraße 1,
37077 Göttingen.
- Dipl.-Geogr. Roland Bauböck
Georg-August-Universität Göttingen,
IZNE – Interdisziplinäres Zentrum
für nachhaltige Entwicklung,
Goldschmidtstraße 1,
37077 Göttingen.
- M. Eng., Dipl.-Ing. (FH) Daniela Dressler
Hochschule für angewandte Wissenschaft
und Kunst (HAWK),
Fakultät Ressourcenmanagement,
Fachgebiet Nachhaltige Energie- und
Umwelttechnik NEUTec
Büsgenweg 1a,
37077 Göttingen.
- Prof. Dr.-Ing. Achim Loewen
Hochschule für angewandte Wissenschaft
und Kunst (HAWK),
Fakultät Ressourcenmanagement,
Fachgebiet Nachhaltige Energie- und
Umwelttechnik NEUTec
Büsgenweg 1a,
37077 Göttingen.
- Ing., B. Sc. Dominika Leßmann
GEO-NET Umweltconsulting GmbH,
Große Pfahlstraße 5a,
30161 Hannover.
- Dipl.-Geogr. Imke Mersch
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
(LWK),
Geschäftsbereich Landwirtschaft/
Pflanzenbau, Saatgut,
Johanssenstraße 10,
30159 Hannover.
- Dipl.-Ing. agr. (FH) Ekkehard Fricke
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
(LWK),
Geschäftsbereich Landwirtschaft/Beregnung,
Johanssenstraße 10,
30159 Hannover.
- Dipl.-Ing. Christina Weiß
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Umweltplanung (IUP),
Herrenhäuser Straße 2,
30419 Hannover.
- Prof. Dr. Michael Reich
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Umweltplanung (IUP),
Herrenhäuser Straße 2,
30419 Hannover.

- Prof. Dr. Michael Rode
Leibniz Universität Hannover,
Institut für Umweltplanung (IUP),
Herrenhäuser Straße 2,
30419 Hannover.
- Dipl.-Geow. Tina Wixwat
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.6 „Hydrogeologie“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Dipl.-Geol. Herbert Röhm
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.6 „Hydrogeologie“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.
- Dipl.-Ing. Katja Fürstenberg
enercity,
FG Wasserwirtschaft und Technisches Büro,
Wasserwerkstraße 33,
30900 Wedemark.
- Dr. Andreas Matheja
Matheja Consult,
Königsberger Str. 5,
30938 Burgwedel.
- Dipl.-Ing. Martin Meinken
Ingenieurbüro H.-H. Meyer,
Parkstraße 5,
31542 Bad Nenndorf.
- Dipl.-Geogr. Björn Beermann
GEO-NET Umweltconsulting GmbH,
Große Pfahlstraße 5a,
30161 Hannover.

ISSN 1864 – 7529