

Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten | Band 6

Klimawandel in der **LÜNEBURGER HEIDE**

– Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten

Brigitte Urban, Jürgen Becker, Imke Mersch,
Wibke Meyer, Diana Rechid, Elena Rottgardt (Hrsg.)



KLIMZUG-NORD

Strategische Anpassungsansätze
zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg

Klimawandel in der LÜNEBURGER HEIDE

– Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten

Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 6

Brigitte Urban, Jürgen Becker, Imke Mersch,
Wibke Meyer, Diana Rechid, Elena Rottgardt
(Hrsg.)

TuTech Verlag, Hamburg

Impressum:

Urban, Brigitte; Becker, Jürgen; Mersch, Imke; Meyer, Wibke; Rechid, Diana; Rottgardt, Elena (Hrsg.) (2014): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 6.

TuTech Verlag
TuTech Innovation GmbH
Harburger Schloßstr. 6-12
21079 Hamburg



Tel.: +49 40 76626-6121
E-Mail: verlag@tutech.de
www.tutechverlag.de

ISBN: 978-3-941492-72-1

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01LR0805A gefördert.
Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Diese Veröffentlichung wurde ermöglicht durch
die Förderfonds der Metropolregion Hamburg.

**Herausgeber: Urban, Brigitte; Becker, Jürgen; Mersch, Imke;
Meyer, Wibke; Rechid, Diana; Rottgardt, Elena**

Druck: Lehmann
Offsetdruck GmbH
Gutenbergring 39
22848 Norderstedt

Papier: Circle matt White
100 % Altpapier

Layout: TuTech Agentur
Harburger Schloßstr. 6-12
21079 Hamburg
www.tutech.de/agentur

Nachdruck, Vervielfältigung, Speicherung oder Übertragung in elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder -verwertungssysteme sind – auch auszugsweise – ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von TuTech Innovation GmbH verboten.

Die Verwertung von Informationen aus dem Band 6 „Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten“ zum Zweck der gewerblichen Informationsvermittlung ist nicht zulässig.

Alle Rechte vorbehalten.

© TuTech Innovation GmbH

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Einleitung | 1 |
| | <i>Brigitte Urban, Jürgen Becker, Diana Rechid</i> | |
| 2 | Charakteristika des Modellgebietes Lüneburger Heide | 5 |
| | <i>Jürgen Grocholl, Imke Mersch, Diana Rechid, Brigitte Urban</i> | |
| 3 | Klimaprojektionen für das Modellgebiet Lüneburger Heide | 11 |
| | <i>Diana Rechid, Juliane Petersen, Robert Schoetter, Daniela Jacob</i> | |
| 4 | Ergebnisse für Handlungsfelder | 21 |
| 4.1 | Wasserwirtschaft | 22 |
| 4.1.1 | Auswirkungen von Klimaänderungen auf das nachhaltig nutzbare Grundwasserdargebot in der Lüneburger Heide | 22 |
| | <i>Frank Herrmann, Shaoning Chen, Lena Hübsch, Ralf Kunkel, Udo Müller, Frank Wendland</i> | |
| 4.1.2 | Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt sandiger Ackerböden; Modellierungen im lokalen Maßstab | 24 |
| | <i>Karin Schmelmer, Brigitte Urban</i> | |
| 4.1.3 | Pilotprojekt Quellenschutz durch Waldumbau | 28 |
| | <i>Elisabeth Schulz</i> | |
| 4.1.4 | Bereitstellung von Beregnungswasser durch Klarwasserversickerung | 30 |
| | <i>Wibke Meyer, Elisabeth Schulz</i> | |
| 4.1.5 | Wasserbauliche Maßnahmen zur Sicherung des ökologisch notwendigen Mindestabflusses kleiner Fließgewässer | 33 |
| | <i>Herbert Reusch, Helmut Heuer-Jungemann, Brigitte Urban</i> | |
| 4.1.6 | Pharmazeutika aus Kläranlagenabläufen in kleinen Fließgewässern | 38 |
| | <i>Wibke Meyer, Ralf Otterpohl</i> | |
| 4.2 | Land- und Bodennutzung | 41 |
| 4.2.1 | Kohlenstoffdynamik und organische Substanz in Ackerböden | 41 |
| | <i>Karin Schmelmer, Brigitte Urban</i> | |
| 4.2.2 | Landwirtschaftliche Beratung mit dem Modell Candy-Carbon Balance | 45 |
| | <i>Karin Schmelmer, Brigitte Urban</i> | |
| 4.2.3 | Anpassungsstrategien im Ackerbau | 48 |
| | <i>Regina Asendorf, Jürgen Grocholl, Alix Mensching-Buhr, Karin Schmelmer, Brigitte Urban</i> | |
| 4.2.4 | Zukunftsfähige Feldberegnung | 52 |
| | <i>Ekkehard Fricke, Angela Riedel, Imke Mersch</i> | |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.2.5 | Rückwirkungen von Waldumbau und Beregnung auf das simulierte regionale Klima | 54 |
| | <i>Juliane Petersen, Diana Rechid</i> | |
| 4.3 | Naturschutz | 57 |
| 4.3.1 | Heidelandschaften: Anpassungsstrategien des Naturschutzes und des Managements | 57 |
| | <i>Maren Meyer-Grünefeldt, Werner Härdtle</i> | |
| 4.3.2 | Klimawandel und Moorvegetation | 59 |
| | <i>Brigitte Urban, Sebastian Roman Schmidt, Kai Jensen, Adam Hölzer, Sabine Hansen, Mario Tucci</i> | |
| 4.3.3 | Naturschutzverträglichkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen – Effiziente Feldberegnung aus Sicht der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung | 63 |
| | <i>Elena Rottgardt, Karsten Runge</i> | |
| 4.4 | Sektorübergreifende Untersuchungen und Kommunikationsformen | 66 |
| 4.4.1 | Kommunikation und Bildung zu Klimafolgen und -anpassung: Neue Herausforderungen - „alte“ Schwierigkeiten? | 66 |
| | <i>Christine Katz, Wiebke Schoenberg</i> | |
| 4.4.2 | Dynamischer Kulturlandschaftsplan „Obere Wipperau“ – Ein Instrument zur Integration unterschiedlicher Landnutzungsstrategien auf Gemarkungsebene..... | 70 |
| | <i>Monika von Haaren, Imke Mersch</i> | |
| 4.4.3 | „Kooperationsnetzwerk Wasser“ - Eine Stakeholderplattform zur Beschleunigung und Verbesserung der Klimaanpassung im Handlungsfeld Grundwassermenge | 74 |
| | <i>Elisabeth Schulz</i> | |
| 4.4.4 | Aktive Beteiligung von Schülerinnen und Schülern über das Onlinerollenspiel KLIMA-TALK | 76 |
| | <i>Birgit Hohberg</i> | |

5

Ergebnisse und abgeleitete Handlungsempfehlungen für das Modellgebiet Lüneburger Heide

Imke Mersch, Wibke Meyer, Diana Rechid, Brigitte Urban

81

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Was sind die wesentlichen Erkenntnisse der durchgeführten Untersuchungen? | 81 |
| 5.2 | Welche Empfehlungen können wir geben: Ausblick in die Zukunft | 92 |

Glossar

94

Quellen- und Literaturverzeichnis

102

Beteiligte Autorinnen und Autoren und Institutionen

110

1 Einleitung

Brigitte Urban, Jürgen Becker, Diana Rechid

KLIMZUG-NORD wurde als eines von sieben Modellprojekten in Deutschland im Rahmen der Fördermaßnahme „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unterstützt. Ziel aller KLIMZUG-Verbünde war es, jeweils regionalspezifische Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu entwickeln und für die Umsetzung und Integration in Planungsprozesse vorzubereiten. Alle geförderten Projekte haben Vorbildfunktion für andere Regionen Deutschlands. KLIMZUG-NORD war Leitprojekt der Metropolregion Hamburg und erhielt zusätzliche Fördermittel von der Hansestadt Hamburg und der Metropolregion Hamburg.

In den drei KLIMZUG-NORD Themenfeldern „Ästuarmanagement“, „Integrierte Stadt- und Raumentwicklung“ und „Zukunftsfähige Kulturlandschaften“ wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf Städte, ländliche Räume und das Ästuar der Elbe untersucht. Verbunden über die fünf Querschnittsaufgaben Klimawandel, Naturschutz, Ökonomie, Governance sowie Kommunikation und Bildung entwickelten die unterschiedlichen Fachdisziplinen im Dialog mit Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträgern gemeinsam Lösungsansätze zum Umgang mit Klimafolgen in der Metropolregion Hamburg. Dabei zeigte sich die Zusammenarbeit in Modellgebieten als sehr geeignet, die Forschungen der verschiedenen Disziplinen und auch die transdisziplinäre Forschung in Kooperation mit den Akteurinnen und Akteuren der jeweiligen Region zu verbinden.



Abb. 1.0.1: Projektgebiet KLIMZUG-NORD: Die Metropolregion Hamburg mit dem Modellgebiet Lüneburger Heide (www.klimzug-nord.de)

Im Modellgebiet Lüneburger Heide, angesiedelt im KLIMZUG-NORD Themenfeld „Zukunftsfähige Kulturlandschaften“, wurden aufgrund regionalspezifischer Besonderheiten im Wesentlichen die Handlungsfelder Wasserwirtschaft, Land- und Bodennutzung, Naturschutz und Kommunikation beforscht. Die enge Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen und der intensive Austausch mit Praxispartnerinnen und -partnern und Betroffenen bestimmten Arbeitsweise und Forschungsansätze. Mit diesem Bericht wollen wir unser gängiges Handeln kritisch hinterfragen und Anregungen zum Nachdenken und zu Handlungsoptionen geben.

Das Modellgebiet Lüneburger Heide liegt im Südosten der Metropolregion und erstreckt sich im Wesentlichen über die Landkreise Uelzen, Lüchow-Dannenberg, Lüneburg, Harburg und den Heidekreis (Abb. 1.0.1). Das Gebiet ist einerseits durch großflächige land- und forstwirtschaftliche Nutzungen geprägt, die von zentraler ökonomischer Bedeutung für die Region sind. Andererseits finden sich auf den überwiegend sandigen Böden des Kulturlandschaftsraumes ökologisch besonders wertvolle Nieder- und Hochmoore, Heideflächen und zahlreiche grundwassergespeiste Heidebäche. Das namensgebende Heideökosystem gehört zu den ältesten Kulturlandschaften der Metropolregion Hamburg und stellt heute einen der attraktivsten Anziehungspunkte dieses Naturraums dar.

Für die unterschiedlichen Nutzungen ist das Klima in dem Gebiet ein bedeutender Faktor. Die vorherrschenden sandigen Böden besitzen ein geringes Wasserspeichervermögen und reagieren damit sehr sensitiv gegenüber jährlichen Schwankungen der bodennahen Lufttemperatur und insbesondere des Niederschlags. Räumlich betrachtet nimmt der durchschnittliche Niederschlag im Modellgebiet von Nordwest nach Südost ab und führt bereits unter heutigen Klimabedingungen zu häufig auftretender sommerlicher Bodentrockenheit, was Feldberegnung für bestimmte landwirtschaftliche Nutzungsformen erfordert.

Seit Beginn der Industrialisierung emittiert der Mensch klimarelevante Substanzen in die Atmosphäre und stößt damit eine langfristig zunehmende Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Atmosphäre an. Dadurch werden die Zirkulation der Luftmassen in der Atmosphäre und der Wasserkreislauf der Erde verändert. Diese globalen Veränderungen wirken sich regional unterschiedlich aus. An den meteorologischen Messstationen der Metropolregion Hamburg wird für das vergangene Jahrhundert eine Erwärmung der bodennahen Atmosphäre um etwa 0.07 K pro Jahrzehnt (Schlünzen et al., 2010) beobachtet. Die im Rahmen von KLIMZUG-NORD verwendeten Klimaprojektionen bilden einen weiteren Anstieg der bodennahen Lufttemperatur im 21. Jahrhundert ab,

der je nach zugrunde liegendem Emissionsszenario mehr oder weniger stark ausfällt. Es werden veränderte Niederschlagsmengen mit Zunahmen besonders in den Herbst- und Wintermonaten projiziert, während sich für die Sommermonate in den meisten Simulationen eine abnehmende Tendenz zeigt.

Die potenziellen Auswirkungen auf die Kulturlandschaften sind vielfältig. Zum Beispiel wird eine deutlich zunehmende Anzahl von Tagen mit Temperaturen höher als 5 °C projiziert, was auf eine Verlängerung der Vegetationsperiode hindeutet. Eine längere Wachstumsperiode kann einerseits den Anbau neuer Kulturarten und -sorten ermöglichen, andererseits aber auch Schaderreger für die Vegetation begünstigen. Die Ausbreitung neuer Arten kann zur Verdrängung der heimischen Flora und Fauna sowie zu gesundheitlichen Belastungen des Menschen führen. Die höheren Temperaturen im Boden führen zu einer Beschleunigung des Stoffumsatzes und fördern damit den Abbau organischer Bodensubstanz. Besonders Moore, die große Mengen an Kohlenstoff speichern, können bei Entwässerung und abnehmenden Niederschlägen zunehmend zur Kohlenstoffquelle werden sowie durch Freisetzung von Treibhausgasen wie Kohlendioxid und Methan den Treibhauseffekt in der Atmosphäre verstärken. Andererseits erhöhen zunehmende Niederschläge im Winter die Gefährdung durch Hochwasser und die Bodenerosion. Abnehmende Niederschläge im Sommer können zusätzliche Stressoren für Fließgewässer, Feuchtgebiete, einschließlich der Auen und Moore, und für Heidelandschaften erzeugen. Eine steigende Entnahme von Grundwasser zur Beregnung für die landwirtschaftliche Produktion kann zu einer Gefährdungszunahme grundwasserabhängiger Biotope führen. Sollte die Grundwasserneubildung zudem zurückgehen, zieht erhöhter Wasserbedarf gegenüber geringerem Wasserangebot erhebliche Nutzungskonflikte nach sich.

Das gemeinsame Ziel der Akteurinnen und Akteure, einer umweltschonenden Landbewirtschaftung und einem leistungsfähigen Naturhaushalt unter Klimawandelaspekten sektorenübergreifend für die Handlungsfelder Rechnung zu tragen, folgt dabei wesentlichen Ansätzen der „Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (Regierungskommission Klimaschutz, 2012). Während des Entstehungsprozesses dieser Strategieempfehlung konnten bereits erste Ergebnisse und darauf basierende Handlungsempfehlungen aus dem KLIMZUG-NORD Themenfeld „Zukunftsfähige Kulturlandschaften“ und speziell dem Modellgebiet Lüneburger Heide in die Empfehlung einfließen.

Alle Ergebnisse von KLIMZUG-NORD können auf der Projekthomepage www.klimzug-nord.de abgerufen werden. Als Einstieg und zum Überblick dient das „Kursbuch Klimaanpassung – Handlungsoptionen für die Metropolregion.“ In diesem Kursbuch sind alle wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst und für Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger sowie die interessierte Öffentlichkeit aufbereitet. Dabei werden auch Handlungsoptionen aufgezeigt und bewertet. Die einzelnen Themenbereiche

werden in den KLIMZUG-NORD Berichten aus den Modellgebieten tiefergehend beschrieben.

Im vorliegenden Buch „Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten“ in der Reihe „Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten“, veröffentlicht vom TuTech Verlag Hamburg, sind die in den Handlungsfeldern inter- und transdisziplinär erzielten Ergebnisse und Handlungsempfehlungen niedergelegt. Die in den einzelnen Kapiteln zitierte Fachliteratur ist in einem eigenen Kapitel am Ende des Buches in alphabetischer Autorenanordnung aufgeführt. Fachbegriffe werden in einem anhängenden Glossar erläutert.

Abschließend möchten wir allen denjenigen herzlich danken, die die Arbeiten im Modellgebiet Lüneburger Heide während der KLIMZUG-NORD Laufzeit auf vielfältige Weise unterstützt, begleitet und gefördert und damit zu den in diesem Buch vorgestellten erzielten Ergebnissen und den zukunftsweisenden Handlungsempfehlungen beigetragen haben.

2 Charakteristika des Modellgebietes Lüneburger Heide

*Jürgen Grocholl, Imke Mersch,
Diana Rechid, Brigitte Urban*

Untersuchungsraum

Das Modellgebiet Lüneburger Heide umfasst die innerhalb des Projektgebiets von KLIMZUG-NORD liegenden Teile des Naturraumes Lüneburger Heide (Niedersächsische Naturräumliche Unterregion (DTK 50) 5.1 Lüneburger Heide; Abb. 2.0.1), einem Teilbereich des norddeutschen Tieflandes. Das namensgebende Heideökosystem gehört zu den ältesten Kulturlandschaften der Metropolregion Hamburg und stellt heute einen der attraktivsten Anziehungspunkte dieses Naturraums dar.

Die Altmoränenlandschaft ist vielgestaltig, sie wird im flachwelligen Grundmoränengebiet von lehmig-sandigen und auf den an die Endmoränen angrenzenden Sanderflächen von sandigen Böden charakterisiert. Sandige Böden besitzen ein geringes Wasserspeichervermögen, was im Sommer häufig zu Bodentrockenheit führt.

Besonders fruchtbare Böden finden sich neben anderen, kleinen weichseleiszeitlichen Vorkommen beispielweise südlich von Harburg, auf den Sandlössflächen im Raum Ebstorf/Bad Bevensen im Landkreis Uelzen (Urban et al., 2011). Ursprünglich waren im Modellgebiet ausgedehnte Eichen-, Hainbuchen- und Buchen-Mischwälder verbreitet. Das Modellgebiet wird heute trotz seiner großräumig vorkommenden sandigen Böden stark durch land- und forstwirtschaftliche Nutzung geprägt. Landwirtschaftliche Nutzflächen nehmen dabei 50,4 % der Fläche ein (Ackerland 46,9 %; Grünland 3,5 %, Waldflächen 40,1 %) (CORINE Land Cover, 2000; Abb. 2.0.2). Neben den land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen prägen vor allem die ökologisch und touristisch wertvollen Heideflächen trockener Standorte, aber auch Nieder- und Hochmoore, wie das Pietzmoor, südöstlich von Schneverdingen oder das Schweimker Moor in den Landkreisen Uelzen und Gifhorn das Landschaftsbild. Entwässert wird die Modellregion Lüneburger Heide durch zahlreiche grundwassergespeiste Heidebäche, die vielfach morphologisch und ökologisch stark verändert sind. Südlich und westlich der Wasserscheide des Lüß-Endmoränenzugs münden diese in das Fließgewässersystem der Aller, nordöstlich davon in das der Elbe. Der Grundwasserflurabstand ist zum Teil sehr groß und kann bis 80 m tief unter Flur liegen.

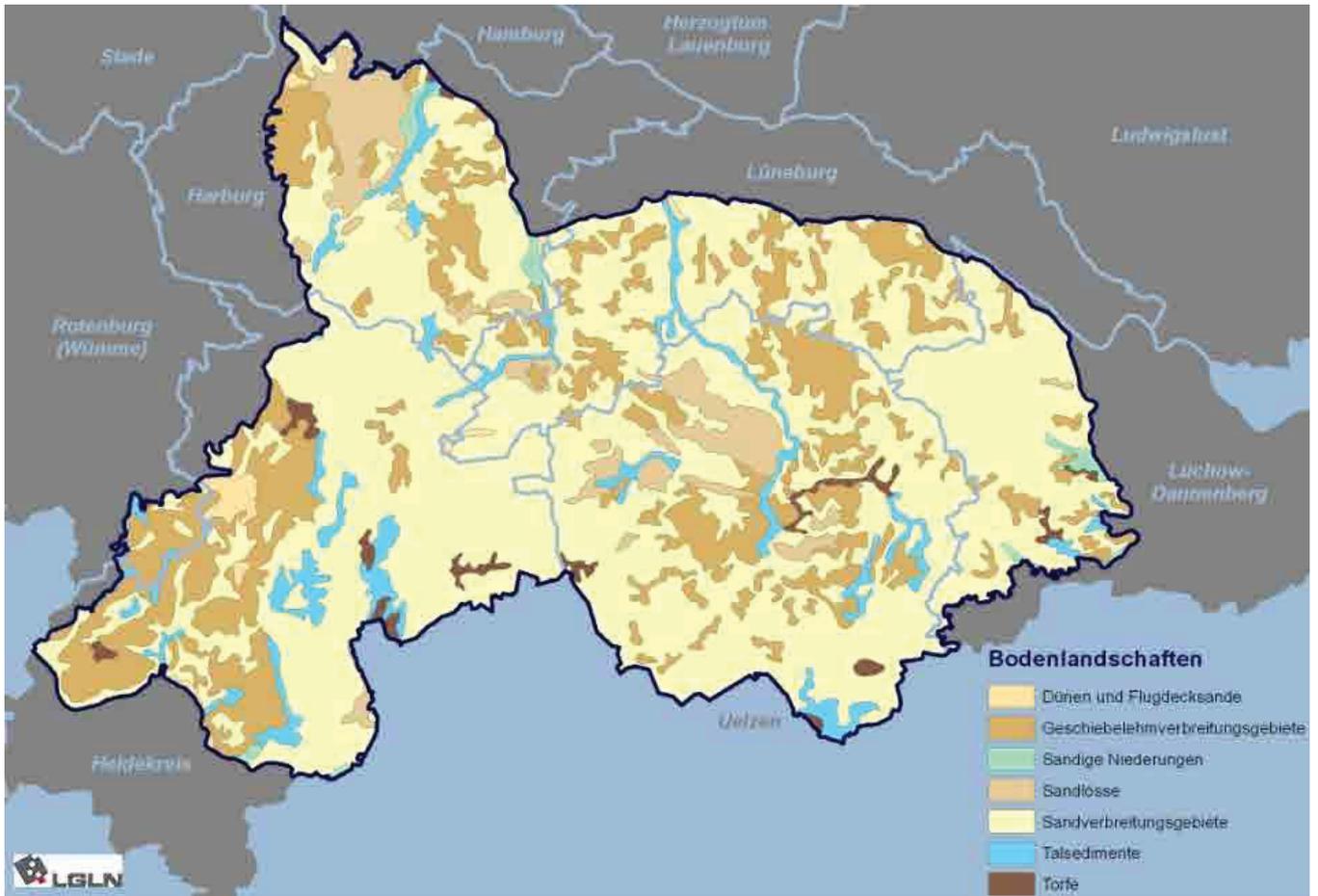


Abb. 2.0.1: Bodenlandschaften im Modellgebiet Lüneburger Heide (I. Mersch)

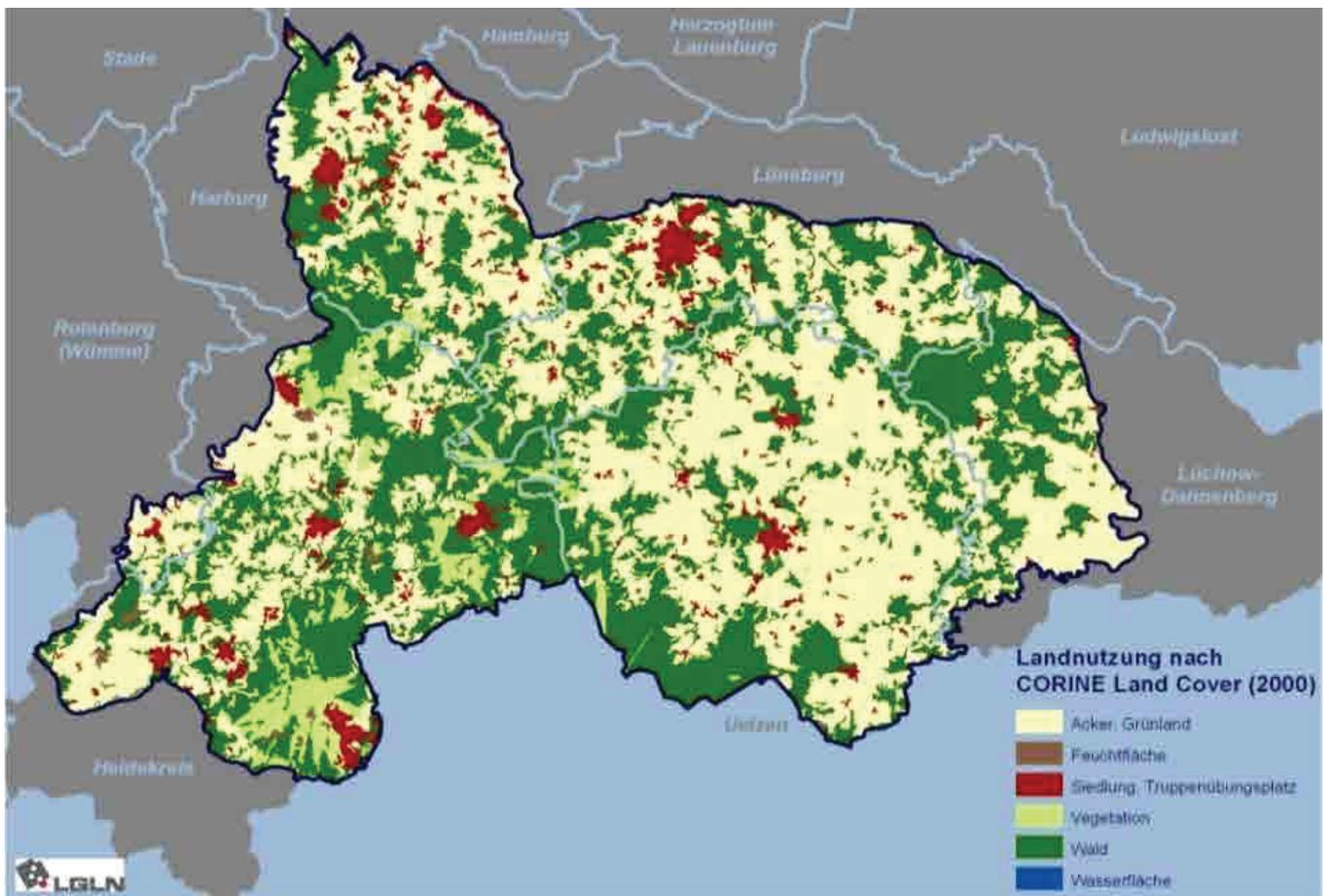


Abb. 2.0.2: Landnutzung nach CORINE Land Cover (2000) (I. Mersch)

Klima

Das Modellgebiet liegt in der feuchtwarmgemäßigten Klimazone, im Südosten der Region beginnt der Übergang zum feucht kontinentalen Klima. Aufgrund vorherrschender Westwinde dominieren maritime Wettereinflüsse und führen zu milden Wintern und kühlen Sommern mit ganzjährigen Niederschlägen. In Abbildung 2.0.3 sind die klimatologischen Jahresgänge 1971 - 2000 von Temperatur und Niederschlag für das Gebietsmittel des Modellgebietes Lüneburger Heide dargestellt. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur über das gesamte Gebiet beträgt 8.8 °C, der durchschnittliche Jahresniederschlag 755 mm. Die Niederschlagsmengen sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt, mit leicht höheren Niederschlägen in Sommer und Winter gegenüber Frühling und Herbst.

Entlang eines von Nordwesten nach Südosten verlaufenden Gradienten verstärken sich innerhalb des Modellgebiets mit zunehmender Entfernung von der Nordsee die kontinentalen Züge des Klimas mit im Vergleich höheren Temperaturen im Sommer und niedrigeren Temperaturen im Winter (Rosenhagen und Schatzmann, 2011). Die Jahresmitteltemperatur 1971 - 2000 an der im westlichen

Teil der Region gelegenen Messstation Soltau beträgt 8.7 °C und im östlich gelegenen Lüchow 8.9 °C. Die Schwankungen der Monatstemperaturen im mittleren Jahresgang betragen in Soltau 16.5 K, während sie in Lüchow 17 K betragen (Tab. 2.0.2).

Zugleich nehmen die durchschnittlichen Jahresniederschläge von Nordwest nach Südost deutlich ab, da sich die niederschlagsreichen Tiefdrucksysteme aus Richtung Nordsee in der Regel nach Osten hin abschwächen (Rosenhagen und Schatzmann, 2011). So beträgt der mittlere Jahresniederschlag 1971 - 2000 an der Messstation Soltau 783 mm, während er in Lüchow nur noch 523 mm beträgt (Tab. 2.0.2). Kleinräumige Muster der Temperatur- und Niederschlagsverteilung ergeben sich durch topografische Erhebungen in der Landschaft, die Verteilung von Land und Wasserflächen sowie Eigenschaften der vorherrschenden Böden und Vegetationsbedeckung. So ist beispielsweise der Wilseder Berg, mit knapp 170 m über NN die höchste Erhebung in der Region, durch im Mittel geringere Temperaturen und höhere Niederschläge als das Umland geprägt.

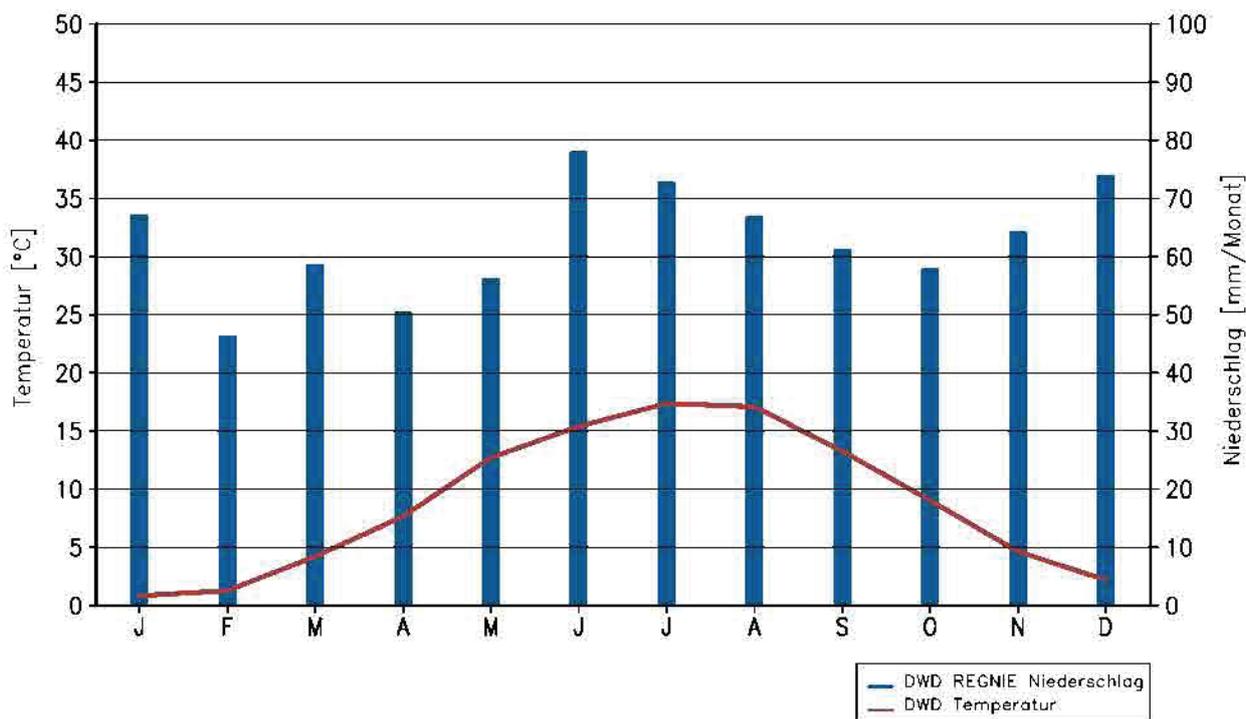


Abb. 2.0.3: Klimadiagramm nach Walter und Lieth mit klimatologischen Jahresgängen 1971 - 2000 von Temperatur und Niederschlag für das Gebietsmittel des Modellgebietes Lüneburger Heide; Datengrundlage sind auf ein Gitter interpolierte Messdaten der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie REGNIE Daten mit Richterkorrektur des DWD zum Niederschlag (DWD 2011).

Tab. 2.0.1: Monats- und Jahresmittel der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund) in °C 1971-2000 an den Messstationen Soltau (52°57'/09°47') und Lüchow (52°58'/11°08') (Quelle: Klimastationsdaten des Deutschen Wetterdienstes; www.dwd.de)

| Temperatur | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Jahr |
|------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|
| Soltau | 0.8 | 1.3 | 4.1 | 7.6 | 12.7 | 15.3 | 17.3 | 17.0 | 13.1 | 8.9 | 4.6 | 2.1 | 8.7 |
| Lüchow | 0.7 | 1.1 | 4.3 | 7.8 | 13.0 | 15.6 | 17.7 | 17.3 | 13.4 | 9.0 | 4.6 | 2.1 | 8.9 |

Tab. 2.0.2: Monats- und Jahressumme des Niederschlags in mm 1971-2000 an den Messstationen Soltau (52°57'/09°47') und Lüchow (52°58'/11°08') (Quelle: Klimastationsdaten des Deutschen Wetterdienstes; www.dwd.de)

| Niederschlag | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Jahr |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Soltau | 76.0 | 50.0 | 65.0 | 50.0 | 55.0 | 78.0 | 65.0 | 64.0 | 62.0 | 61.0 | 72.0 | 85.0 | 783.0 |
| Lüchow | 42.0 | 30.0 | 37.0 | 36.0 | 47.0 | 58.0 | 62.0 | 48.0 | 39.0 | 39.0 | 38.0 | 47.0 | 523.0 |

Die langzeitlichen Änderungen von Temperatur und Niederschlag von 1891 bis 2007 wurden von Schlünzen et al. (2010) für bis zu 45 Klimastationen in der Metropolregion Hamburg untersucht. Es zeigt sich ein signifikanter Anstieg der bodennahen Lufttemperatur um 0.07 K pro

Jahrzehnt mit einer Verstärkung des Trends in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts auf bis 0.6 K pro Jahrzehnt für den Zeitraum 1978 - 2007. Der Niederschlagstrend für 1891 - 2007 zeigt einen signifikanten Anstieg um 8 mm pro Jahrzehnt, für 1948 - 2007 um 13 mm pro Jahrzehnt.

Wirtschaft

Im Vergleich zur mittleren Siedlungsdichte von Deutschland oder zum übrigen Projektgebiet von KLIMZUG-NORD ist die Region dünn besiedelt (Tab. 2.0.3). Siedlungsflächen nehmen demgemäß nur einen kleinen Teil des Raumes in Anspruch (4,7 %). Die Bevölkerungsentwicklung verlief in den vergangenen Jahren in den Landkreisen des Modellgebietes unterschiedlich: Während die metropolnahen Kreise Lüneburg und Harburg zwischen 1999 und 2008 einen Zuwachs zu verzeichnen hatten (+7,7 bzw. +6,8 %), war die Bevölkerung im Heidekreis nahezu konstant (+0,6 %) und nahm in Uelzen und Lüchow-Dannenberg ab (-2,9 bzw. -4,6 %) (Döll und Kowalewski, 2012).

Die Wirtschaftskraft in der Region ist, gemessen an der Bruttowertschöpfung, im Vergleich zum gesamten Projektgebiet gering. Der Anteil der Landwirtschaft an der Bruttowertschöpfung ist überdurchschnittlich hoch. Entsprechend ist auch der Anteil der in der Land- und

Forstwirtschaft Beschäftigten deutlich höher als in anderen Regionen Norddeutschlands. Eine intensive ackerbauliche Landnutzung ist nur durch den Einsatz der Feldberegung möglich, da sie die geringen Sommerniederschläge und das niedrige Wasserspeichervermögen der Böden etwas ausgleicht. Damit sichert sie in trockenen Sommern Erträge und Qualitäten (z. B. Zuckerausbeute bei Rüben, Eiweißgehalt bei Braugerste) ab. Neben der Landwirtschaft erfolgt vor allem eine forstliche Nutzung der großen Nadelholzbestände.

Mit ihren naturräumlichen Eigen- und Besonderheiten birgt die Modellregion neben den genannten landwirtschaftlichen Nutzungsschwerpunkten mit den trockenen Heidelandschaften und den die Landschaft untergliedernden Bächen, Feucht- und Waldgebieten wertvolle Räume für Biodiversitätserhalt, zur Grundwasserneubildung und für den Tourismus.

Tab. 2.0.3: Statistische Kennzahlen (Kreisportraits HWWI, Döll und Kowalewski 2012)

| Region | Stand 2008 | | Stand 2009 - Anteil der Beschäftigten an der Gesamtbeschäftigung (%) | | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|------------------------|------------------|
| | Fläche (km ²) | Einwohner je km ² (Anzahl) | Land-, Forstwirtschaft, Fischerei | Produzierendes Gewerbe | Dienstleistungen |
| Deutschland | 357.114 | 231 | 0,8 | 31,0 | 68,2 |
| Projektgebiet KLIMZUG-NORD | 19.801 | 216 | ø 2,1 | ø 28,5 | ø 69,5 |
| Modellgebiet Lüneburger Heide* | 7.116 | 99 | ø 2,5 | ø 27,1 | ø 70,4 |
| Harburg | 1.245 | 197 | 2,1 | 24,5 | 73,4 |
| Heidekreis | 1.874 | 75 | 1,7 | 27,0 | 71,3 |
| Lüchow-Dannenberg | 1.220 | 41 | 4,1 | 32,8 | 63,1 |
| Lüneburg | 1.323 | 134 | 1,7 | 25,5 | 72,8 |
| Uelzen | 1.454 | 65 | 3,0 | 25,7 | 71,4 |

| Region | Bruttowertschöpfung (Mio. €) | Bruttowertschöpfung je Flächeneinheit (Mio. €/km ²) | Bruttowertschöpfung je Einwohner (Mio. €/1000 Einw.) | Anteil der Landw. an der Bruttowertschöpfung (%) |
|--------------------------------|------------------------------|---|--|--|
| Deutschland | 2.217.000 | 6,2 | 27,1 | 0,9 |
| Projektgebiet KLIMZUG-NORD | 132.562 | 6,7 | 30,9 | 1,0 |
| Modellgebiet Lüneburger Heide* | 13.560 | 1,9 | 19,2 | 2,5 |
| Harburg | 3.886 | 3,1 | 15,8 | 1,9 |
| Heidekreis | 910 | 1,8 | 23,8 | 2,4 |
| Lüchow-Dannenberg | 3.433 | 0,7 | 18,3 | 5,8 |
| Lüneburg | 1.323 | 2,6 | 19,4 | 1,5 |
| Uelzen | 1.997 | 1,4 | 21,1 | 4,0 |

* Angaben gelten für alle im Modellgebiet liegenden Landkreise

3 Klimaprojektionen für das Modellgebiet Lüneburger Heide

*Diana Rechid, Juliane Petersen,
Robert Schoetter, Daniela Jacob*

Klimaprojektionen sind Abbildungen möglicher Klimaentwicklungen unter der Annahme bestimmter Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen in die Atmosphäre. Sie werden mit Modellen des globalen Klimasystems erstellt, welche die Auswirkungen der veränderten Zusammensetzung der Atmosphäre auf die Energiebilanz der Erde und die globale Zirkulation und damit verbundene Änderungen der Temperatur und des Wasserkreislaufs simulieren. Um den Einfluss natürlicher interner Klimaschwankungen, also von Schwankungen, die durch natürliche Wechselwirkungen zwischen den Subsystemen des Klimasystems entstehen (s. Glossar Klimavariabilität), in die Projektionen von Klimaänderungen einzubeziehen, werden mit einem Modell mehrere Simulationen, sogenannte Realisierungen, erstellt, die sich im Ausgangszustand des Klimasystems unterscheiden. Daraus ergeben sich verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten des Klimas innerhalb einer bestimmten Schwankungsbreite. Da sich die globalen Klimaänderungen regional unterschiedlich ausprägen, werden unter Verwendung der Ergebnisse globaler Klimasimulationen mit regionalen Klimamodellen räumlich höher aufgelöste Klimaprojektionen für einzelne Regionen erstellt. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der regionalen Klimaprojektionen für das Modellgebiet Lüneburger Heide vorgestellt.

Die in KLIMZUG-NORD verwendeten Klimaprojektionen basieren auf den globalen Emissionsszenarien A2, A1B und B1 des IPCC (Nakicenovic et al., 2000) für das 21. Jahrhundert. Es werden Simulationen der regionalen Klimamodelle REMO (Jacob et al., 2008; Jacob et al., 2009, Jacob et al., 2012) und CLM (Hollweg et al., 2008, Lautenschlager et al., 2009; Keuler et al., 2009 a,b,c,d,e) verwendet. Mit beiden Regionalmodellen wurden bis zu 3 Realisierungen pro Emissionsszenario der globalen Klimasimulationen des gekoppelten Modellsystem ECHAM5/MPI-OM (MPI-M, 2006) dynamisch regionalisiert (s. Tab. 3.0.1). Die entsprechenden Simulationen wurden auch in dem vom Niedersächsischen Ministerium für Bildung und Wissenschaft geförderten Projekt KLIFF - Klimafolgenforschung für Niedersachsen verwendet (Moseley et al., 2012) und liegen den Empfehlungen für eine niedersächsische Klimaanpassungsstrategie zugrunde. Damit sind die Ergebnisse beider Projekte direkt vergleichbar und im sich räumlich überschneidenden Projektgebiet

übertragbar. Weitere Informationen zu den Klimaprojektionen sind Rechid et al. (2014) zu entnehmen.

Die simulierten Zeitreihen täglicher Werte der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund), Tagesminima und -maxima der bodennahen Lufttemperatur und Tagessummen des Niederschlags wurden für die Referenzperiode 1971 - 2000 und für die beiden Projektionszeiträume 2036 - 2065 und 2071 - 2100 ausgewertet. Es wurden 30-jährige Mittel der Jahreswerte und der meteorologischen Jahreszeiten berechnet: Winter: Dezember, Januar, Februar (DJF), Frühjahr: März, April, Mai (MAM), Sommer: Juni, Juli, August (JJA) und Herbst: September, Oktober, November (SON). Die Klimaänderungen für die beiden Projektionszeiträume ergeben sich aus der Differenz der 30-jährigen Mittelwerte der zukünftigen Zeitperiode einer bestimmten Projektion und der Mittelwerte der Referenzperiode der entsprechenden historischen Simulation.

Tab. 3.0.1: Übersicht zu verwendeten Klimasimulationen

| Modell | Gitterauflösung | Zeitraum | Simulationen | Zwischensimulation | Globalmodell |
|--------|-----------------|----------------------------|------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| REMO | 0.088° | 1950 - 2000 2001 - 2100 | 3 C20 3 A2, A1B, B1 | REMO 0.44° | ECHAM5/MPI-OM T63 (1.875°) /1.5° |
| CLM | 0.165° | 1960 - 2000 2001 - 2100 | 2 C20, 2 A1B, 2 B1 | - | ECHAM5/MPI-OM T63 (1.875°) /1.5° |

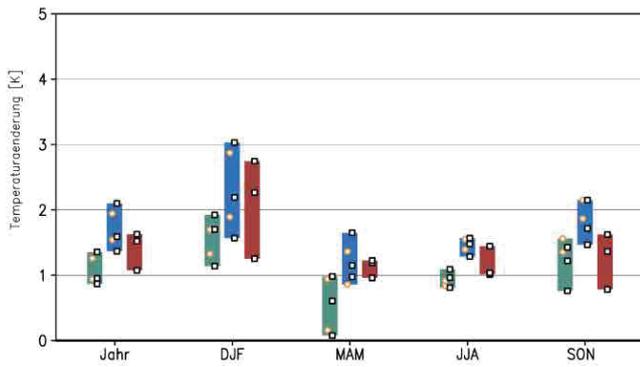
Saisonale Änderungen

Die Bandbreiten der projizierten Klimaänderungen in Abbildung 3.0.1 veranschaulichen, in welchem Wertebereich sich je nach Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios die mittleren saisonalen Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse in dem Modellgebiet Lüneburger Heide im 21. Jahrhundert verändern können. Die Zahlenwerte zu den entsprechenden projizierten minimalen und maximalen Änderungen finden sich in Tabelle 3.0.2. Hier der Hinweis, dass diese Werte nur die Bandbreiten der hier verwendeten Simulationen, aber nicht alle Möglichkeiten zukünftiger Klimaänderungen abbilden.

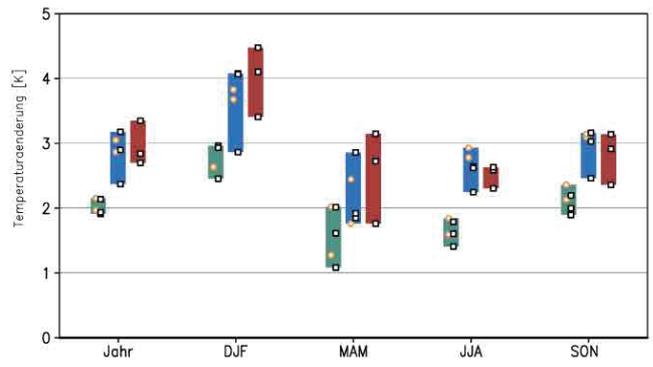
Für das Modellgebiet der Lüneburger Heide wird für alle Jahreszeiten ein Anstieg der bodennahen Lufttemperatur projiziert, der zum Ende des 21. Jahrhunderts jeweils deutlich größer ist als zur Mitte des 21. Jahrhunderts. Im Winter steigen die Temperaturen am stärksten, im Projektionszeitraum 2036 - 2065 um etwa 1 K bis 3 K und 2071 - 2100 um ca. 2.5 K bis 4.5 K (jeweils Bandbreite über alle 3 Szenarien). Die entsprechenden Änderungen im Sommer betragen 2036 - 2065 ca. 0.8 K bis 1.6 K und 2071 - 2100 etwa 1.4 K bis 2.9 K. Im Winter und auch im Frühjahr sind die Bandbreiten der Temperaturänderungen am höchsten, was durch größere Unterschiede

zwischen den verschiedenen Realisierungen und damit durch größere interne Klimaschwankungen in diesen Jahreszeiten verursacht wird. Zur Mitte des 21. Jahrhunderts hängt der projizierte Temperaturanstieg mehr von Modell und Realisierung und weniger vom Emissionsszenario ab. Zum Ende des 21. Jahrhunderts dagegen ist der Temperaturanstieg für die Szenarien A1B und A2 mit vergleichsweise hohen Treibhausgasemissionen deutlich höher als für das Szenario B1 mit vergleichsweise niedrigen Treibhausgasemissionen. Die projizierten Niederschläge nehmen 2036 - 2065 in allen Jahreszeiten für alle Szenarien zu, mit Ausnahme der Ergebnisse für das A1B Szenario im Sommer, die eine Abnahme der Niederschläge zwischen -1 % bis -11 % zeigen. Zum Ende des 21. Jahrhunderts dagegen zeigen die meisten Simulationen im Sommer eine Niederschlagsabnahme mit den stärksten Änderungen im A1B Szenario um -8 % bis -25 %. In allen anderen Jahreszeiten nimmt der Niederschlag in allen Szenarien zu, meist mit ähnlichen Werten wie zur Mitte des Jahrhunderts. Nur im Winter sind Änderungen zum Ende des Jahrhunderts mit Werten zwischen +8 % bis +32 % deutlich größer als zur Mitte des Jahrhunderts mit knapp über 0 % bis 22 %.

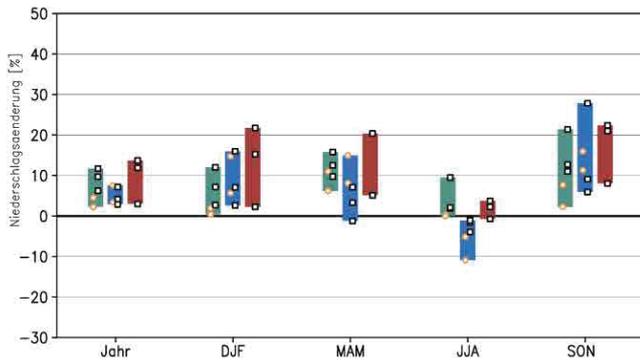
Temperatur 2036 - 2065



Temperatur 2071 - 2100



Niederschlag 2036 - 2065



Niederschlag 2071 - 2100

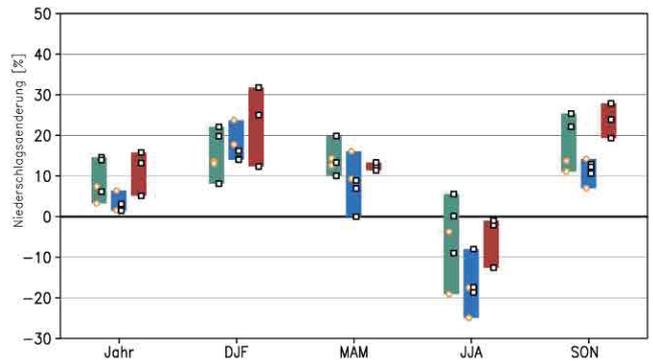
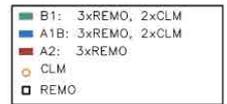


Abb. 3.0.1: Bandbreiten der jährlichen und saisonalen Temperatur- und Niederschlagsänderungen 2036 - 2065 und 2071 - 2100 gegenüber 1971 - 2000 pro Emissionsszenario und Werte der einzelnen Simulationen für das Modellgebiet Lüneburger Heide



Tab. 3.0.2: Zahlenwerte der projizierten jährlichen und saisonalen Änderungen der bodennahen Lufttemperatur (2 m über Grund) (a,b) und des Niederschlags (c,d) gegenüber 1971 - 2000 für das Gebietsmittel des Modellgebiets Lüneburger Heide (s. Abb. 3.0.1) jeweils der Simulationen, die die kleinste und die größte Änderung pro Emissionsszenario zeigen; die Differenz ergibt die Bandbreite aus den verfügbaren Modellsimulationen pro Emissionsszenario.

a. Temperatur [K] 2036 - 2065

| | B1 min | B1 max | A1B min | A1B max | A2 min | A2 max |
|--------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Jahr | 0.9 | 1.4 | 1.4 | 2.1 | 1.1 | 1.6 |
| D,J,F | 1.1 | 1.9 | 1.6 | 3.0 | 1.3 | 2.7 |
| M,A,M | 0.1 | 1.0 | 0.9 | 1.7 | 1.0 | 1.2 |
| J,J,A | 0.8 | 1.1 | 1.3 | 1.6 | 1.0 | 1.4 |
| S,O,N | 0.8 | 1.6 | 1.5 | 2.2 | 0.8 | 1.6 |

b. Temperatur [K] 2071 - 2100

| | B1 min | B1 max | A1B min | A1B max | A2 min | A2 max |
|--------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Jahr | 1.9 | 2.2 | 2.4 | 3.2 | 2.7 | 3.4 |
| D,J,F | 2.5 | 3.0 | 2.9 | 4.1 | 3.4 | 4.5 |
| M,A,M | 1.1 | 2.0 | 1.8 | 2.9 | 1.8 | 3.2 |
| J,J,A | 1.4 | 1.8 | 2.3 | 2.9 | 2.3 | 2.6 |
| S,O,N | 1.9 | 2.4 | 2.5 | 3.2 | 2.4 | 3.1 |

c. Niederschlag [%] 2036 - 2065

| | B1 min | B1 max | A1B min | A1B max | A2 min | A2 max |
|--------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Jahr | 2.3 | 11.7 | 2.9 | 7.6 | 3.0 | 13.7 |
| D,J,F | 0.4 | 12.0 | 2.6 | 16.0 | 2.3 | 21.7 |
| M,A,M | 6.2 | 15.8 | -1.2 | 15.0 | 5.1 | 20.4 |
| J,J,A | 0.0 | 9.5 | -10.9 | -1.1 | -0.7 | 3.7 |
| S,ON | 2.5 | 21.4 | 5.9 | 27.8 | 8.0 | 22.4 |

d. Niederschlag [%] 2071 - 2100

| | B1 min | B1 max | A1B min | A1B max | A2 min | A2 max |
|--------------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Jahr | 3.2 | 14.6 | 1.45 | 6.4 | 5.1 | 15.8 |
| D,J,F | 8.1 | 22.1 | 14.0 | 23.8 | 12.4 | 31.8 |
| M,A,M | 10.1 | 19.8 | 0.0 | 16.1 | 11.4 | 13.3 |
| J,J,A | -19.1 | 5.5 | -25.0 | -8.0 | -12.6 | -1.0 |
| S,O,N | 11.1 | 25.4 | 7.0 | 14.2 | 19.3 | 27.9 |

Veränderte Verteilung der Tageswerte von Temperatur und Niederschlag

Die Verteilungen der täglichen Temperaturwerte im Referenzzeitraum und ihre Änderungen in den Projektionszeiträumen sind in Abbildung 3.0.2 anhand der Perzentile dargestellt. Eine markante Veränderung im Winter, die in allen Simulationen und Projektionszeiträumen auftritt, ist der deutlich stärkere Anstieg der niedrigen als der höheren Perzentile. Das bedeutet, dass im Winter der Anteil sehr kalter und kalter Tage, also von Tagen mit durchschnittlichen Temperaturen von weniger als $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,

deutlich stärker abnimmt, als die Tage mit höheren Temperaturen zunehmen. Im Sommer nehmen in beiden Projektionszeiträumen im B1 Szenario die Tageswerte der Temperatur gleichmäßig zu. Für das A1B und das A2 Szenario zeigt sich dagegen zur Mitte und noch ausgeprägter zum Ende des Jahrhunderts ein etwas stärkerer Anstieg der höheren Perzentile, d. h. warme und heiße Tage können sehr viel häufiger auftreten.

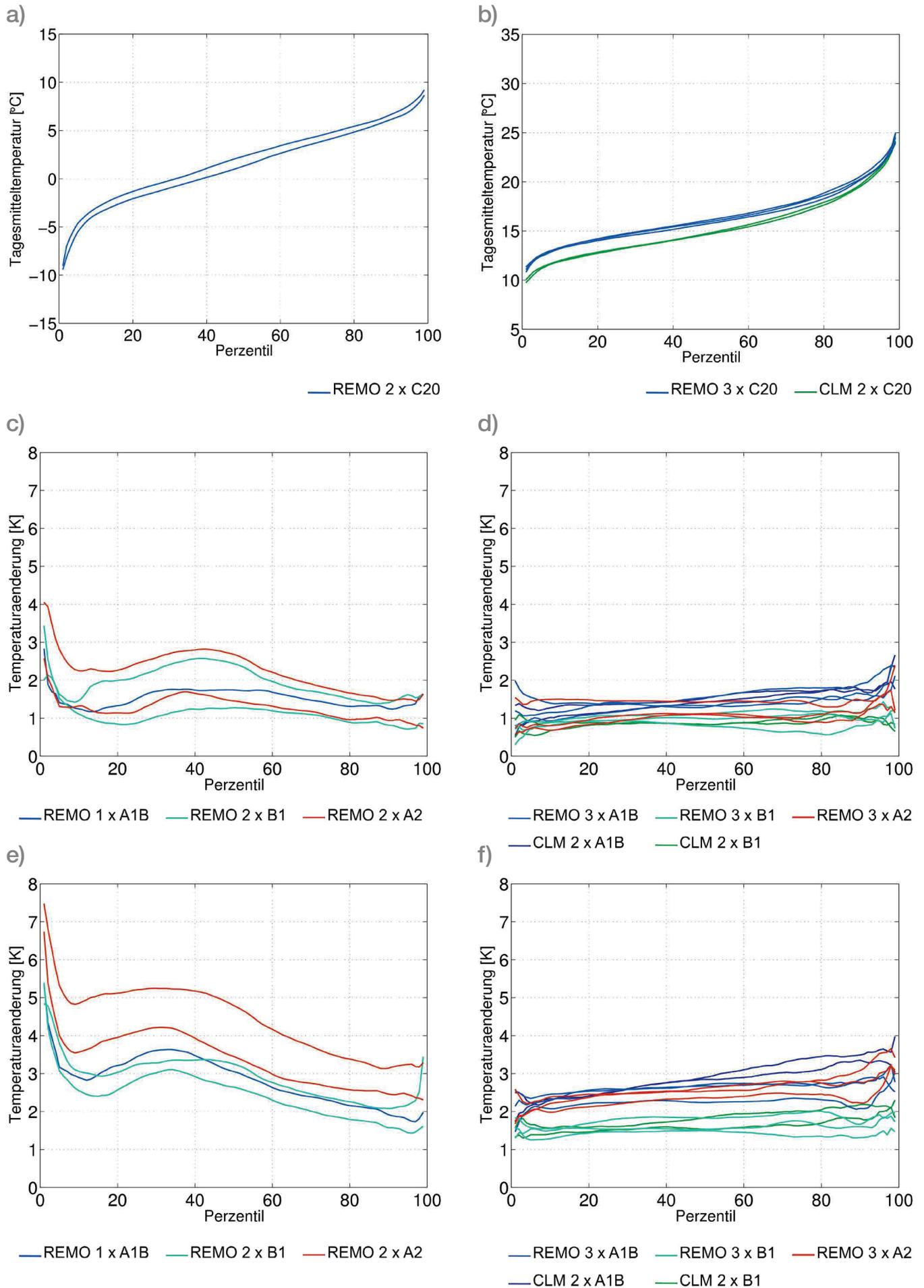


Abb. 3.0.2: Simulierte Perzentile der Tagesmitteltemperatur im Referenzzeitraum 1971-2000 im Winter (a) und im Sommer (b) sowie projizierte Änderungen der Perzentile der Tagesmitteltemperatur für den Zeitraum 2036-2065 im Winter (c) und im Sommer (d) und für den Zeitraum 2071-2100 im Winter (e) und im Sommer (f) für das Modellgebiet Lüneburger Heide. (Anmerkung: Für den Winter wurden nur die Modellsimulationen ausgewertet, die keine unrealistische Häufung von 0°-Werten zeigen, s. Rechid et al. 2014).

In Abbildung 3.0.3 sind Auswertungen zu thermischen Klimaindizes zu sehen. Die hier verwendeten Klimaindizes sind über absolute Schwellenwerte definiert (s. Glossar). Eine deutlich höhere Anzahl an Tagen überschreitet die 25 °C Schwelle und auch Hitzetage mit über 30 °C Tagesmaximumtemperatur treten häufiger auf. Zudem können Tage auftreten, an denen die Temperatur von 20 °C nicht unterschritten wird (sog. Tropentage od. Tropennächte), die im heutigen Klima der Lüneburger Heide im Mittel nur alle paar Jahre einmal auftreten, in Zukunft bis zu 5 mal in jedem Jahr auftreten können. Niedrige Schwellenwerte werden seltener unterschritten, Eis- und Frosttage treten sehr viel seltener auf (s. Abb.

3.0.4). Die Anzahl der Tage pro Jahr mit Temperaturen höher als 5 °C nimmt deutlich zu, was eine wichtige physiologische Schwelle für das Wachstum von Pflanzen ist. Die Änderung der Anzahl zusammenhängender Tage der längsten Periode mit Tagesmitteltemperaturen >5 °C um 10 bis 30 Tage pro Jahr in 2036 - 2065 und um 20 bis 80 Tage pro Jahr in 2071 - 2100 gibt einen Hinweis auf eine markante Verlängerung der thermischen Vegetationsperiode. Dieser Wert allein reicht allerdings nicht aus, die Vegetationsperiode insgesamt zu charakterisieren, da diese auch von pflanzenphysiologischen Prozessen und weiteren Umweltbedingungen wie z. B. Tageslänge, pflanzenverfügbarem Wasser und Nährstoffen abhängt.

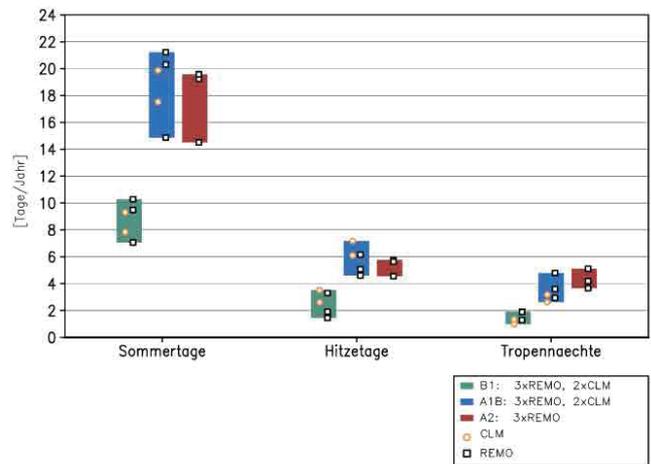
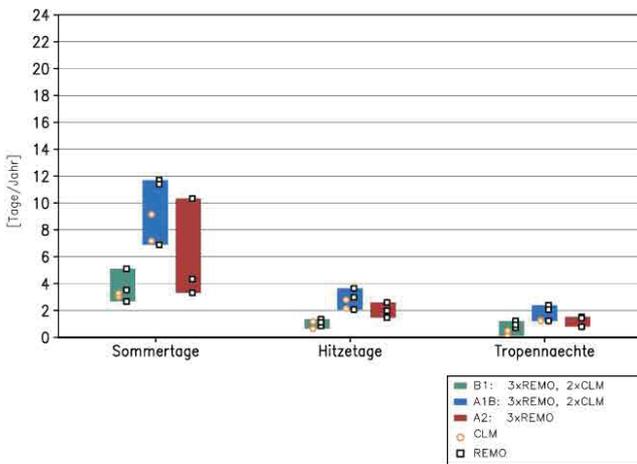


Abb. 3.0.3: Simulierte Änderungen der Anzahl von Sommer-, Hitze- und Tropentagen/-nächten pro Jahr 2036 - 2065 (links) und 2071 - 2100 (rechts) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen.

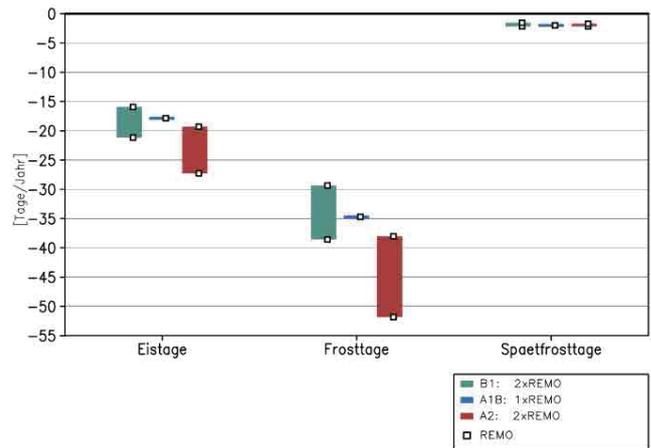
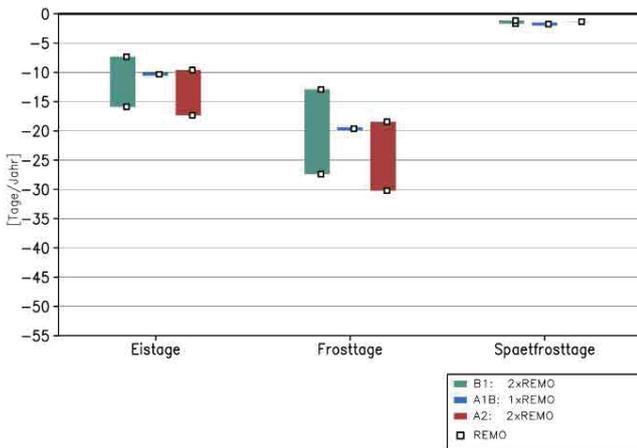


Abb. 3.0.4: Simulierte Änderungen der Anzahl von Eis-, Frost-, Spätfrosttagen pro Jahr 2036 - 2065 (links) und 2071 - 2100 (rechts) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen. (Anmerkung: Für die Auswertung der Frosttage wurden nur die Modellsimulationen ausgewertet, die keine unrealistische Häufung von 0°-Werten zeigen, s. Rechid et al. 2014).

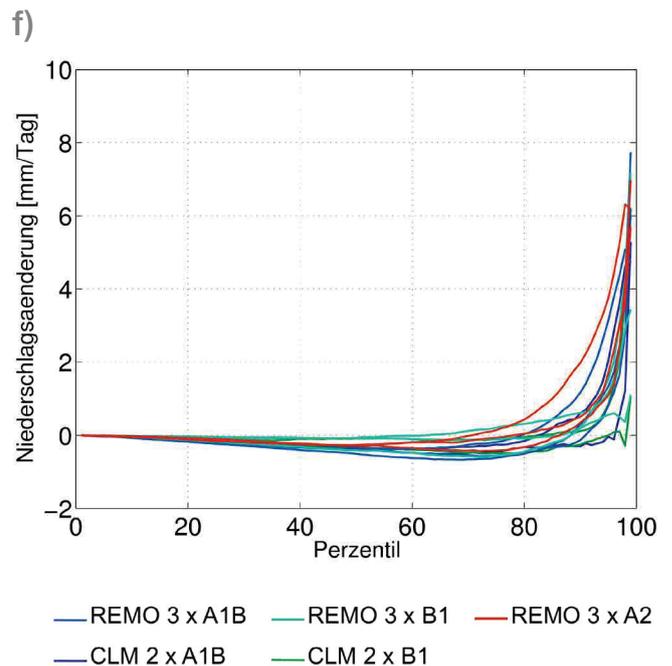
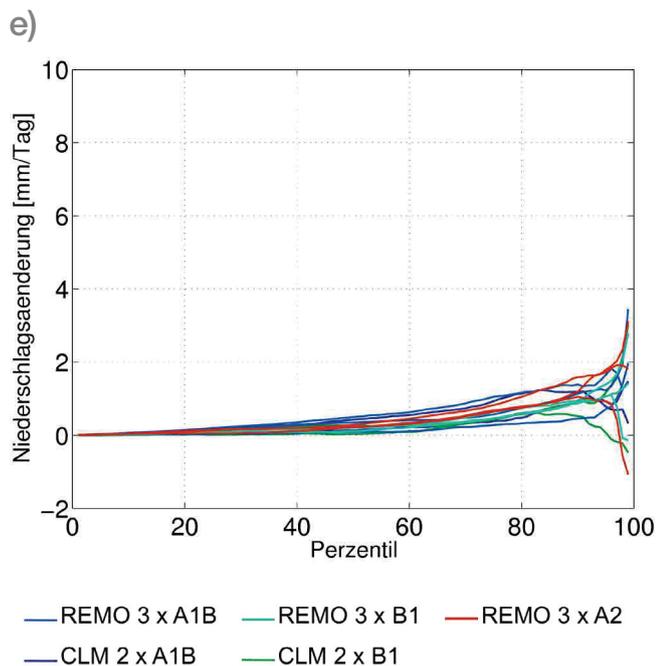
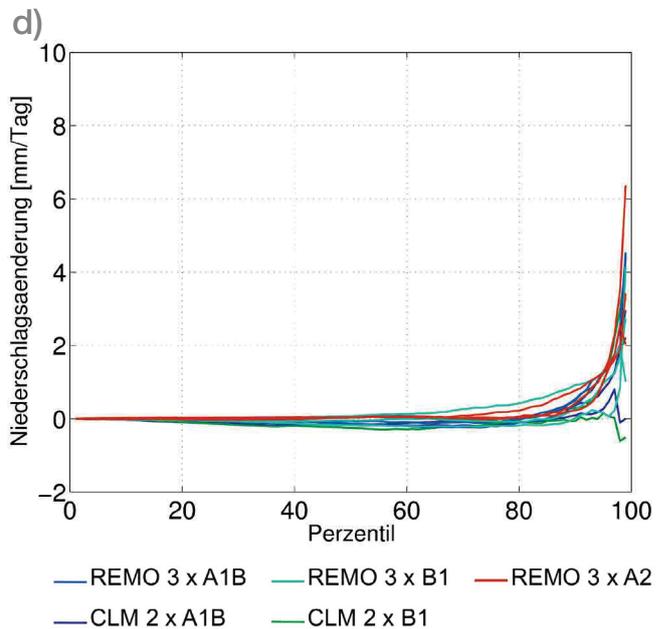
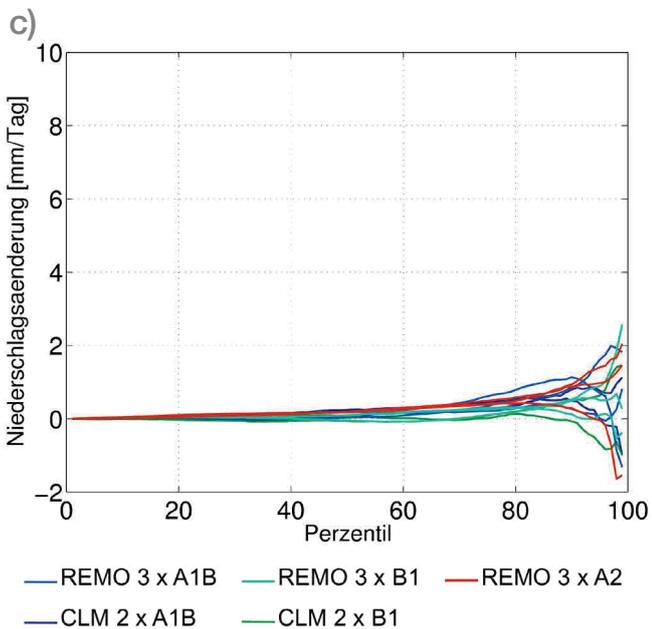
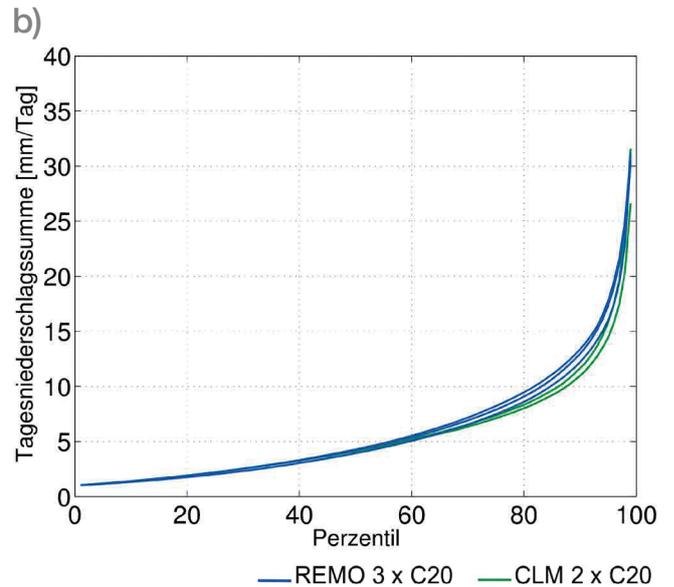
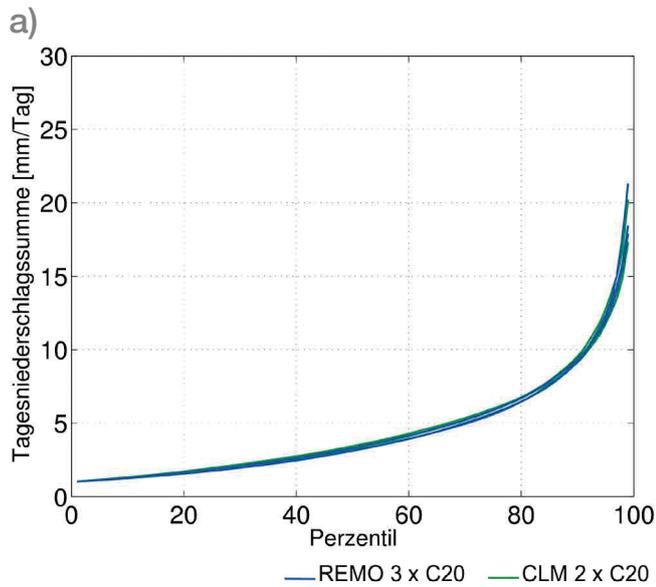


Abb. 3.0.5: Simulierte Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum 1971 - 2000 im Winter (a) und im Sommer (b) sowie projizierte Änderungen für den Zeitraum 2036 - 2065 im Winter (c) und im Sommer (d) und für den Zeitraum 2071 - 2100 im Winter (e) und im Sommer (f) für das Modellgebiet Lüneburger Heide.

Die simulierten Perzentile der Tagesniederschlagssummen an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag im Referenzzeitraum sowie deren projizierte Änderungen sind in Abbildung 3.0.5 dargestellt. Die Verteilung der Tagesniederschläge an Tagen mit mehr als 1 mm Niederschlag verdeutlichen, wie sich die Niederschlagsintensitäten verändern. Es zeigt sich für den Winter in allen Simulationen eine generelle Zunahme aller Niederschlagsintensitäten und besonders zum Ende des Jahrhunderts mit einer Tendenz zur stärkeren Zunahme höherer Intensitäten. Bei den hohen Perzentilen zeigen einzelne Simulationen negative Änderungen im Winter, welche auf die hohe Variabilität der stärkeren Niederschläge zurückzuführen sind. Im Sommer wird 2036 - 2065 in fast allen und 2071 - 2100 in allen Simulationen eine Abnahme der Niederschlagsintensität an Tagen mit leichten bis mittleren Niederschlägen projiziert. An Tagen mit hohen Niederschlagsintensitäten zeigt sich dagegen bis auf eine Ausnahme in allen Simulationen zur Mitte und noch deutlicher zum Ende des Jahrhunderts eine Zunahme der Niederschlagsmenge. Das bedeutet, dass die leichte Abnahme der mittleren Niederschlagsmenge im Sommer gleichzeitig mit einer Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen verbunden sein kann.

Diese Änderungen sind in den A2 und A1B Szenarien etwas stärker ausgeprägt als im B1 Szenario. Das gibt einen Hinweis darauf, dass die Intensität von Starkniederschlägen umso mehr zunehmen kann, je höher der Grad der Erwärmung und damit der Wassergehalt der Atmosphäre ist. Dieser Zusammenhang wurde kürzlich in einer Studie, basierend auf Beobachtungsdaten, bestätigt (Berg et al., 2013).

Die Anzahl der Tage mit hohen Niederschlagsintensitäten (> 20 mm) steigt in allen Jahreszeiten geringfügig an (ohne Abb.). Das bedeutet insgesamt, dass es in den Projektionszeiträumen wenige Tage mehr mit starkem Niederschlag geben kann, und wenn es einen Tag mit starkem Niederschlag gibt, die Intensität des Niederschlags noch stärker ausfallen kann. Die Anzahl der Trockentage (Abb. 3.0.6), also von Tagen mit weniger als 1 mm Niederschlag, verringert sich in beiden Projektionszeiträumen im Winter, Frühjahr und in den meisten Simulationen auch im Herbst. Im Sommer treten 2036 - 2065 im A1B und A2 Szenario häufiger Trockentage auf und 2071 - 2100 bis auf eine Realisierung auch im B1 Szenario.

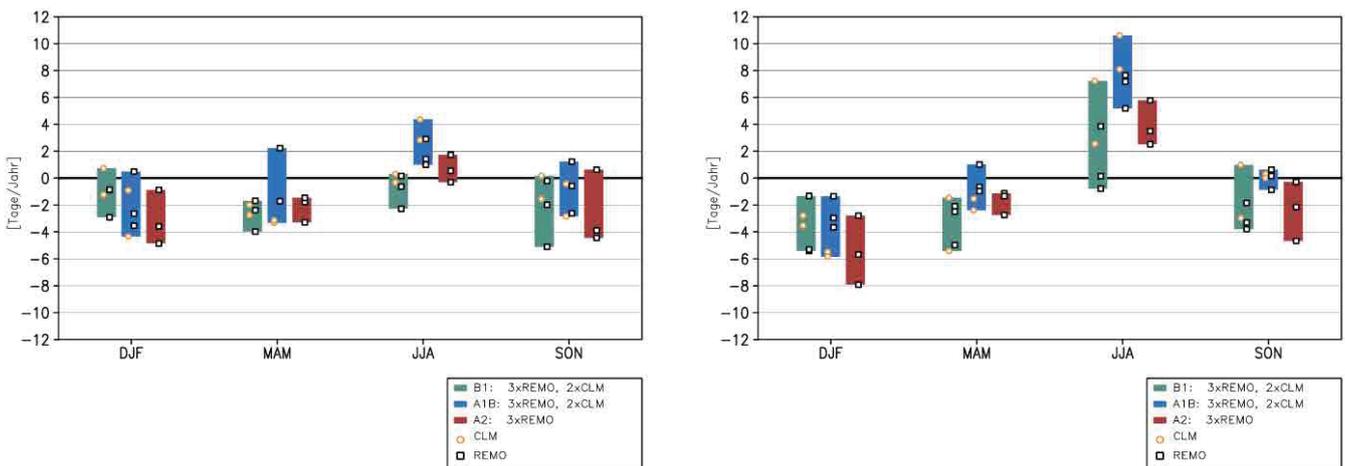


Abb. 3.0.6: Simulierte Änderungen der Anzahl von Trockentagen mit < 1 mm Tagesniederschlag pro Jahreszeit für 2036 - 2065 (links) und 2071 - 2100 (rechts) gegenüber 1971 - 2000 für die Szenarien B1, A2 und A1B, dargestellt mit den Werten der einzelnen Simulationen

Zusammenfassung

Für das Modellgebiet der Lüneburger Heide werden zur Mitte des 21. Jahrhunderts für alle Jahreszeiten höhere Mitteltemperaturen projiziert. Zum Ende des 21. Jahrhunderts sind noch größere Temperaturzunahmen zu erwarten. Im Winter steigen die Temperaturen jeweils am stärksten, im Frühjahr am geringsten. Dabei nehmen im Winter die niedrigen Tagesmitteltemperaturen stärker zu als die höheren und Eis- und Frosttage treten deutlich seltener auf. Im Sommer können Tage mit extremen Temperaturen wie Hitzetage und Tropentage bzw. -nächte deutlich häufiger auftreten. Im Jahr nimmt die Anzahl der Tage mit Temperaturen höher als 5 °C deutlich zu, was eine wichtige physiologische Schwelle für das Wachstum von Pflanzen ist. Im Verlauf des Jahrhunderts unterscheiden sich die für das B1 Szenario simulierten Temperaturen immer deutlicher von den Ergebnissen für die A1B und A2 Szenarien. Das bedeutet, wenn es gelingt, die Treibhausgasemissionen zu vermindern, deutlich geringere Klimaänderungen zu erwarten sind. Die projizierten Niederschläge nehmen 2036-2065 in allen Jahreszeiten für alle Szenarien leicht zu, mit Ausnahme abnehmender Niederschläge für das A1B Szenario im Sommer. Insgesamt sind die Veränderungen im Sommer sehr gering und zeigen keinen klaren Trend. Zum Ende des 21. Jahrhunderts dagegen zeigen die meisten Simulationen im Sommer eine Niederschlagsabnahme mit den stärksten Änderungen im A1B Szenario. In Winter und Herbst verstärkt sich die Niederschlagszunahme, sodass eine Umverteilung der Niederschläge im Jahresverlauf stattfindet mit insgesamt im Jahresmittel leicht steigenden Werten. Zudem zeigt sich im Sommer trotz abnehmender Niederschläge eine Zunahme der Intensität von starken Niederschlägen.

4 Ergebnisse für Handlungsfelder

Im Modellgebiet Lüneburger Heide wurden aufgrund regionalspezifischer Besonderheiten im Wesentlichen die Handlungsfelder Wasserwirtschaft, Land- und Bodennutzung, Naturschutz und Kommunikation erforscht. Die Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen und der intensive Austausch mit Partnern und Betroffenen bestimmte Arbeitsweise und Forschungsansätze. Die Wasserwirtschaft sucht eine nachhaltige Nutzung der Grundwasserressourcen. Wichtigste Maßnahme in den landwirtschaftlichen Betrieben ist der Einsatz der Feldberegnung. Dabei sind Anpassungsmaßnahmen an die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf regionaler Ebene gefordert. Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre beeinflussen das regionale Klima. Für den Naturschutz gehören Klimaveränderungen zu den Hauptursachen für den weltweiten Biodiversitätsverlust. Vor allem Moore nehmen dabei eine bedeutende ökologische Rolle als ein. Zielkonflikte zwischen der Landwirtschaft und dem Naturschutz sind durch Kommunikations- und Bildungsformate zu moderieren. Hier gilt es, die Herausforderung einer bereits konflikträchtigen Kommunikation zwischen unterschiedlichen Interessen zu meistern. Dabei ist der Einsatz von wasser- und energieeffizienter Feldberegnungstechnik eine Schlüsselmaßnahme. Eine kooperative Zusammenarbeit soll Potenziale nutzbar machen und Reibungsverluste minimieren.

4.1 Wasserwirtschaft

4.1.1 Auswirkungen von Klimaänderungen auf das nachhaltig nutzbare Grundwasserdargebot in der Lüneburger Heide

Frank Herrmann, Shaoning Chen, Lena Hübsch, Ralf Kunkel, Udo Müller, Frank Wendland

Ein wichtiger Aufgabenbereich der Wasserwirtschaft ist die regionale Grundwasserbewirtschaftungsplanung. Nur wenn die Grundwasserressourcen in der Lüneburger Heide nachhaltig bewirtschaftet werden, kann langfristig gesehen der Wasserbedarf der Bevölkerung und der Landwirtschaft aus dem Grundwasser gedeckt werden. Im Modellgebiet Lüneburger Heide findet intensive Landwirtschaft statt. Es muss jedoch für hohe Erträge eine umfangreiche Feldberegnung durchgeführt werden. Ursache dafür sind einerseits das teilweise relativ geringe Wasserspeichervermögen der Böden und andererseits die während der Vegetationsperiode von der Nordseeküste ins Landesinnere hin abnehmenden Niederschläge. Ein Großteil der für die Feldberegnung benötigten Wassermengen muss aus den Grundwasserleitern der Region gefördert werden. Im Sinne einer am Prinzip der Nachhaltigkeit orientierten Bewirtschaftungsstrategie der Grundwasserressourcen sollte nur die Menge Grundwasser entnommen werden, bei der keine unerwünschten Folgen auf das Grundwassersystem resultieren. Diese maximale Grundwassermenge wird auch als nutzbares Grundwasserdargebot bezeichnet, es ist in jedem Fall kleiner als die gesamte Grundwasserneubildung im betrachteten System. Als wichtige Indikatoren für eine nachhaltige Nutzung des Grundwasserdargebotes müssen deshalb die Grundwasserneubildung sowie die Entnahmen für öffentliche Wasserversorgung und Landwirtschaft quantitativ bekannt sein. Sinkt zum Beispiel die Grundwasserneubildung aufgrund eines Klimawandels ab, so verringert sich auch das nachhaltig nutzbare Grundwasserdargebot.

Simulationen mit mGROWA

Vor diesem Hintergrund wurden die möglichen Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Grundwasserdargebot in der Lüneburger Heide regional differenziert ermittelt. Dies erfolgte basierend auf Simulationen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA (Herrmann et al., 2013), in welches das Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAB (Engel et al., 2012) integriert ist. Mit mGROWA können der zeitlich variable Wassergehalt in den Böden, die auf Basis dieses Wassergehaltes und der klimatischen Bedingungen stattfindende Verdunstung, die Sickerwasserbewegung sowie auch die Grundwasserneubildung und weitere Abflusskomponenten simuliert werden. mGROWA ist insbesondere für die Simulation dieser Wasserhaushaltsgrößen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung auf Landesebene konzipiert worden. Die Simulationen können über sehr lange Zeiträume (hydrologische Perioden >30 Jahre) auf Basis beobachteter oder projizierter Klimadaten durchgeführt werden. Abbildung 4.1.1 zeigt links die langjährige mittlere Grundwasserneubildung

(1971 - 2000) in der Lüneburger Heide, wie sie mithilfe des Modells mGROWA ermittelt wurde. Die gezeigten Grundwasserneubildungswerte bilden schon heute eine wichtige Datengrundlage für das Grundwassermanagement, z. B. als Entscheidungsunterstützung bei der Wasserrechtsvergabe. Unter den Klimabedingungen der jüngeren Vergangenheit wurden im gebietsweiten Mittel ca. 180 mm/a Grundwasser neu gebildet. Deutlich sichtbar gibt es im Modellgebiet Lüneburger Heide sogenannte Neubildungsgebiete mit Grundwasserneubildungshöhen größer als 200 mm/a. Neben diesen gibt es jedoch auch eine Vielzahl von kleineren sogenannten Entlastungsgebieten. Diese Gebiete befinden sich meist in den Auen entlang des Gewässernetzes. Sie sind durch geringe Flurabstände des Grundwassers gekennzeichnet. Auf diesen Standorten kann Grundwasser kapillar bis in die Wurzelzone aufsteigen und steht damit für die Verdunstung zur Verfügung. Dieser Prozess der Grundwasserzehrung findet vorwiegend im Sommerhalbjahr statt. Im Winterhalbjahr wird auch auf diesen Standorten Grundwasser neu gebildet. Ist die Jahressumme aus neu gebildetem und gezeirtem Grundwasser negativ, spricht man von Grundwasserzehrgebieten (rot dargestellt).

Um eine Vorstellung über die sich zukünftig möglicherweise neu bildenden Grundwassermengen zu bekommen, können mGROWA-Simulationen mit den Ergebnissen verschiedener Klimamodelle als Modellinput durchgeführt werden. Als Klimaantrieb können zum Beispiel die Ergebnisse des statistischen Modells WETTREG (Spekat et al., 2007) oder des dynamischen Modells REMO (Jacob et al, 2008) dienen. Für die mGROWA-Simulationen werden die Klimaelemente „Niederschlag“ und „Gras-Referenzevapotranspiration“ benötigt. Die Gras-Referenzevapotranspiration wird aus den durch die Klimamodelle projizierten täglichen bodennahen Klimaparameter Temperatur, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchtigkeit und Luftdruck berechnet. Derzeit resultiert aus den verschiedenen Klimamodellen für die Lüneburger Heide eine Bandbreite möglicher zukünftiger Entwicklungen. Die verschiedenen Klimamodelle projizieren zumeist einen Rückgang der Niederschläge für die Sommermonate, demgegenüber sollen die Niederschläge im Herbst, Winter und Frühjahr ansteigen (s. auch Kapitel 3). Allen Modellen gemeinsam ist ein signifikanter Temperaturanstieg bis zum Ende des Jahrhunderts insbesondere im hydrologischen Winterhalbjahr. Dieser Temperaturanstieg ist von zentraler Bedeutung für den Landschaftswasserhaushalt. Zum einen wird während der Vegetationsperiode aufgrund der höheren Temperaturen zukünftig wahrscheinlich mehr Wasser verdunstet und damit der Bodenwasserspeicher schneller geleert, als dies bei heutigen Temperaturverhältnissen der Fall ist. Dies kann häufiger als in der Ge-

genwart zu einem erhöhten Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft führen. Zum anderen wird auch während der eigentlichen Grundwasserneubildungsperiode im Spätherbst und Winter mehr Wasser verdunstet und steht damit nicht mehr für die Grundwasserneubildung zur Verfügung. Inwieweit diese höhere Verdunstung in den Herbst- und Wintermonaten durch höhere Niederschläge ausgeglichen wird, ist entscheidend dafür, ob im Modellgebiet die Grundwasserneubildung zukünftig zu- oder abnimmt.

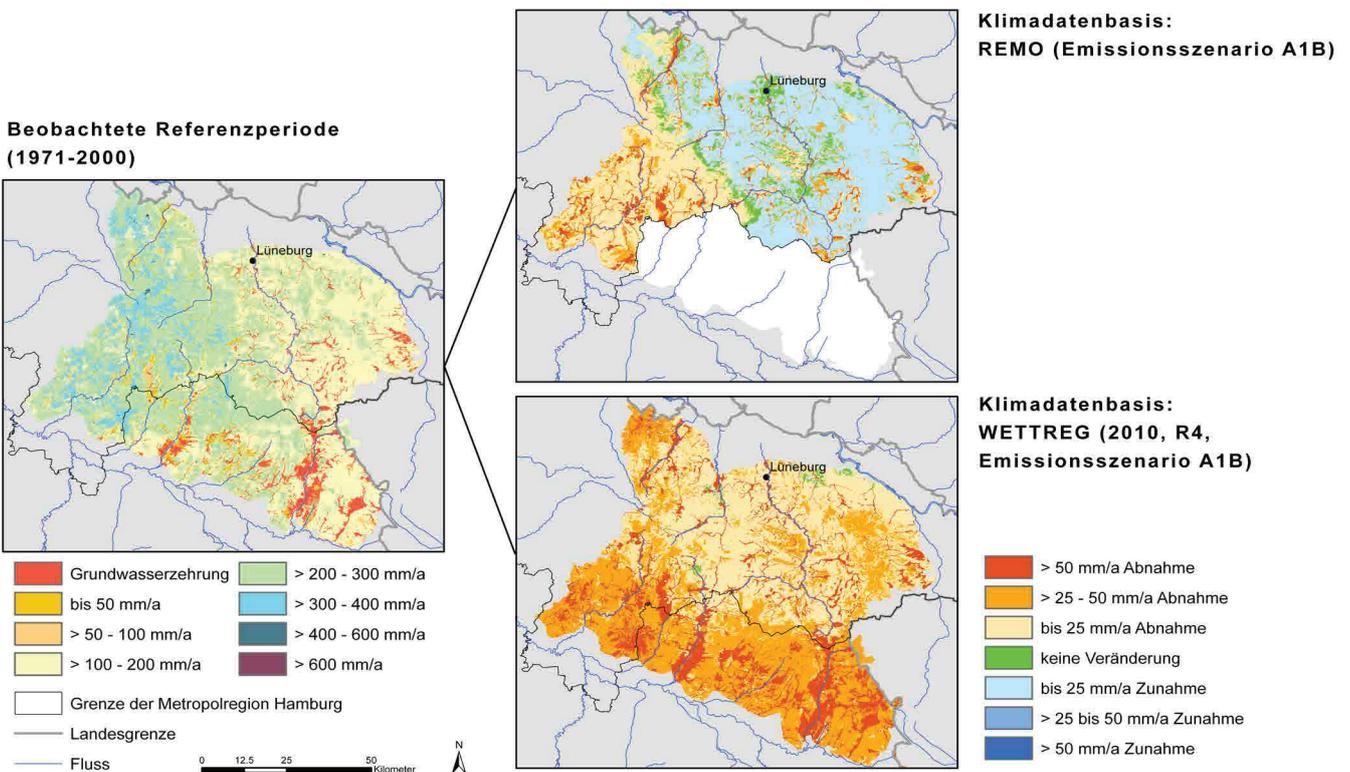
In der Abbildung 4.1.1 sind rechts die möglich erscheinenden Veränderungen gegenüber der Referenzperiode mit bekanntem Klima zu sehen. Die Simulationsergebnisse des Modells REMO (Emissionsszenario A1B Realisierung 1, s. Kapitel 3) führen als Klimainput im Modell mGROWA in der hydrologischen Periode 2071 - 2100 zu einem insgesamt leichten Rückgang der Grundwasserneubildung um ca. 10 mm/a, wobei in einigen Teilen der Lüneburger Heide ein Anstieg und in anderen Teilen eine Abnahme der Grundwasserneubildung projiziert wird. Die Simulationsergebnisse des Modells WETTREG (2010, Realisierung 4, Emissionsszenario A1B) führen hingegen als Klimainput im Wasserhaushaltsmodell zu einem flächendeckenden Rückgang der Grundwasserneubildung um ca. 41 mm/a am Ende des Jahrhunderts gegenüber dem beobachteten Referenzzeitraum.

Schlussfolgerungen aus den Simulationen

Deutlich sichtbar sind die beträchtlichen Unterschiede in den beiden gezeigten Projektionen des Wasserhaushalts in die Zukunft. Aufgrund des heutigen Kenntnisstandes und den Möglichkeiten, zukünftiges Klima zu simulieren, kann keine Aussage gemacht werden, welche der gezeigten Entwicklungen wahrscheinlicher ist. Beide möglichen Entwicklungspfade des Wasserhaushalts sind mit beträchtlichen Unsicherheiten verbunden und sollten deshalb für sich alleine genommen als Datenbasis noch nicht für die Umsetzung konkreter regionsspezifischer Adaptionstrategien oder für umfangreiche lokale Investitionen in die Anpassung an einen durch den Klimawandel veränderten Wasserhaushalt herangezogen werden.

Auf Basis der bisher durchgeführten Simulationen zeichnen sich jedoch zwei generell mögliche zukünftige Entwicklungswege ab. Auf dem einen Entwicklungsweg reicht die zukünftig im Winter neu gebildete Menge Grundwasser lokal aus, um einen erhöhten Wasserbedarf für die Feldberegnung während der Vegetationsperiode zu decken, die öffentliche Wasserversorgung sicherzustellen und den Grundwasservorrat insgesamt zu erhalten. Das zukünftige gewinnbare Grundwasserdargebot wird demnach durch die Wasserwirtschaft nicht vollständig ausgeschöpft.

Möglich erscheinende Veränderung der jährlichen Grundwasserneubildung in der zukünftigen hydrologischen Periode 2071-2100 gegenüber der Gegenwart



Simulation des Wasserhaushalts mit dem Modell mGROWA (Herrmann et al., 2013) des Forschungszentrums Jülich GmbH

Abb. 4.1.1: Zwei möglich erscheinende Entwicklungen, wie sich die jährliche Grundwasserneubildung in der zukünftigen hydrologischen Periode 2071 - 2100 gegenüber der Gegenwart verändern könnte.

In diesem Fall sind jedoch weitere Investitionen in effiziente technische Infrastruktur notwendig sowie weiterhin eine umfassende Regulierung und eine am Prinzip der Nachhaltigkeit orientierte Vergabe der Wasserrechte durch die entsprechenden Behörden empfehlenswert.

Auf dem anderen Entwicklungsweg sinkt die Grundwasserneubildung derart ab, dass die Wasserversorgung der Bevölkerung und der erhöhte Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft nicht mehr nachhaltig aus den Grundwasserleitern im Modellgebiet Lüneburger Heide gedeckt werden können. Das gewinnbare Grundwasserangebot wird mehr als ausgeschöpft und die Grundwasservorräte nehmen ab. Dies führt zu zusätzlichen Verteilungskonflikten. Um diesen zu begegnen, müssten einerseits entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen geschaffen werden und andererseits die realistisch verteilbaren Wassermengen exakt bekannt sein.

Für beide möglichen Entwicklungswege können zukünftige Wasserhaushaltssimulationen, z. B. mit dem Modell mGROWA, eine wichtige Informationsbasis für die Entscheidungsprozesse liefern. Wir empfehlen deshalb, nachfolgend auf zukünftige neue und verbesserte Klimaprojektionen auch entsprechende Simulationen zum Einfluss auf den Landschaftswasserhaushalt durchzuführen. Nur durch die sukzessive Verbesserung der Simulationstechnik (insbesondere der Klimamodelle) kann den derzeit bestehenden Unsicherheiten begegnet werden. In einem ersten Schritt sollte deshalb eine erweiterte Ensemble-Simulation auf Basis aller verfügbaren Klimamodellergebnissen durchgeführt werden. Damit kann die Bandbreite möglicher Entwicklungswege besser erfasst und auch der Einfluss von Extrem-Szenarien auf die Grundwasserneubildung bewertet werden.

Im Laufe dieses Jahrhunderts wird es wahrscheinlich beträchtliche Veränderungen der Vegetation im Modellgebiet Lüneburger Heide geben, z. B. durch Waldumbau oder durch Intensivierung des Anbaus von Feldfrüchten zur Erzeugung regenerativer Energie. Zukünftige Projektionen des Wasserhaushalts sollten demzufolge unter Zugrundelegung verschiedener Landnutzungsszenarien durchgeführt werden.

Außerdem bestehen derzeit noch Unsicherheiten bezüglich der Datengrundlagen, die für großräumige Wasserhaushaltssimulationen benötigt werden. So sind zum Beispiel nicht flächendeckend die tatsächlichen Grundwasserentnahmen der verschiedenen Nutzer in einem Kataster zusammengefasst und verfügbar. Diese Daten würden jedoch helfen, auch die Simulation des gesamten Wasserhaushalts und damit der Grundwasserneubildung weiter zu präzisieren. Eine solche Verbesserung der Datenbasis ist bereits im Rahmen der „Empfehlung für eine niedersächsische Klimaanpassungsstrategie“ der Regierungskommission Klimaschutz des Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz des Landes Niedersachsen vorgesehen (Regierungskommission Klimaschutz, 2012). Denn nur bei genauer Kenntnis der natürlichen und durch menschliche Aktivität initiierten Wasserströme im Modellgebiet Lüneburger Heide kann zukünftig eine faire und effiziente Verteilung des verfügbaren Grundwasserangebot unter Nachhaltigkeitsaspekten erfolgen.

4.1.2 Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Bodenwasserhaushalt sandiger Ackerböden; Modellierungen im lokalen Maßstab

Karin Schmelmer, Brigitte Urban

Gegenstand und Zielsetzung

Durch die Auswirkungen des Klimawandels werden Projektionen über die zukünftige Entwicklung des Bodenwasserhaushaltes von ackerbaulich genutzten Böden erforderlich. Dies betrifft einerseits die künftige Beregnungsbedürftigkeit von Feldfrüchten und andererseits die Grundwassernutzung für die Feldberegnung. Die im Modellgebiet weit verbreiteten Sandböden sind aufgrund ihres geringen Wasserspeichervermögens von der zu erwartenden zunehmenden Sommertrockenheit besonders betroffen. Daher behandelt der vorliegende Beitrag die mögliche Entwicklung bodenhydrologischer Kenngrößen am Beispiel eines einzelnen Ackerstandortes, nachdem mögliche regionale Entwicklungstendenzen für die Gesamtregion in Kapitel 4.1.1 diskutiert werden. Der Indikator für die Beregnungsbedürftigkeit ist ein Bodenwassergehalt unterhalb eines bestimmten Grenzwertes. Dies sind üblicherweise die Werte 50 %

und 40 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) für eine optimale bzw. reduzierte Beregnung. Ein wesentliches Ziel war es daher, mithilfe von Computersimulation und Klimaprojektionsdaten eine Abschätzung der Anzahl von Tagen pro Jahr mit Bodenwassergehalten unterhalb dieser Grenzwerte bis zum Jahr 2100 vorzunehmen. Dabei ist ihre Verteilung auf die einzelnen Monate von großer Bedeutung. Außerdem wurde die Entwicklung der Sickerwassermengen geschätzt, die zur Grundwasserneubildung beitragen können.

Messungen und Modellierung mit CANDY und SWAP

Von 2010 bis 2012 wurden auf dem Versuchsfeld Hamerstorf (s. Kap. 4.2.3) der Bodenwassergehalt und die Bodentemperatur in verschiedenen Bodentiefen kontinuierlich elektronisch erfasst (Abb. 4.1.2a). Es zeigte sich, dass die Bodenwassergehalte oft schon im Frühjahr stark absanken (Abb. 4.1.2b). Alle Messwerte wurden in das Computermodell CANDY (CARbon and Nitrogen DYnamics, Franko 1995) eingespeist, das die Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik in Ackerböden abbildet. Grundlage der Berechnung aller stofflichen Prozesse ist die Simulation des Bodenwasser- und Bodenwärmehaushaltes. Neben dem Bodenwassergehalt berechnet CANDY die potenzielle und die tatsächliche Evapotranspiration sowie die Sickerwassermenge. Als Sickerwasser wird hier das Bodenwasser bezeichnet, das in 2 m Bodentiefe dem Grundwasser zufließt. CANDY braucht als Eingangsdaten neben Angaben zur Bewirtschaftung des Ackerschlag es die Wetterdaten für den Standort und Parameter, die den Aufbau des Bodenprofils beschreiben. Für die Simulationen wurde die Getreidefruchtfolge (Winterweizen, Wintertriticale, Winterroggen) des Düngeversuchs am Versuchsstandort Hamerstorf verwendet (s. Kap. 4.2.3) und die Ertragsdaten der nicht berechneten und der optimal berechneten Versuchsvariante in das Modell eingegeben. Als Klimadaten dienten die REMO-Simulation Szenario A1B_1 für die Projektionszeiträume 2036 - 2065 und 2071 - 2100 und die REMO-Simulationen C20_1 für die Referenzperiode 1971 - 2000 (vgl. Kap. 3). Es wurden die Daten für ein Areal von 30x30 km um den Versuchsstandort Hamerstorf genutzt. Zwischen Niederschlagsmesswerten der DWD-Stationen für die Referenzperiode 1971 - 2000 (DWD, 2009) und den REMO-Daten C20_1 wurde ein Vergleich der mittleren jährlichen Niederschlagsverteilung durchgeführt; ebenso erfolgte der Vergleich der entsprechenden CANDY-Simulationsergebnisse.

Da auch auf einem einzelnen Ackerschlag die Bodeneigenschaften kleinräumig sehr stark variieren können, wurden für die Simulationen zusätzlich zu den Bodendaten des Profils Hamerstorf die Bodendaten neun weiterer sandiger Ackerböden verwendet. Zwar sind diese Böden nicht repräsentativ für das gesamte Modellgebiet, ihre Porenraumverteilung und damit ihr Wasserspeichervermögen deckt aber ein für die Böden der Region typisches Spektrum ab.

Bei allen Simulationsläufen wurden also die Bewirtschaftungs- und die Wetterdaten für Hamerstorf eingesetzt und nur die physikalischen Bodenparameter variiert. Ziel war es, ihren alleinigen Einfluss auf die Simulationsergebnisse zu bestimmen und Bandbreiten für die zu schätzenden Kenngrößen der Bodenfeuchte und der Sickerwasserbildung zu erhalten. Die Angabe von Bandbreiten erhöht die Belastbarkeit von Simulationsergebnissen, indem die kleinräumige Heterogenität von Böden berücksichtigt wird. Bei den genutzten zusätzlichen Bodendaten handelt es sich um Untersuchungsergebnisse mehrerer sandiger Ackerstandorte aus Nordost-Niedersachsen (vgl. Kap. 4.2.1).

Andererseits wurden mit dem Modell SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plant, Kroes et al., 2008) Simulationen zur künftigen Sickerwasserrate im Hinblick auf die Grundwasserneubildung durchgeführt. SWAP bildet die verschiedenen Arten der Wasserbewegung im Boden bis in große Tiefen ab und errechnet die Wasserflüsse als Funktion des Grundwasserstandes. Die Schnittstelle zwischen CANDY und SWAP ist die Sickerwasserbildung, deren simulierte Werte miteinander zu vergleichen sind.



Abb. 4.1.2a: Messsonden zur Erfassung des Bodenwassergehaltes (K. Schmelmer)

Wassergehalt des Oberbodens - optimal beregnet und nicht beregnet, 2010

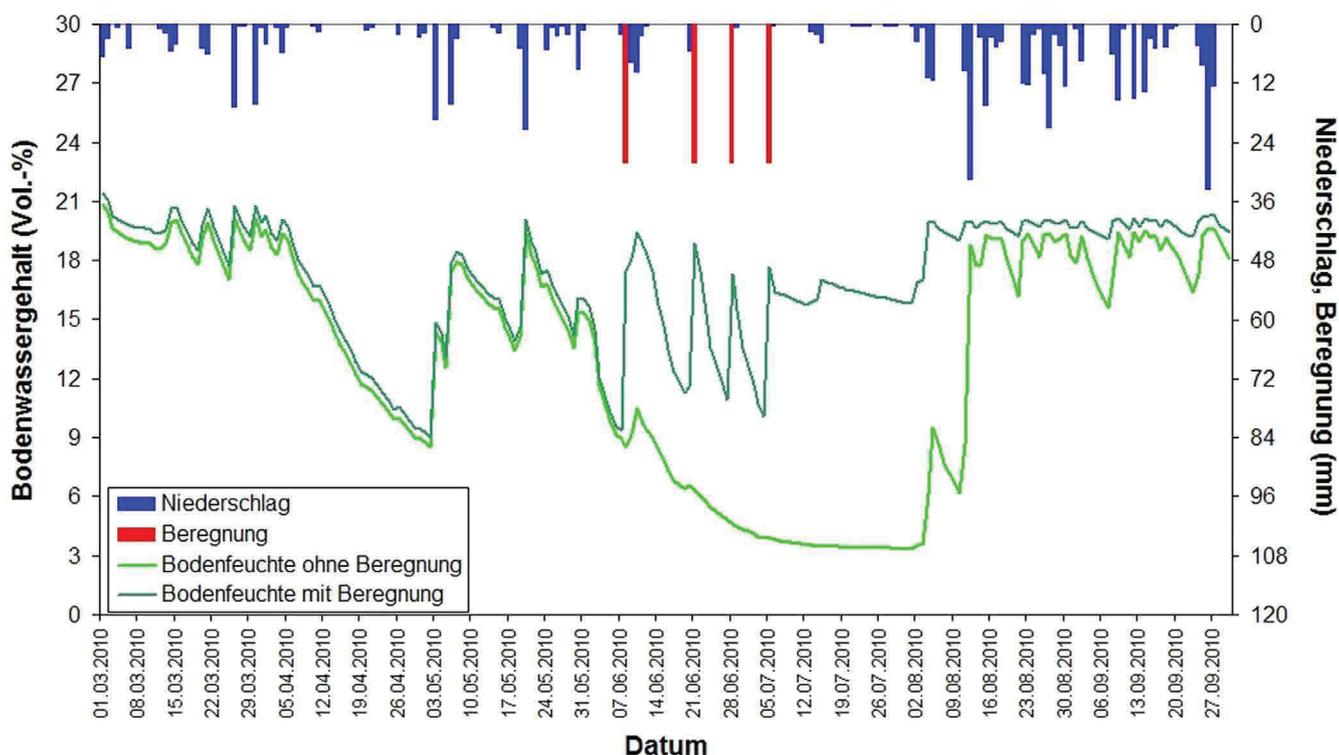


Abb. 4.1.2b: Zeitlicher Verlauf des Bodenwassergehaltes im Oberboden am Versuchsstandort Hamerstorf, Vegetationsperiode 2010, CANDY-Simulationen

Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt: Sickerwasser, Grundwasser und pflanzenverfügbares Wasser

Die Analyse der REMO-Projektionsdaten für das Untersuchungsgebiet bis zum Jahr 2100 zeigt einen stetigen Anstieg der Lufttemperatur. Die Erwärmung wird besonders stark für die Wintermonate projiziert (vgl. Kap. 3). Mit CANDY wurde dementsprechend eine steigende potenzielle Evapotranspiration und außerdem ein abnehmender mittlerer jährlicher Bodenwassergehalt ermittelt. In der Folge verändert sich auch der Jahresgang der Sickerwasserbildung. Entsprechend der jahreszeitlichen Verschiebung der Niederschläge werden die Sommermonate zunehmend trockener. Gegen Ende des Jahrhunderts führt dies zu häufigen, bis in den Herbst reichenden Phasen mit niedrigen Bodenwassergehalten und fehlender Sickerwasserbildung. Die von den bodenphysikalischen Eigenschaften der Sandböden bestimmte Bandbreite der mittleren monatlichen Sickerwassermengen ist deutlich ausgeprägt (Abb. 4.1.3). Die Böden mit einer höheren Feldkapazität können aufgrund einer günstigen Porengrößenverteilung mehr Wasser gegen die Schwerkraft halten. Dies bedingt eine höhere Verdunstung und es entsteht weniger Sickerwasser. Als maximale Werte der Bandbreite errechnet CANDY Unterschiede von etwa 15 mm zwischen einzelnen Böden, jeweils für die Monate Februar und März.

Auch das SWAP-Modell errechnet abnehmende Sickerwassermengen im Sommer und zunehmende in allen übrigen Jahreszeiten. Der Vergleich der Ergebnisse für den Projektionszeitraum 2071 - 2100 ergibt jedoch quantitative Unterschiede zwischen CANDY und SWAP,

die auf die für die Simulation genutzten Klimaprojektionsdaten zurückzuführen sind: Bei der Interpretation der hier diskutierten Simulationsergebnisse sind Abweichungen zwischen den Klimamesswerten des DWD und den Klimasimulationsdaten des entsprechenden Zeitraums zu berücksichtigen. So weisen die simulierten Niederschlagsdaten REMO_C20_1 für den Referenzzeitraum 1971 - 2000 im Mittel höhere Werte für Frühjahr und Sommer, geringere Werte für Herbst und Winter sowie eine insgesamt geringere Niederschlagsintensität im Vergleich zu den Messwerten auf (unter Berücksichtigung aller Niederschläge: 35 % mehr Regentage und 22 - 26 % weniger Niederschlag pro Regentag bei gleichem mittleren Jahresniederschlag). Für die SWAP-Modellierung wurde diese mittlere jährliche Abweichung rechnerisch ausgeglichen, wodurch höhere Werte für die mittlere jährliche Sickerwassermenge ermittelt wurden. Im Vergleich zur Gegenwart wird auch eine Zunahme der Grundwasserneubildung errechnet (Stöfen, 2011). Mit CANDY kann die Grundwasserneubildung nicht berechnet werden.

Den Simulationsergebnissen mit CANDY zufolge nimmt die Bodentrockenheit in den 2020er- und 2030er- Jahren gegenüber der aktuellen Dekade deutlich zu. In den 2040er-Jahren entspannt sich die Situation vorübergehend. Eine besonders starke Zunahme an Tagen mit $nFK < 50\%$ wird nach 2070 erwartet. Die Anzahl der Tage mit $nFK < 40\%$ und mit $nFK < 50\%$ im Oberboden (0 - 30 cm Tiefe) steigt entsprechend der Projektion bis zum Ende des Jahrhunderts um 44 % bzw. 42 % gegenüber der

Bandbreiten der mittleren monatlichen Sickerwassermengen

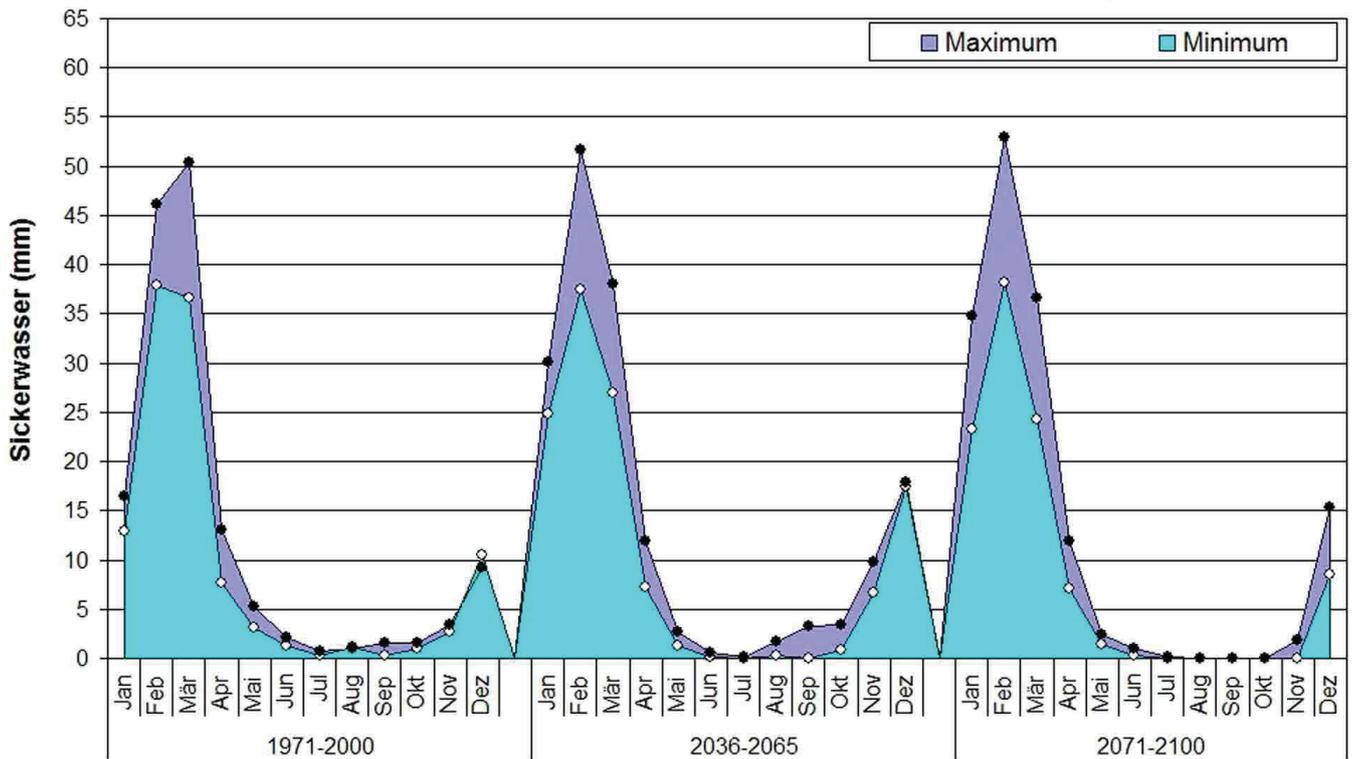


Abb. 4.1.3: Bandbreiten der für zehn untersuchte Sandbodenprofile mit CANDY errechneten mittleren monatlichen Sickerwassermengen; Referenzzeitraum 1971 - 2000 (REMO_C20_1) sowie Projektionszeiträume 2036 - 2065 und 2071 - 2100 (REMO_A1B_1)

Bandbreiten der mittleren monatlichen Tagesanzahl mit nFK <50%

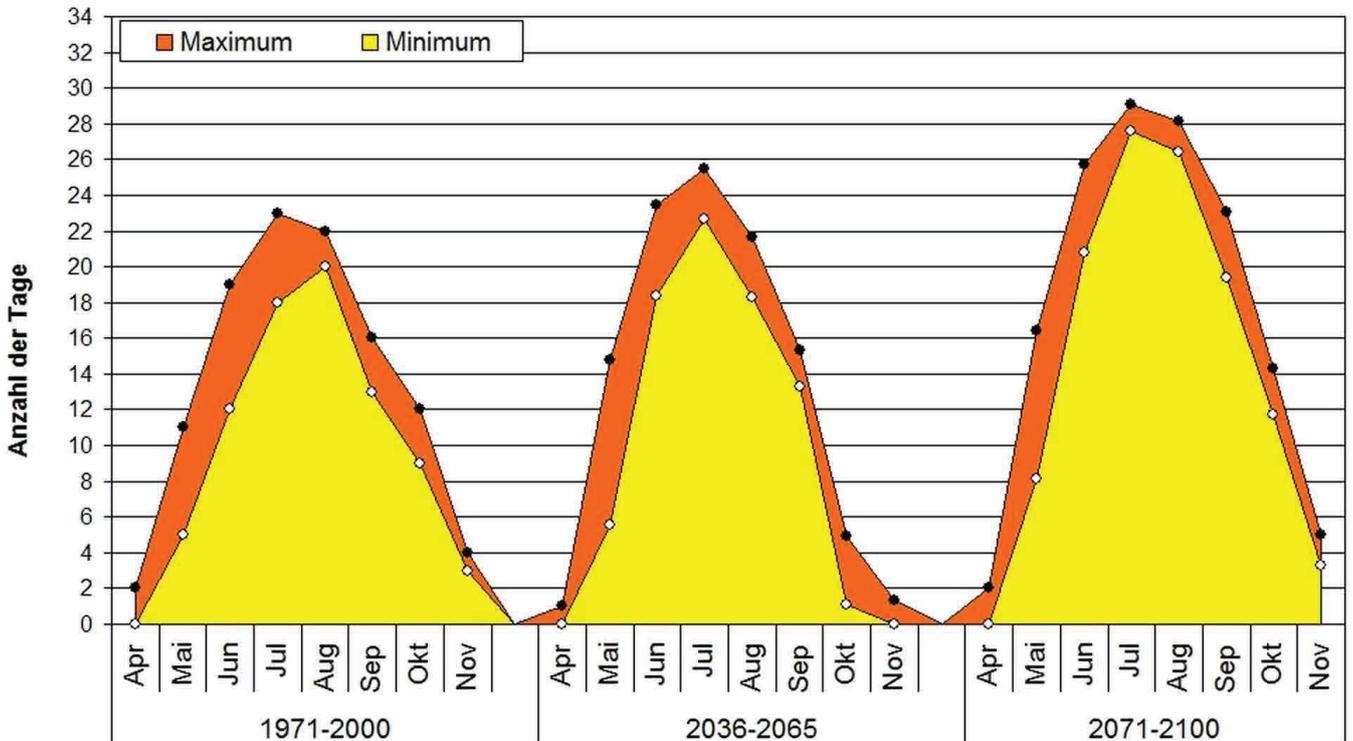


Abb. 4.1.4: Bandbreiten der für zehn untersuchte Sandbodenprofile mit CANDY errechneten mittleren monatlichen Anzahl an Tagen mit nFK < 50 % in der Tiefe 0-100 cm; Referenzzeitraum 1971-2000 (REMO_C20_1) sowie Projektionszeiträume 2036-2065 und 2071-2100 (REMO_A1B_1)

aktuellen Dekade. Für den effektiven Wurzelraum (0 - 100 cm) gilt eine Zunahme um 67 % bzw. 69 %. Den CANDY-Simulationsergebnisse zufolge wird im Verlauf des Jahrhunderts der Unterboden zunehmend stärker von Trockenheit betroffen sein als der Oberboden. Als Ursache können kleinere Niederschlagsereignisse be-

trachtet werden, die zwar den Oberboden befeuchten, für die Befeuchtung des Unterbodens jedoch zu gering sind. Die mittlere Verteilung der Tage mit nFK < 50 % auf die Monate zeigt für den Projektionszeitraum 2036 - 2065 eine deutliche Zunahme im Juni und Juli im Vergleich zur Referenzperiode 1971 - 2000 (Abb. 4.1.4). Für 2071

- 2100 wird eine Zunahme in allen Monaten berechnet, wobei besonders im Spätsommer die Bodentrockenheit stark ansteigt. Dies ist kongruent mit der entsprechenden projizierten Abnahme der Sickerwassermengen (vgl. Abb. 4.1.3). Eine erhöhte Spätsommer- und Herbsttrockenheit kann für den Anbau von Wintergetreide und Zwischenfrüchten künftig von Bedeutung sein.

Für die Referenzperiode 1971 - 2000 ergaben die CANDY-Simulationen angetrieben mit den REMO-Wetterdaten eine um 14 % erhöhte mittlere Anzahl an Tagen pro Jahr mit $n_{FK} < 50\%$ in 0 - 100 cm Tiefe und eine um rund 4 % erhöhte Anzahl für den Oberboden im Vergleich zu den Simulationen mit den DWD-Wetterdaten. Diese Unterschiede sind auf die bereits erwähnte verschiedene mittlere jährliche Niederschlagsverteilung beider Datensätze zurückzuführen. In der Folge wird das Ausmaß der Bodentrockenheit für Projektionszeiträume möglicherweise etwas überschätzt.

4.1.3 Pilotprojekt Quellenschutz durch Waldumbau

Elisabeth Schulz

Unter Laubwald ist die jährlich neu gebildete Grundwassermenge deutlich höher als unter Nadelwald (Rust et al. 2008). Dieser Effekt könnte genutzt werden, um grundwasserabhängige Biotope vor Auswirkungen des Klimawandels zu schützen oder um die Grundwasservorräte und damit die Wasserverfügbarkeit z.B. für die landwirtschaftliche Bewässerung (Feldberegnung) zu erhöhen. Im Rahmen eines Pilotprojektes im Südosten der Metropolregion soll die Umsetzbarkeit dieser Strategie erprobt und demonstriert werden.

Über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Bildung neuen Grundwassers in der Metropolregion herrscht große Unsicherheit. Bei steigenden Temperaturen und einer Verlagerung der Niederschläge in die Wintermonate ist jedoch eine höhere Wassernachfrage wahrscheinlich. Die Ergänzung der Grundwasservorräte der Region erfolgt überwiegend im Winterhalbjahr als Folge der geringen Verdunstung von Pflanzen und Böden. Die Neubildung steht im Gleichgewicht mit der Abgabe von Grundwasser an grundwassergespeiste Biotope (Quellen und Bäche, (Bagger-)Seen und Moore). Diese werden jeweils aus einem spezifischen unterirdischen Grundwassereinzugsgebiet gespeist. Im Süden und Südosten der Metropolregion werden neben einer umfangreichen Trinkwasserförderung auch erhebliche Grundwassermengen durch die Feldberegnung verbraucht. In der Vergangenheit wurde deshalb vermutet, dass das regelmäßige sommerliche Trockenfallen lokaler Bachoberläufe hierdurch verursacht würde (s. u.).

Nordost-Niedersachsen ist - aus historischen Gründen - durch Kiefernmonokulturen ähnlicher Altersstruktur geprägt. Diese befinden sich jetzt in einem Alter, in welchem häufig von den Eigentümern Maßnahmen zur Neuausrichtung der Artenzusammensetzung veranlasst werden, sodass gute Voraussetzungen für einen grundwasserorientierten

Fazit

Die Simulationsergebnisse weisen für den Zeitraum 2071 - 2100 in Abhängigkeit von den projizierten Niederschlägen eine Änderung der mittleren jährlichen Sickerwassermengen von +1,3 % bis -19 % gegenüber der aktuellen Dekade (2011 - 2020) aus. Diese Bandbreite verdeutlicht den Einfluss der Bodeneigenschaften auf den Wasserhaushalt eines Standortes. Die Beregnungsbedürftigkeit von Feldfrüchten wird insgesamt zunehmen, wobei sich die Bodentrockenheit weiter in das Frühjahr und auch in den Herbst ausdehnen wird. Durch die projizierte Verschiebung der Niederschlagsverteilung mit mehr Niederschlag im Frühjahr, Herbst und Winter wird trotz zunehmender Evapotranspiration mit einem Anstieg der Grundwasserneubildung zu rechnen sein.

Waldumbau in der Region bestehen. Aus ökonomischen Gründen ist dem Unterbau von jungen Douglasien der Vorrang zu geben. Dagegen sollte zur Minimierung des forstlichen Risikos im Hinblick auf den Klimawandel sowie zur Erhöhung der Grundwasserneubildung der Umbau zu laubholzbetonten Mischwäldern erfolgen. Dabei sollte auch erforscht werden, ob in der Region bisher wenig erprobte Baumarten und Saatgut aus trockeneren Gebieten beigemischt werden sollten.

Ursprüngliches Ziel

Das Ziel des Pilotprojektes Waldumbau war, exemplarisch im Grundwassereinzugsgebiet eines ausgesuchten Bachoberlaufs Förster und Waldeigentümer ausfindig zu machen, die bereit sind, einen klimawandelgerechten, grundwasserbetonten Waldumbau vorzunehmen, um die Wasserversorgung des Biotops zu verbessern.

Diese Strategie eines maßgeschneiderten Biotopschutzes scheiterte jedoch aus zwei „technischen“ Gründen. In einem parallelen hydrogeologischen Forschungsvorhaben, mit dem kooperiert wurde, stellte sich als Ergebnis heraus, dass erstens wegen der (eiszeitlich bedingt) sehr wechselhaften hydrogeologischen Untergrundverhältnisse die dreidimensionalen unterirdischen Einzugsgebiete grundwasserabhängiger Biotope in der Praxis nicht zuverlässig bestimmt werden können. Es wurde auch deutlich, dass die untersuchten trockenfallenden Bachoberläufe aus örtlich begrenzten Grundwasservorkommen („schwebende Grundwasserleiter“) gespeist werden, welche im Verlauf des Sommerhalbjahrs natürlicherweise „leerlaufen“, während die Grundwasserförderung aus tieferliegenden Grundwasserstockwerken erfolgt.



Abb. 4.1.5: Kiefernwald und Kiefernwald mit Buchenunterbau (H. Pöhler, J. Scherzer)

Zweitens zeigte sich, dass das Sickerwasser in den Nadelwaldgebieten der Region vielfach direkt den tieferen Grundwasserstoffwerken zufließt, statt - wie zuvor angenommen - in die Bachoberläufe. In deren näherem Umfeld fehlt dagegen der Nadelwald.

Angepasster Versuchsaufbau

Vor diesem Hintergrund wurde der Waldumbau schließlich biotopunabhängig umgesetzt, um die angestrebten weiteren Ziele zu erreichen: einerseits die Erprobung und Demonstration vermutlich klimawandelrobuster, bisher selten gepflanzter Baumarten, andererseits die Ermittlung und Förderung der Akzeptanz des grundwasserorientierten Waldumbaus. In einem Trinkwassergewinnungsgebiet im Landkreis Lüchow-Dannenberg wurden auf unterschiedlichen Standorten insgesamt ca. 11 Hektar Nadelwald (Alter 60 -100 Jahre) behutsam ausgedünnt (ausgelichtet) und mit verschiedenen Baumartenmischungen (Traubeneiche,

Roteiche, Sandbirke, Winterlinde, Esskastanie, Spitzahorn, Hainbuche sowie auch Douglasien) unterpflanzt. Die tatsächliche Veränderung der Grundwasserneubildung soll dort zukünftig langfristig auf drei verschiedenen Monitoringparzellen durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen mithilfe einer Tensiometeranlage und einer Saugkerzenanlage erfasst werden.

Um bessere Kenntnisse über die Wirkung eines großflächigen Waldumbaus zu erhalten, wurden parallel - durch die Kombination eines forstwirtschaftlichen Wachstumsmodells mit einem Grundwassermengenmodell - die vermutlichen Grundwasserneubildungsmengen im Privatwald der östlichen Lüneburger Heide in Abhängigkeit von verschiedenen Baumartenszenarien und Klimaszenarien modelliert (Pöhler et al., 2013). Außerdem wurden Konzepte zur Umsetzung des grundwasserbetonten Waldumbaus bearbeitet und mit den verantwortlichen wasserwirtschaftlichen und hydrogeologischen Fachbehörden in Niedersachsen erörtert.

Ausblick

Der Waldumbau ist als eine infrastrukturelle Maßnahme für ein zukünftiges Wassermanagement in die „Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (Regierungskommission Klimaschutz, 2012) eingeflossen. Im Rahmen dieses Pilotprojektes können für die Ostheide wichtige Grundlagendaten gesammelt werden. Die Wirksamkeit des Waldumbaus lässt sich nur über einen längeren Zeitraum abschätzen. Die Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung lassen sich über das Monitoring beobachten. Der forstwirtschaftliche Anreiz hängt vor allem von der Wuchsleistung der erprobten Baumarten an Versuchs-

standorten und unter den künftigen Klimabedingungen ab. Da in Nordost-Niedersachsen viele Landwirte gleichzeitig Waldbesitzer sind, kann bei steigendem Wasserbedarf für die Feldberegnung der Umbau von Nadelholzbeständen zu „Grundwasserwäldern“ auch aus landwirtschaftlicher Sicht attraktiv werden. Voraussetzung dafür ist die Anrechnung der durch den Umbau zusätzlich neu gebildeten Grundwassermenge auf die Entnahmeerlaubnisse für die Feldberegnung. Derzeit werden diese und weitere Fragestellungen auf Landesebene durch die Lenkungsgruppe „Zukunftsfähige Feldberegnung“ mit Akteuren aus Politik und Verwaltung diskutiert.

4.1.4 Bereitstellung von Beregnungswasser durch Klarwasserversickerung

Wibke Meyer, Elisabeth Schulz

Kann gereinigtes Abwasser kommunaler Kläranlagen eingesetzt werden, um die Wasserversorgung für die Beregnungslandwirtschaft oder den Schutz grundwasserabhängiger Biotope zu verbessern?

Periodische Trockenheiten und Dürren sowie die geringe Wasserspeicherfähigkeit der Böden prägen die Modellregion Lüneburger Heide. Daher hat die Landwirtschaft bereits Ende der 1950er-Jahre in Beregnung investiert und die Produktion darauf ausgerichtet. Der Beginn der Beregnungssaison (markiert durch die Aufzehrung der Bodenfeuchtigkeit aus dem Winterhalbjahr) hat sich vom Frühsommer inzwischen in das späte Frühjahr vorverlagert (siehe auch Kapitel 3). Auch der Bewässerungsbedarf zum Ende des Sommers bzw. im Herbst hat sich ausgeweitet. Im Klimawandel ist von einem weiter steigenden Bewässerungsbedarf auszugehen.

Die landwirtschaftliche Bewässerung in der Modellregion erfolgt überwiegend aus dem Grundwasser (zu einem geringeren Teil auch aus dem Elbe-Seitenkanal). Die im Winterhalbjahr stattfindende Auffüllung des Grundwasservorrats durch die Versickerung von Niederschlägen übersteigt die jährlichen Entnahmen (für Trink- und Brauchwasser und die Landwirtschaft) deutlich. Allerdings bewirkt die Grundwasserförderung (mit großer zeitlicher Verzögerung) eine Verringerung der Abflussmengen von Bächen und Flüssen. Aus Rücksicht auf den Schutz grundwasserabhängiger Biotope, insbesondere auf die Bäche (vgl. Kapitel 4.1.5) sind zukünftige Steigerungen der Grundwasserentnahmen nicht mehr überall möglich. Der pflanzliche und damit auch der landwirtschaftliche Wasserbedarf nehmen dagegen durch die steigenden Temperaturen zu; auch der Bodenwasservorrat nach Regenfällen verdunstet schneller (vgl. Kap. 4.1.2).

Suche nach Adaptionstrategien

Wegen des erwarteten klimawandelbedingt weiter zunehmenden landwirtschaftlichen Bewässerungsbedarfs (vgl. Kap. 4.1.2) suchen die unmittelbar Betroffenen – landwirtschaftliche Betriebe und Bewässerungsverbände – schon seit einer Dekade nach NoRegret-Anpassungsstrategien. Wegen der vergleichsweise großen Bedeutung des Ackerbaus und der vor- und nachgelagerten Betriebe für die wirtschaftsschwache Modellregion fanden diese Bemühungen in der Vergangenheit aktive Unterstützung durch die verantwortlichen Behörden (Wasser, Umwelt, Hydrogeologie, u. a.). Die Verbesserung der Wasserbereitstellung, soweit sie das aus landwirtschaftlicher Sicht Erforderliche übersteigt, dient im Sinne des NoRegret-Gedankens (LWK 2008) unmittelbar dem Schutz der Bäche durch Verbesserung ihrer – bereits heute problematischen – Niedrigwasserführung (vgl. Kap. 4.1.5).

Wasserbeschaffung durch Schließen des regionalen Wasserkreislaufs

In der Modellregion wird Trinkwasser ausschließlich aus Grundwasser, in der Regel aus tieferen Grundwasserleitern gewonnen. Nach seiner Benutzung und anschließenden Reinigung wird es über die örtlichen Bäche in die Nordsee geleitet. Ziel des KLIMZUG-NORD Pilotvorhabens „Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser in der Landwirtschaft“ ist, am praktischen Beispiel herauszufinden, unter welchen Bedingungen stattdessen der regionale Wasserkreislauf geschlossen werden und so das Wasserdargebot erhöht werden kann. Die Ergebnisse der zentralen Fragestellungen technische Machbarkeit, Akzeptanz, rechtliche Rahmenbedingungen und Kosten-Nutzen-Verhältnis sowie Finanzierungsmöglichkeiten werden in einem Leitfaden für spätere Projekte zusammengefasst.

Umsetzung des Pilotvorhabens Klarwasserwiederverwendung

Das ursprüngliche Konzept des Pilotvorhabens musste als Reaktion auf erste Ergebnisse und auf unvorhersehbare Ereignisse mehrfach angepasst werden. Die konzeptionellen Planungen begannen, nachdem in der Samtgemeinde Rosche (Landkreis Uelzen) ein teilnahmeberechtigtes kommunales Klärwerk sowie in geeigneter Nähe Beregnungsbetriebe ausfindig gemacht wurden und letztere ihre Bereitschaft zur Teilnahme an einer direkten Klarwassernutzung signalisiert hatten. In der ersten Fassung sollte die Klarwasserberegnung (ca. 350.000 m³) ergänzend zur herkömmlichen Grundwasserberegnung erfolgen, sodass den beteiligten Höfen mehr Wasser zur Verfügung steht. Für die Verteilung sollten die vorhandenen unterirdischen Rohrleitungssysteme und Entnahmehydranten genutzt werden.

Landwirtschaftlicher Beregnungsbedarf besteht nur im Sommerhalbjahr und ist hinsichtlich Zeitpunkt, Dauer und Menge von Jahr zu Jahr stark unterschiedlich. Gereinigtes Abwasser – sogenanntes „Klarwasser“ – fällt hingegen ganzjährig relativ gleichmäßig an (mit einem Minimum in den Sommerferien). Hieraus ergab sich die Erfordernis einer Zwischenlagerung des Klarwassers über mehrere Monate. Die sehr hohen Kosten für das erforderliche Speicherbecken sollten durch eine Kombination aus Eigenmitteln der Landwirte, KLIMZUG-NORD Projektmittel und Drittmittel der Europäischen Union bewältigt werden. Die potenzielle Belastung des Klarwassers mit bestandsgefährdenden landwirtschaftlichen Schaderregern des Kartoffelanbaus machte das Planen einer Einleiter-Selektion erforderlich, genauer gesagt, den Ausschluss kartoffelverarbeitender Betriebe. Für diese wurden Alternativen für deren Abwasserreinigung konzipiert. Konkrete rechtsähnliche Einschränkungen hinsichtlich der Sicherheit und Vermarktbarkeit ihrer landwirtschaftlichen Produkte bestehen für wenige Gemüse anbauende Höfe. Technische Einrichtungen zur ausschließlichen Versorgung solcher Flächen mit Frischwasser (Grundwasser) wurden konzipiert. Eine grundsätzliche Sorge gegenüber heute noch nicht absehbaren Haftungs- und Vermarktungsrisiken bestand aber dennoch bei fast allen teilnahmebereiten Landwirten ebenso für ihre nur nach technischer Verarbeitung verzehrbaren Produkte (Getreide, Zuckerrüben etc.). Nach den ersten positiven Ergebnissen hinsichtlich der Landwirtebeteiligung ergab sich im Projektverlauf die Möglichkeit, zusätzliche umfangreiche Klarwassermengen aus einem örtlichen Nahrungsmittelindustriebetrieb, der Zuckerfabrik Uelzen, übernehmen zu können. Die hieraus resultierende Verdünnung des kommunalen Klarwassers erhöhte die Akzeptanz der beteiligten Landwirte sehr. Die mit der Verwendung des Zuckerfabrik-Abwassers einhergehenden phytosanitären Risiken können und sollten durch eine mehrwöchige Lagerzeit des Wassers reduziert und in Verbindung mit Kontrollen durch das Pflanzenschutzamt gemanagt werden. Das während dieser Quarantäne-Wochen anfallende kommunale Abwasser sollte in einem grundwasserfernen Waldgebiet versickert werden, um so unmittelbar den Grundwasservorrat zu erhöhen. An grundwasserfernen Standorten fehlen

Quellbereiche, sodass das Risiko eines oberflächlichen oder oberflächennahen Abflusses des Wassers sinkt. Der Boden bietet ein ausreichendes Volumen, um die Versickerungsmenge aufzunehmen.

Diese Planungssituation brach schlagartig zusammen, als in genau dem Projektstadium ein Biobetrieb aus der Modellregion zum mutmaßlichen Ausgangspunkt einer Lebensmittelsicherheitskrise mit mehreren Todesfällen wurde, der sogenannten EHEC-Krise.

Es erfolgte eine komplette Neu-Konzipierung des Pilotprojekts. Danach wird das human-hygienisch unbedenkliche Zuckerfabrik-Abwasser (das überwiegend im Winterhalbjahr anfällt) nun in einem – ohne KLIMZUG-NORD-Mittel – demnächst zu errichtenden Speicherbecken zwischengelagert, phytosanitär kontrolliert und direkt in der landwirtschaftlichen Bewässerung eingesetzt. Das kommunale Abwasser hingegen wird stattdessen fast vollständig versickert. Nur wenn dieses technisch aufgrund längerer Starkfrostperioden nicht möglich ist, wird auf die konventionelle Einleitung in den lokalen Bach, die Wipperau, zurückgegriffen.

Durch Vernetzung mit Experten anderer Sektoren entstand nun ein völlig neuartiges Versickerungskonzept. Statt in vorhandenen Waldflächen sollte nun (in einer Höhe von 1.000 mm p.a., die entspricht 1.000 l/m² p.a.) auf langfristig angelegten, sogenannten Kurzumtriebsplantagen aus Pappeln und Weiden versickert werden. Diese sollten in mehrjährigen Abständen regelmäßig zur Gewinnung von Energieholz (Hackschnitzel) beerntet werden. Die versickerte Klarwassermenge sollte anschließend anteilig Landwirten zur Verfügung gestellt werden, die sich finanziell an dem Pilotvorhaben beteiligten.

Auf besonders großes Interesse unter fachgebietsnahen Wissenschaftlern und Firmen stieß die Frage der technischen Umsetzung der Klarwasserausbringung, die möglichst bodennah erfolgen und zugleich langfristig einsetzbar und mit wenig Personalaufwand ganzjährig zu betreiben sein sollte. Allerdings musste auch diese Planung kurz vor der Umsetzung aufgegeben werden. Die Bereitstellung der erforderlichen ca. 35 Hektar Ackerland in räumlichem Zusammenhang scheiterte entgegen den begründeten Erwartungen, mutmaßlich wegen der erforderlichen extrem langfristigen Flächenbindung über ca. 20 Jahre.

Schließlich wurde das anfänglich als Teilvorhaben konzipierte Modell einer Versickerung des kommunalen Klarwassers auf einem grundwasserfernen Waldstandort umgesetzt (Abb. 4.1.6). In den Anfangsjahren des Pilotvorhabens fehlte noch eine vielversprechende technische Lösung zur Ausbringung des Klarwassers. Denn die bis dato bekannte Tröpfchenbewässerungstechnik ist unter Forstbedingungen zu empfindlich. Erst nach umfangreicher Recherche fand sich ein hinreichend robustes Verteilsystem. Die Bereitschaft von privaten Waldeigentümern zur Bereitstellung geeigneter, grundwasserferner Waldstandorte (ca. 20 m Grundwasserflurabstand) hingegen war groß. Einige der Waldeigentümer sind auch Landwirte, die Feldberegnung einsetzen. Wenn die durch Versickerung zusätzlich neu gebildeten Grundwassermengen auf die Entnahmeerlaubnisse für die Feldberegnung angerechnet werden können, entstünde hier ein zusätzlicher Anreiz zur Umsetzung solcher Projekte. Derzeit werden diese und weitere Fragestellungen auf Landesebene durch die Lenkungsgruppe „Zukunftsfähige Feldberegnung“ mit Akteuren aus Politik und Verwaltung diskutiert. Die Dauerhaftigkeit des Pilotvorhabens wird durch die Einbindung der Waldflächen in einen gesetzlichen Verband (= Körperschaft öffentlichen Rechts) sichergestellt.



Abb. 4.1.6: Schlauchsystem zur Versickerung von gereinigtem Abwasser im grundwasserfernen Kiefernwald (E. Eiben)

Potenzial der landwirtschaftlichen Bewässerung mit Kläranlagenablauf

Im Kläranlagenablauf (Klarwasser) kommunaler Kläranlagen wurden im Rahmen von KLIMZUG-NORD Rückstände von Medikamenten u. ä. nachgewiesen. Parallel zum Pilotvorhaben erfolgte deshalb unter Laborbedingungen eine Analyse möglicher Auswirkungen von Pharmazeutikarückständen auf das Pflanzenwachstum. Im Rahmen des Projekts wurden Keimversuche mit Raps, Weizen und Gerste durchgeführt.

Unter Laborbedingungen bei konstanter Raumtemperatur und definierter Beleuchtung wurden die Pflanzen über zehn Tage kultiviert (Abb. 4.1.7). Keimrate, Längenwachstum, Gewichtsentwicklung und die Chlorophyllbildung dienen als Parameter zur Beurteilung der Keimung.

Die Bewässerung der Pflanzen erfolgte mit Wasser, dem Pharmazeutika beigefügt wurden. Es wurden Versuche mit Carbamazepin (ein Antiepileptikum und Antidepressivum), Diclofenac (ein Schmerzmittel) und Metoprolol (ein Beta-blocker, Medikament, das den Herzschlag verlangsamt und so den Blutdruck senkt) durchgeführt (Scholz und Schwabe, 2005). Hierbei wurden Konzentrationen im $\mu\text{g/l}$ -Bereich angesetzt. In weiteren Versuchen wurden die Pharmazeutikakonzentrationen in den mg/l -Bereich gesteigert. Die Pharmazeutika wurden einzeln oder als Mischung zugesetzt.



Abb. 4.1.7: Keimversuch mit Weizen an den Versuchstagen 3 und 10 (W. Meyer)

Erste Ergebnisse zeigten für die einzelnen Pharmazeutika im mg/l-Bereich eine deutliche Wachstumshemmung. Den stärksten Einfluss hatte Diclofenac, gefolgt von Metoprolol und Carbamazepin. Die Pharmazeutikamischungen zeigten auch schon bei geringeren Konzentrationen Auswirkungen. Zusätzlich wurden Untersuchungen zur Aufnahme der Pharmazeutika in die Pflanzen durchgeführt. Alle drei Pharmazeutika konnten im Pflanzenmaterial nachgewiesen werden.

In den Städten Wolfsburg sowie Braunschweig erfolgt seit vielen Jahrzehnten eine Bewässerung mit gereinigtem Abwasser. Unter Praxisbedingungen konnten auf den dortigen Standorten keine Wuchsbeeinträchtigungen festgestellt werden. Anscheinend erfolgt dort ein zügiger Abbau oder eine Fixierung von im Klarwasser enthaltenen Spurenstoffen durch das biologisch äußerst aktive Medium Boden.

Diskussion der Ergebnisse

Mithilfe des kommunalen Klärwerks Rosche und des Vorhabenträgers Bewässerungsverband Uelzen wurde gezeigt, dass die Rückführung gereinigten Abwassers in den regionalen Wasserkreislauf in potenziellen Wassermangelgebieten auch unter mitteleuropäischen Bedingungen erfolgreich umsetzbar ist. Die Rückführung stellt eine NoRegret-Strategie zur Vorsorge gegenüber klimawandelbedingten Bedrohungen der regionalen Vitalität ländlicher Trockengebiete dar. Ein wichtiges Ergebnis ist, dass die direkte landwirtschaftliche Verwendung gereinigten Abwassers an der mangelnden Akzeptanz durch die Landwirtschaft scheiterte.

Erst eine durch weitergehende Reinigung erreichbare Sicherheit würde die erforderliche Akzeptanz in der Landwirtschaft herbeiführen. Eine zuverlässige und gleichzeitig bei Einsatz für die landwirtschaftlichen Kulturen der Modellregion ökonomisch tragfähige Lösung fehlt hierfür nach den Projekterfahrungen. Allerdings wären auch nach Erreichen der Wirtschaftlichkeit der weitergehenden Reinigung die Kosten für die erforderliche Wasserspeicherung immer noch so hoch, dass eine Umsetzung mit einem hohen Fördermittelbedarf verbunden wäre. Dieser müsste dann, über die Landwirtschaft hinausgehend, mit dem gesamtregionalen Nutzen landwirtschaftlicher Bewässerung begründet werden.

Die indirekte Wiederverwendung von Klarwasser in Form einer höheren landwirtschaftlichen Grundwasserförderung im (relativen) Umfang zur Klarwasser-Versickerungsmenge scheint dagegen ein unter Praxisbedingungen geeigneter Ansatz zu sein in Abhängigkeit von dem individuellen Kosten-Nutzen-Verhältnis der beteiligten Landwirtschaft. Der Vorteil liegt insbesondere in dem Verzicht auf technische Großbauwerke, z. B. Speicherbecken. Untersuchungen zur Auswirkung von Spurenstoffen sollten vertieft werden und unter Praxisbedingungen erfolgen. Eine Weiterverfolgung des grundsätzlich positiven Ansatzes der Versickerung unter Kurzumtriebsplantagen erscheint derzeit angesichts des knappen Bodenmarkts nur in Sondersituationen sinnvoll.

4.1.5 Wasserbauliche Maßnahmen zur Sicherung des ökologisch notwendigen Mindestabflusses kleiner Fließgewässer

Herbert Reusch, Helmut Heuer-Jungemann, Brigitte Urban

Hydrologische Auswirkungen des Klimawandels bedrohen die bachtypische Fauna, wie aquatische Wirbellose, Fische und Neunaugen. Die Probleme entstehen einerseits durch erhöhte Abflussmengen sowie übermäßigen Sandeintrag nach Starkregen und andererseits durch geringeren Sandabtransport im Bach infolge verringerter Schleppkräfte bei Niedrigwasser. Über konkrete Auswirkungen auf die aquatischen Lebensgemeinschaften gibt es bisher keinerlei systematische Kenntnisse.

Mithilfe von relativ einfachen wasserbaulichen Maßnahmen können Klimawandelfolgen an kleinen norddeutschen Fließgewässern möglicherweise abgemildert oder ausgeglichen werden. Dazu gehören die Schaffung verschiedener Abflussprofile für zukünftige durch den Klimawandel verursachte Niedrigwasserabflüsse oder für Starkregen geeignete Höchstabflüsse sowie Beschattungsmaßnahmen gegen erhöhte Wassertemperaturen.

Gegenstand und Zielsetzung

Ziel des Forschungsprojektes ist es, ein robustes Verfahren für die lokalen Gewässerunterhaltungspflichtigen (z. B. Unterhaltungsverbände) zu entwickeln, mit dessen Hilfe für kleine Fließgewässer individuell der notwendige Umfang an derartigen Gewässerentwicklungsmaßnahmen bestimmt werden kann. Anhand eines Referenzgewässers mit naturnaher Struktur und charakteristischem Arteninventar einer bachtypischen Fauna sowie eines Problemgewässers (zu Landnutzungszwecken begründigt, verbreitert, vertieft, in Konsequenz übersandete Bachsohle usw.) wird die Verwendbarkeit eines einfachen Abflussmodells erprobt. Auf der Basis der mit dem Modell simulierten Versandung werden Prognosen zu ökologischen Auswirkungen auf die Limnofauna erstellt. Die beiden ausgewählten Pilotgewässer sind typische Vertreter linksseitiger Altmoränenzuflüsse der Elbe und gehören zum Ilmenau-Einzugsgebiet. Grundsätzlich sind

alle Fließgewässer individuell zu betrachten. Das Untersuchungsergebnis soll jedoch mit Anpassungen auf alle natürlich entstandenen Fließgewässer im Norddeutschen Tiefland übertragen werden können, und zwar ohne Einschränkung auf alle Bundesländer, zu denen ein mehr oder weniger großer Anteil der norddeutschen Alt- und Jungmoränenlandschaften gehört.

Referenzgewässer Bornbach

Im naturnahen Bornbach (Ilmenau-Zufluss südlich von Uelzen; Abb. 4.1.8) wurden drei je 100 m lange Referenzstrecken ausgewählt, in denen das Gewässerprofil tachymetrisch und die Verteilung verschiedener Fließgeschwindigkeiten über den Querschnitt erfasst wurden. Die Messung der Fließgeschwindigkeiten erfolgte monatlich über ein Jahr. An einer ausgewählten Stelle wurden außerdem über einen Pegel Wasserstandsdauerlinien erstellt. Die gemessenen Daten wurden mit Pegelaufzeichnungen aus dem Einzugsgebiet bzw. Naturraum verglichen. Mit den ermittelten Abflussdaten wurde ein hydraulisches Modell der Referenzstrecken erstellt. Es erfolgte darauf aufbauend eine Berechnung mit durch den Klimawandel zu erwartenden verringerten Niedrigwasser- (abzüglich 20 % und 50 %) und erhöhten Hochwasserabflüssen (zuzüglich 20 % und 50 %). Die sich verändernden Schubspannungen an der Sohle wurden

untersucht und Folgen für Sedimentation und Erosion im Bach und damit für den Lebensraum Sohle bzw. die aquatischen Lebensgemeinschaften abgeleitet. Minimal tolerierbare Niedrigwasserabflüsse wurden ermittelt und gegebenenfalls erforderliche Umgestaltungsmaßnahmen im Profil unter Berücksichtigung der ökologisch begründeten Mindestanforderungen erarbeitet.

Problemgewässer Röbbelbach

Die Untersuchungen gingen vom Ist-Zustand unter Einbeziehung der aktuellen wasserwirtschaftlichen Nutzungssituation aus und berücksichtigten ebenso Maßnahmen aus der näheren Vergangenheit. Den Kern der Untersuchungen bildete eine Strukturkartierung mit anschließender Beschreibung. Hierauf aufbauend wurden aus wasserwirtschaftlicher Sicht vorhandene Störstellen unter Berücksichtigung des naturraumtypischen Leitbildes (überwiegend kiesige Sohle, z. B. Abb. 4.1.9) bewertet und interdisziplinär ökologisch begründet. Anschließend wurden Planungsaussagen zur Beseitigung von Störungen im Rahmen der Gewässerunterhaltung formuliert.

Bei der im Vorfeld durchgeführten Ortsbegehung wurden zwei Kartierintensitäten festgelegt, da Teilstrecken keine ständige Wasserführung aufweisen. Für Strecken mit permanentem Abfluss war ein Hauptkartierdurchgang in



Abb. 4.1.8: Naturnahes Abflussprofil im Bornbach (H. Reusch)

der vegetationsarmen Zeit vorgesehen sowie ein stichprobenhafter Kontrollgang im Frühjahr / Sommer, um die jahreszeitlich bedingten Änderungen mit zu erfassen (z.B. Wasserführung). Bei den übrigen Gewässerstrecken (ca. 50 km) wurde eine einmalige Bestandserfassung in der vegetationsarmen Zeit durchgeführt. Auf Basis der Bestandsdaten kam es zur Erarbeitung von umsetzungsbezogenen Planungsaussagen zur Beseitigung von Störungen und zur Erreichung des guten ökologischen Zustandes, die interdisziplinär abgestimmt und ökologisch begründet waren.

Bestandsdaten der lokalen aquatischen Wirbellosenfauna liefern wesentliche Grundlagen für die Bewertung von Fließgewässern sowie für die ökologische Begründung von den Zustand verbessernden Maßnahmen. Wichtig ist die Kenntnis der Beziehungen verschiedener Arten zueinander sowie über deren Abhängigkeiten vom Lebensraum. Als Datengrundlage besonders gut geeignet ist das Makrozoobenthos (minimal 1 mm groß), da sich bei dessen Arten entweder das gesamte Leben oder, wie bei vielen Insektengruppen, zumindest die Jugendentwicklung im Wasser abspielt. Andere Vorteile sind die weite Verbreitung seiner Arten in allen Süßwasserbiotopen und das insgesamt sehr breite Artenspektrum mit vielfältigen ökologischen Ansprüchen. Anwesenheit oder Fehlen bestimmter naturraum- und standorttypischer Arten ermöglicht in den meisten Fällen den Schluss auf die kleinräumige Biotopstruktur im Gewässer sowie auf die mittlere Wasserqualität während einer längeren Abflussperiode.

In Bächen gilt das insbesondere für ausgewählte Gruppen der Wasserinsekten, nämlich die Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen („ESK“) als Mindestanforderung an den Untersuchungsumfang nach den Erfahrungen aus vergleichbaren Projekten (z.B. Plachter et al., 2002, Reusch, 2003). Zahlreiche ESK-Arten sind obligatorisch oder fakultativ auf Strömung angewiesen und deren ökologische Anspruchsprofile in den meisten Fällen gut bekannt (z.B. Brinkmann und Reusch, 1998, Reusch und Brinkmann, 1998, Graf et al., 2008, 2009, Buffagni et al., 2009).

Ergebnisse

Die Referenzstrecke im Bornbach mit überwiegend kiesigen Sohlenstrukturen (Abb. 4.1.9) hat ein Gefälle von 1,96 und weist beim MNQ (mittlerer Niedrigwasser-Abfluss) eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,26 m/s auf und eine maximale Fließgeschwindigkeit im Stromstrich von 0,38 m/s, ermittelt bei einer Abflussmessung. Im Projekt AQUARIUS (BAL, 2012) wurde festgestellt, dass eine Fließgeschwindigkeit von 0,25 m/s nicht unterschritten werden darf, um eine Versandung der Sohle und damit eine Zerstörung des Lebensraumes für die typische aquatische Wirbellosenfauna zu vermeiden. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass bei sehr hoher Sandfracht die Fließgeschwindigkeit höher sein muss, um ein Verstopfen des Lückensystems zu verhindern.

In dem parallel bearbeiteten Gewässerentwicklungsplan sind ökologisch begründete Maßnahmen zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes formuliert worden. Darauf aufbauend und aus den Erkenntnissen aus der Berechnung des Referenzbaches wurde ein hydraulisches Modell aufgebaut. Das Fließverhalten sowie die daraus resultierende Erosion und Sedimentation wurde wie bei der Referenzbach-Modellierung mit den veränderten Abflüssen untersucht. Erforderliche Umgestaltungsmaßnahmen zur Schaffung bzw. zum Erhalt des Lebensraumes eines naturnahen Fließgewässers im zumindest guten ökologischen Zustand wurden davon abgeleitet. Für drei ausgewählte, je etwa 300 m lange Modellstrecken wurden Detailplanungen erarbeitet (z.B. Abb. 4.1.10). Die im Frühjahr 2012 vorgesehene Umsetzung dieser drei Projekte hat sich aus technischen und eigentumsrechtlichen Gründen bis zum Herbst 2012 verzögert, sodass noch keine entsprechenden Ergebnisse bzw. deren Dokumentation vorliegen. Baubeginn war am 23. Oktober 2012, Bauabnahme durch den Landkreis Uelzen als zuständige Wasserbehörde im März 2013. Die drei Strecken im Röbbelbach sind so umgestaltet worden, dass der im Referenzgewässer ermittelte Grenzwert (0,25 m/s) bei MNQ nicht unterschritten wird (unter Berücksichtigung der Vorflut für angrenzende landwirtschaftliche Flächen).

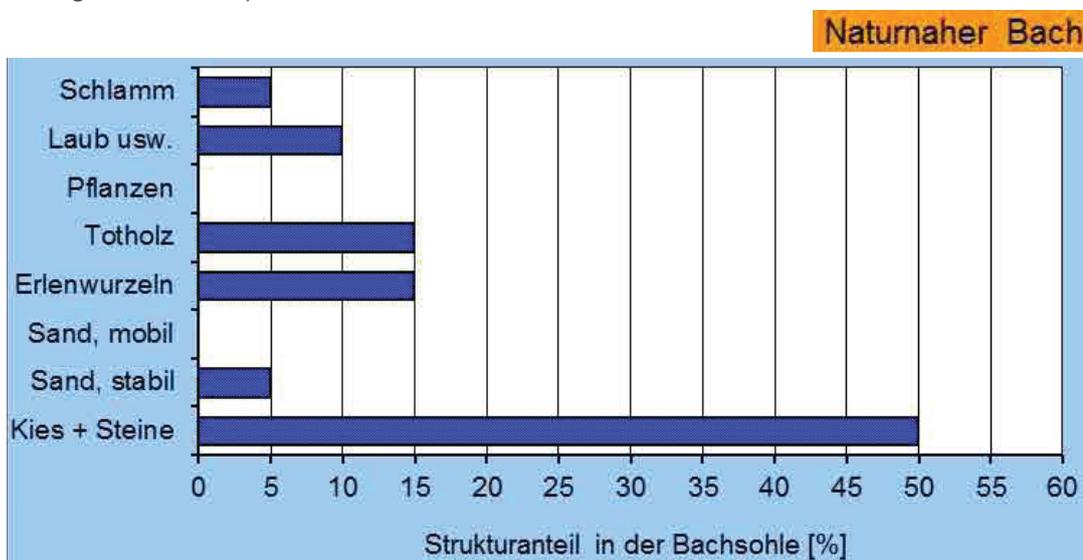


Abb. 4.1.9: Strukturanteile in einer naturnahen Bachsohle (Beispiel)

Regelquerprofil Röbbelbach RB2

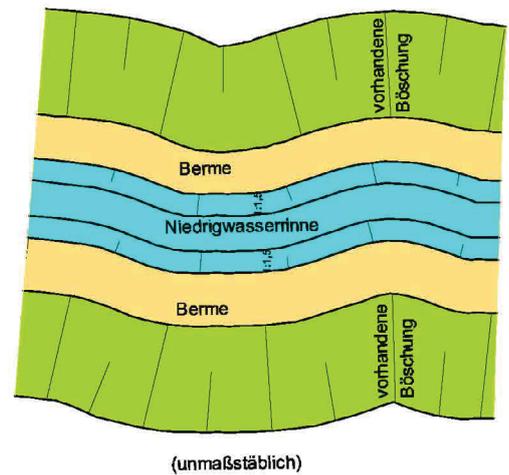
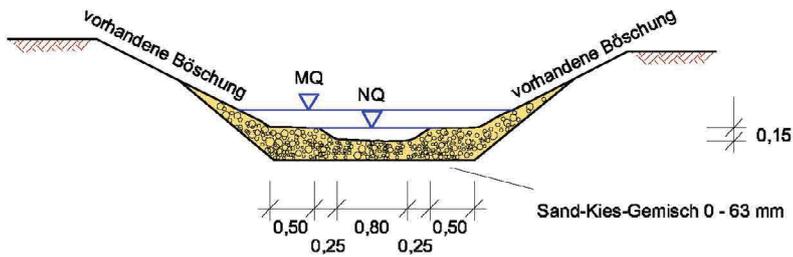


Abb. 4.1.10: Beispiel für ein Regelprofil als Querschnitt und als Grundriss

Bei der angenommenen Verringerung der Abflüsse beim Niedrigwasserabfluss ergab sich bei der Simulation für den Bornbach bei -20% eine Fließgeschwindigkeit von $0,23\text{ m/s}$ und bei -50% von $0,20\text{ m/s}$. Daraus folgt, dass der gute Zustand ohne Profilanpassung nicht erhalten werden kann. Für die drei umgestalteten Röbbelbach-Strecken soll die Berechnung demnächst in der gleichen Weise noch erfolgen. Da die Berechnung für den aktuellen Abfluss und die umgestalteten Profile bereits Fließgeschwindigkeiten an der unteren Grenze ergeben hat, wird die Berechnung zeigen, ob der gute Zustand in Zukunft an den untersuchten Strecken im Röbbelbach überhaupt erreicht werden kann.

Bezüglich der Limnofauna wurde eine halbquantitative Erfassung der ESK-Arten mit der Beprobung von sieben repräsentativen Bachstrecken im Röbbelbach (fünf) sowie im einmündenden Gollernbach (zwei) durchgeführt, und

zwar monatlich über einen vollständigen Jahresgang (insgesamt 64 Arten; Verteilung siehe Abb. 4.1.11). Eine aussagekräftige Bestandsbewertung ist erst dadurch gewährleistet (z.B. Reusch, 1995, 2003) worden, da natürliche jahreszeitliche Schwankungen artverschiedener Individuendichten und zeitversetzte Entwicklungsabläufe, die erfahrungsgemäß relativ oft regional deutlich differieren, sonst ignoriert würden.

Für die fischfaunistische Bestandsaufnahme (insgesamt neun Arten; Verteilung siehe Tab. 4.1.1) erfolgten zweimalige qualitative Elektro-Befischungen im Frühjahr und Herbst, und zwar jeweils auf etwa 100 bis 200 m Länge an den gleichen ausgewählten sieben Strecken wie bei den ESK-Arten. Bei den einzelnen Fischarten wurde die Länge bestimmt und ihre ermittelte Häufigkeit in Abhängigkeit von der Gewässerstruktur für die planungsrelevante Auswertung der Befunde dargestellt.

Tab.: 4.1.1: Verteilung der im Röbbelbach-System nachgewiesenen Fisch- und Neunaugenarten

| Artnamen | G1 | G2 | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Aal | | | | | | + | + |
| Bachforelle | | | | | | + | + |
| Bachneunauge | | | | | | + | + |
| Bachsaibling | | | | | | | + |
| Bachschmerle | | | | | | | + |
| Dreistachliger Stichling | + | + | + | + | + | + | + |
| Elritze | | | | | | | + |
| Groppe | | | | | | + | + |
| Neunstachliger Stichling | + | + | | | | | |

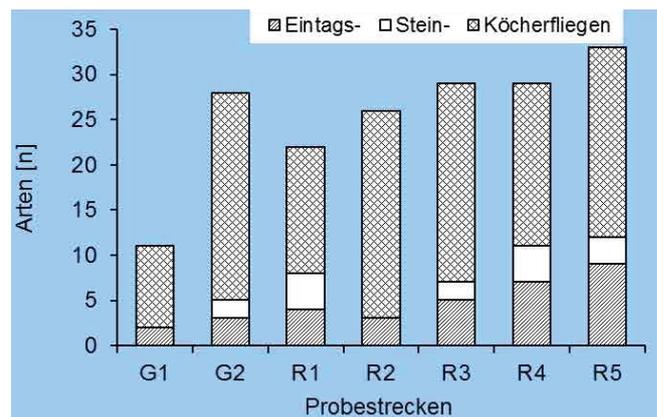


Abb. 4.1.11: Anzahl der im Röbbelbach-System nachgewiesenen Eintags-, Stein- und Köcherfliegenarten (G = Gollernbach, R = Röbbelbach)

Ausblick

Wenn im Winter/Frühjahr 2012/13 der gute ökologische Zustand mithilfe der umgesetzten Maßnahmen in den Modellstrecken erreicht ist (z.B. Abb. 4.1.12), werden aufbauend auf die Ergebnisse der Untersuchungen im Referenzgewässer bezüglich der sich verändernden Abflüsse die Auswirkungen ermittelt und die Folgen für die standorttypische Fließgewässerfauna beschrieben. Der minimal tolerierbare Abfluss zum Erhalt des guten ökologischen Zustandes wird festgestellt und Umgestaltungsmaßnahmen im Profil unter Berücksichtigung der ökologisch begründeten Mindestanforderungen erarbeitet.

Aus diesen Ergebnissen werden dann auf andere norddeutschen Bäche übertragbare Maßnahmen abgeleitet (1) zur zukünftigen Bemessung der Gewässerquerschnitte, (2) zum Erhalt des „guten ökologischen Zustandes“ gemäß Europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL 2000) und (3) unter Berücksichtigung zu erwartender Extremabflüsse. Als Wege zur Umsetzung sind eine Zusammenstellung der Ergebnisse als Leitfaden für Geestbäche u.a. in der

Metropolregion Hamburg sowie entsprechende Weitergabe an die Nutzer zur zukünftigen Berücksichtigung in der Praxis vorgesehen (als KLIMZUG-NORD 3.5 Projektprodukt; Reusch et al., in Vorb.). Betroffene Nutzer sind Genehmigungsbehörden, Unterhaltungsverbände, Wasser- und Bodenverbände sowie Planungsbüros.

Wichtig und erforderlich ist ein innerhalb der Projektlaufzeit nicht mehr durchführbares, zu initiiertes zukünftiges Monitoring des morphologischen Zustandes des umgebauten Gewässers als auch seines limnofaunistischen Bestandes. Damit kann einerseits die eigendynamische Entwicklung von Lebensraum und Lebensgemeinschaft in Richtung auf den naturraumtypischen Referenzzustand ermittelt und beispielhaft dokumentiert werden. Andererseits ermöglichen dabei festgestellte unerwartete Fehlentwicklungen, diesen mithilfe gezielter Eingriffe im Hinblick auf eine Optimierung der vorherigen Maßnahmen entgegenzuwirken.



Abb. 4.1.12: Strecke RB 2 nach dem Umbau (Doppeltrapezprofil, kiesige Sohle, eingengte schängelnde Mittelwasserrinne; H. Heuer-Jungemann)

4.1.6 Pharmazeutika aus Kläranlagenabläufen in kleinen Fließgewässern

Wibke Meyer, Ralf Otterpohl

Im Einzugsgebiet der Elbe müssen zum Teil abflussschwache Fließgewässer den Ablauf größerer Kläranlagen aufnehmen. Es gilt mittlerweile als erwiesen, dass sich im Kläranlagenablauf Pharmazeutika und deren Stoffwechselprodukte befinden können (u. a. Rohweder, 2003). Diese gelangen vorrangig über menschliche Ausscheidungen, aber auch durch unsachgemäße Entsorgung über die Toilette ins Abwasser. Einige dieser Stoffe passieren die Kläranlage nahezu unverändert und gelangen auf diesem Weg in das Fließgewässer (Roßknecht, 2001).

Da Pharmazeutika biologisch hochaktive Stoffe sind, stellt sich die Frage nach eventuellen Schädwirkungen auf Nichtzielorganismen im aquatischen Ökosystem. Pharmazeutika werden entwickelt, um eine besondere biologische Wirkung zu erzielen. Damit einhergehend müssen die Stoffe im Organismus in gewissem Maß gegen Umwandlungsprozesse resistent sein. Außerdem sollten sie nur eine geringe Menge Wirkstoff erfordern, d. h. in geringen Konzentrationen eine biologische Wirkung erzielen. Auf den ganzen Organismus wirkende Pharmazeutika müssen zusätzlich eine gewisse Lipophilie aufweisen, damit sie vom Körper aufgenommen werden können. Diese drei potenziellen Eigenschaften der Phar-

mazeutika – optimierte biologische Wirksamkeit, geringe biologische Abbaubarkeit und meist erhöhte Lipophilie – erzeugen eine hohe Umweltrelevanz (Liebig, 2005).

Die im Rahmen des Projektes betriebene Forschung zum Klimawandel projiziert speziell für die Metropolregion Hamburg häufiger auftretende und deutlich verlängerte Trockenperioden vor allem in den Sommermonaten (siehe auch Kap. 3). Durch ausbleibende Niederschläge kommt es in dieser Zeit zu einer Verringerung der Wasserstände und Abflüsse vor allem in kleinen Fließgewässern und damit zu einer Reduzierung der Verdünnung des eingeleiteten Kläranlagenablaufs.

Ziel dieser Untersuchungen ist die Erfassung von Pharmazeutika-Konzentrationen in Kläranlagenabläufen und in sensiblen Fließgewässern, in die deren Abläufe eingeleitet werden. Im Anschluss daran soll eine Aussage darüber getroffen werden, ob die Ausrüstung heutiger Kläranlagen ausreicht, unser Abwasser auch unter zukünftigen, vom Klimawandel geprägten Rahmenbedingungen qualitativ so hochwertig aufzubereiten, dass langfristig eine Gefährdung von Mensch, Tier und Natur ausgeschlossen werden kann.

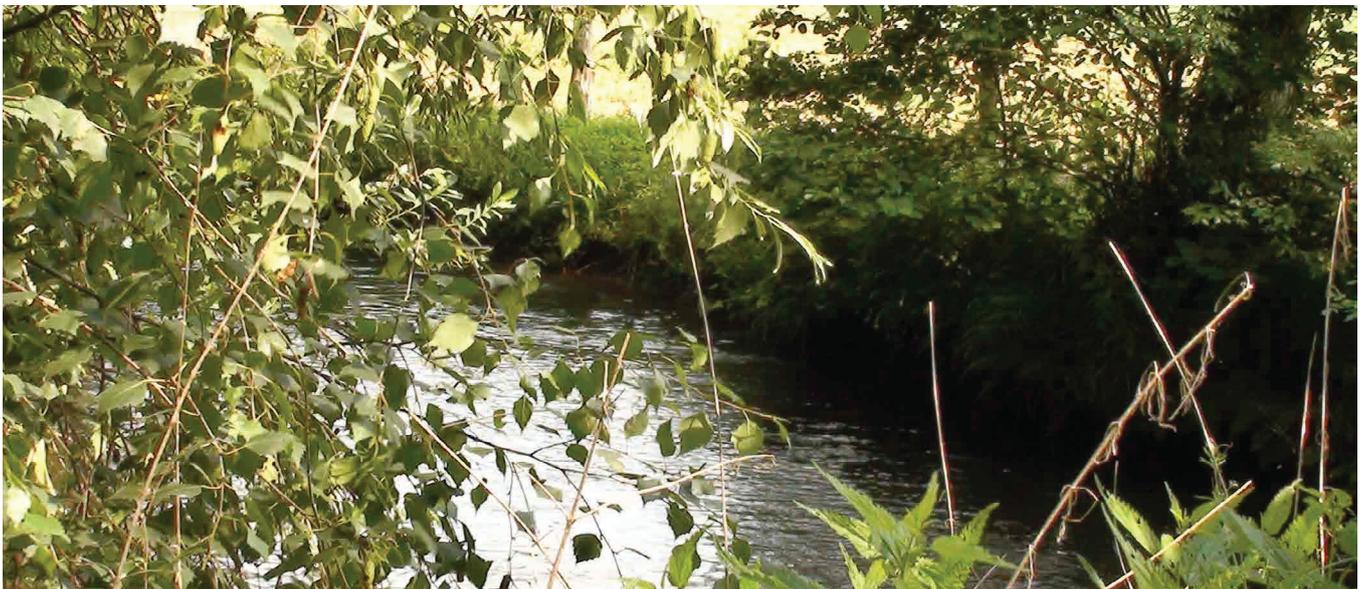


Abb. 4.1.13: Die Luhe auf Höhe von Salzhausen (W. Meyer)

Monitoring

Die Bearbeitung der Fragestellung erfolgte im ersten Schritt durch die hydrologische und chemisch-analytische Aufnahme der vorherrschenden Situation, um später eine Aussage über den Einfluss von Wetterereignissen auf die Pharmazeutika-Konzentrationen im Fließgewässer treffen zu können. Der ermittelte Zusammenhang zwischen Abflussdaten der Fließgewässer und Konzentrationen in den Gewässern ermöglicht die Einordnung der Ergebnisse im Hinblick auf klimatische Entwicklungen.

Es wurden vier Pharmazeutika mittels HPLC-MS detektiert: Carbamazepin (ein Antiepileptikum und Antidepressivum), Diclofenac (ein Schmerzmittel), Metoprolol und Atenolol (beides Betablocker, dies sind Medikamente, die den Herzschlag verlangsamen und so den Blutdruck senken) (Scholz und Schwabe, 2005). Basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche wurden diese Einzelstoffe unter anderem aufgrund ihres Verbleibs im menschlichen Körper, ihrer deutschlandweiten Verordnungsmenge und

ihrer nachgewiesenen Umweltrelevanz ausgewählt. Zusätzlich erfolgte ein breites Spektrum ergänzender Analytik in Form von einigen Standardabwasserparametern, zwei Hygieneparametern sowie ausgewählten Nährstoffen.

Zur Auswertung standen Daten zu Ablaufmengen durch die Klärwerksbetreiber, Daten zu Flussprofilen und Abflüssen durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) und Wetteraufzeichnungen vom Deutschen Wetterdienst (DWD) dankenswerterweise zur Verfügung.

Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich des aktuellen Gewässerzustandes

Für Deutschland gibt es keine gesetzlich festgelegten Grenzwerte für pharmazeutische Wirkstoffe bei der Einleitung von Kläranlagenablauf in Gewässer. Die Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet schlägt in ihrem 2012 veröffentlichten Memorandum zum Schutz von Fließgewässern und Talsperren und zur Sicherung der Trinkwasserversorgung einen Maximalwert von 0,1 µg/l je Einzelstoff für Arzneimittelrückstände im Gewässer vor. Dieser Grenzwert soll einen vorausschauenden Ressourcenschutz gewährleisten. Die Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit und soziale Sicherheit (BMGS) beim Umweltbundesamt gibt als erste Bewertungsbasis den sogenannten Gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) für Stoffe im Trinkwasser die humantoxikologisch nur teil- oder nicht bewertbar sind, ebenfalls mit 0,1 µg/l an.

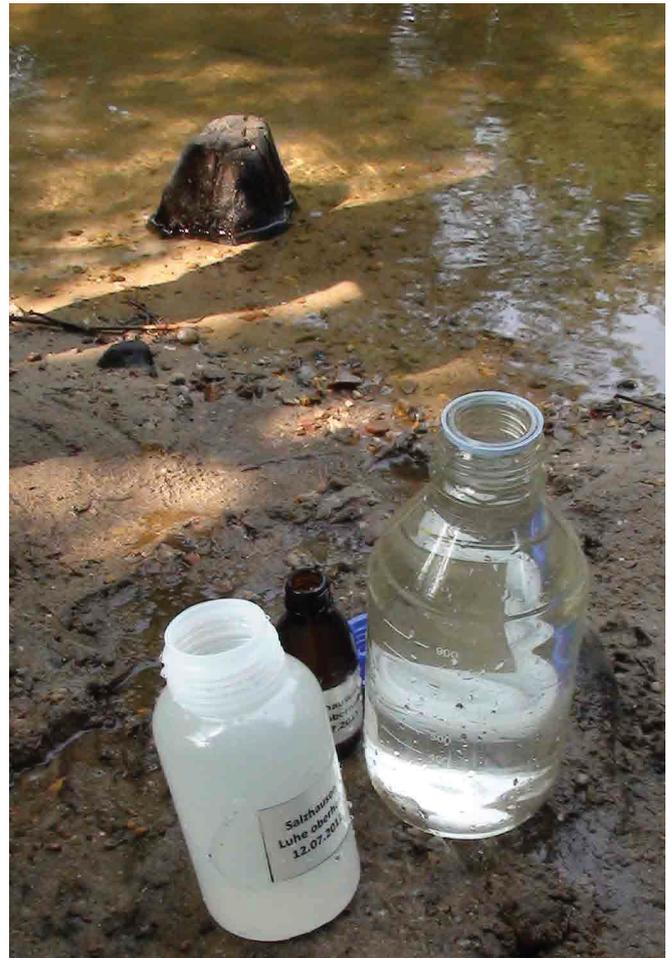


Abb. 4.1.14: Aufgrund der vielschichtigen Analytik wurden an jeder Messstelle mehrere Proben entnommen (W. Meyer)

Tab. 4.1.2: Prozentuale Anzahl der Überschreitungen des GOW in allen Messungen im Rahmen des Monitorings

| | Metoprolol | Diclofenac | Carbamazepin |
|--|------------|-------------|--------------|
| Kläranlagenablauf | 100 | 100 | 97,5 |
| oberhalb der Einleitungsstelle | 1 | 1,25 | 0 |
| unterhalb der Einleitungsstelle | 40 | 8,75 | 0 |

Bewertung der Ergebnisse hinsichtlich projizierter klimatischer Veränderungen

Um eine Einordnung der gemessenen Pharmazeutika-Konzentrationen unter klimatischen Aspekten durchzuführen, wurde der Zusammenhang der Abflussmengen in den Fließgewässern zu den Pharmazeutika-Konzentrationen stromabwärts der Kläranlageneinleitungen hergestellt. Im ersten Schritt erfolgte eine Einteilung der Tagesabflüsse der Fließgewässer in drei Gruppen:

Abfluss < Mittlerer Sommerabfluss (MQS)
Mittlerer Sommerabfluss (MQS) ≤ Abfluss ≤ Mittlerer Winterabfluss (MQW)
Abfluss > Mittlerer Winterabfluss (MQW)

Die Einteilung basiert auf Pegelmessungen des NLWKN (Sommerperiode: Mai bis Oktober, Winterperiode: November bis April).

Die Abbildung 4.1.15 zeigt exemplarisch Mittelwerte der in den drei Gruppen der Abflussmengen gemessenen Pharmazeutika-Konzentrationen unterhalb der Einleitungsstelle eines der untersuchten Klärwerke. Für drei Stoffe wurde zu Zeiten des geringsten Abflusses die höchste Stoffkonzentration gemessen. Die Atenolol-Konzentrationen waren bei 90 Prozent der Messungen unterhalb der Nachweisgrenze (0,005 µg/l). Für alle vier Kläranlagen wurde ein identischer Trend ermittelt.

Im Rahmen des Projekts wurden durch das Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg vermehrt auftretende Niedrigwasserstände (um bis zu 12 % gesteigerte Häufigkeit) für die untersuchten Fließgewässer vorausgesagt. Als Referenzzeitraum diente die Zeitspanne von 1965 bis 2000, der Projektionszeitraum ist 2065 bis 2100. Dies würde eine deutliche Steigerung der Belastungssituation mit sich bringen.

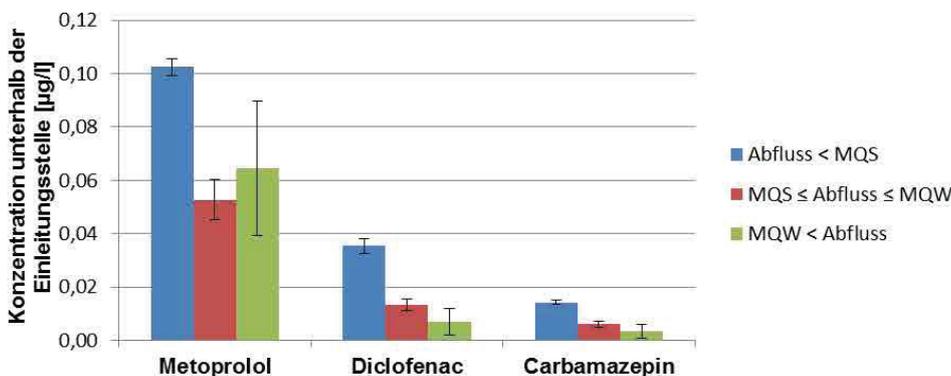


Abb. 4.1.15: Mittlere Pharmazeutika-Konzentrationen unterhalb der Einleitungsstelle eines Klärwerks

Schlussfolgerungen

Das Vorkommen von Pharmazeutika in der Umwelt stellt ein unzureichend untersuchtes Problem dar. In der Zukunft werden öfter auftretende Phasen hoher Pharmazeutika-Konzentrationen im Fließgewässer vermutlich häufigere Belastungen für die aquatische Umwelt mit sich bringen. Auftretende Wetterextrema bedingt durch den Klimawandel könnten noch höhere Konzentrationen und damit stärkere Umweltbelastungen verursachen. Vermehrte Überschreitungen des GOW stehen dem vorausschauenden Ressourcenschutz im Wege. Hieraus erschließt sich die Notwendigkeit von weiteren Untersuchungen des Umweltrisikos durch Pharmazeutika. Das bisherige Wissen ist durch Versuche insbesondere zu Langzeitwirkungen und auch zu Auswirkungen durch das Vorkommen von Pharmazeutika-Mischungen zu ergänzen.

Im Rahmen der „Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (Regierungskommission Klimaschutz, 2012) wird ebenfalls bestätigt, dass in der Wasserwirtschaft dem Vorsorgeprinzip Folge zu leisten ist. Aufgrund sinkender Sommerabflüsse in Fließgewässern wird mit verstärkten Belastungssituationen gerechnet. Es gilt, Konzepte zum Umgang mit extremen Niedrigwassersituationen auszuarbeiten und umzusetzen sowie ggf. verfahrenstechnische Anpassungsmaßnahmen umzusetzen, wobei auch die Nachnutzung des gereinigten Abwassers in Betracht gezogen werden sollte (siehe Kap. 4.1.4).

4.2 Land- und Bodennutzung

4.2.1 Kohlenstoffdynamik und organische Substanz in Ackerböden

Karin Schmelmer, Brigitte Urban

Gegenstand und Zielsetzung

Die Bodenfruchtbarkeit der sandigen Ackerböden Nordost-Niedersachsens wird maßgeblich vom Humusgehalt bestimmt, da er die Wasser- und Nährstoffspeicherefähigkeit entscheidend erhöht. Sandböden können jedoch die organischen Stoffe kaum binden und ihre zumeist gute Durchlüftung fördert den Humusabbau. Daher sind Sandböden von den Folgen des Klimawandels besonders betroffen. Eine Temperaturerhöhung beschleunigt den Umsatz organischer Bodensubstanz zusätzlich. Gleichzeitig kann die projizierte zunehmende Sommertrockenheit die Bildung pflanzlicher Biomasse herabsetzen und damit das Ausgangsmaterial für die Humusbildung reduzieren. Die Mineralisierung organischer Bodensubstanz und damit verstärkter Humusabbau haben andererseits eine Klimarelevanz, da dabei das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt wird. Ziel ist daher die Untersuchung der Umsatzprozesse und die Bilanzierung des organischen Kohlenstoffs im Boden (C_{Org}) in Feldversuchen. Im Rahmen dieser experimentellen Forschung steht auch der Einsatz organischer Bodenverbesserer, die einerseits die Bodenfruchtbarkeit, die Wasserhaltefähigkeit des Bodens und den Ertrag fördern sollen (URBAN et al., 2008), andererseits auf ihre Fähigkeit der dauerhaften Humusanreicherung geprüft werden. Ein zweiter Ansatz ist die Untersuchung der C_{Org}-Gehaltsentwicklung über einen Zeitraum von 30 Jahren und die Bewertung des Einflusses von Bewirtschaftung und Klimaentwicklung mittels Computersimulation.

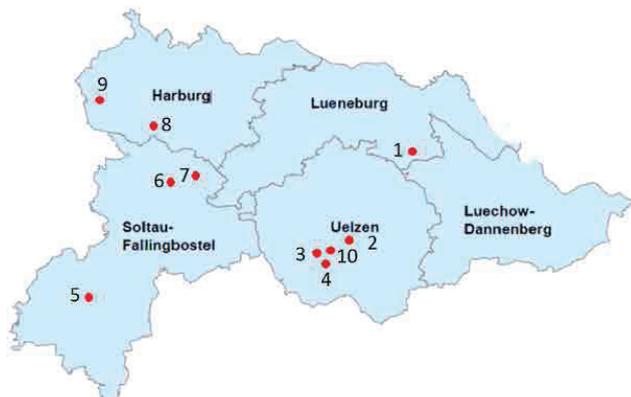
Methoden:

Umsatzprozesse und Kohlenstoffbilanz

Auf dem Versuchsfeld der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Hamerstorf (Kap. 4.1.2, Kap. 4.2.3) wurden 2010 - 2012 regelmäßig Oberbodenproben entnommen und auf die Parameter C_{Org}, mikrobielle Aktivität und mikrobielle Biomasse untersucht. Messungen der CO₂-Ausgasung auf dem Feld dienten der Ermittlung der Humus-Abbauintensität. Zur Bestimmung des jährlichen Kohlenstoffeintrags in den Boden wurden die Trockensubstanz der pflanzlichen Biomasse und deren Kohlenstoffgehalte ermittelt. Alle Untersuchungen erfolgten für die Versuchsvarianten „keine Beregnung“ und „optimale Beregnung“ (Kap. 4.1.2). Zur Abschätzung der jährlichen CO₂-Emission am Beispiel des Untersuchungsjahres 2011 wurden zunächst anhand der Messwerte typische Q₁₀-Werte für die Ausgasungshöhe ermittelt. Ein Q₁₀-Wert gibt an, um welchen Faktor sich eine biochemische Reaktion bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C beschleunigt. Die Q₁₀-Werte sind selbst temperaturabhängig, sodass gestaffelte Werte zur Berechnung der Tagesmittelwerte verwendet wurden (Kirschbaum 1995, Parkin und Kaspar, 2003). Die Entwicklung der C_{Org}-Gehalte im Untersuchungszeitraum wurde mit dem Modell CANDY nachvollzogen (vgl. Kap. 4.1.2). In einem Parzellenversuch wurden als organische Bodenverbesserer Siedlungskompost (LK Uelzen), das holzkohlenhaltige Produkt Palaterra® sowie hydrothermal behandelte Maisgärreste (HTC-Pflanzenkohle) einer Biogasanlage in den Oberboden eingearbeitet. Auch in diesem Versuch erfolgten die Untersuchungen zur Kohlenstoffdynamik. Die HTC-Pflanzenkohle wurde in Vorversuchen off-site in Kleinlysimeterlaborversuchen mit Sandböden aus Hamerstorf unter kontrollierten Bedingungen mit der Kulturart Sommergerste untersucht. Hierzu ist eine eigene Veröffentlichung vorgesehen.

Methoden: Humusstatus sandiger Ackerböden

Im Frühsommer 2010 erfolgte eine Oberbodenbeprobung auf insgesamt 27 ackerbaulich genutzten Flächen, die sich auf neun landwirtschaftliche Betriebe verteilen (Abb. 4.2.1). Die C_{org} -Messwerte wurden mit Daten von 1978 verglichen, die im Rahmen einer Diplomarbeit ermittelt worden waren (Thimm, 1979). In diesem Zusammenhang danken wir Frau Dr. Dorothe Lütkemöller, Leuphana Universität Lüneburg, für ihre fachlichen Beiträge sowie ihre Mitarbeit zu Beginn des Projekts. Die für die Humusbilanzierung wichtigen Bewirtschaftungsdaten wurden in Befragungen der Landwirte ermittelt. Sie gaben Auskunft über die Fruchtfolgen, zu Art und Aufwandmengen organischer und mineralischer Düngemittel sowie den Einsatz von Beregnung. Über die Erträge, eine sehr wichtige Größe für die Modellierung mit CANDY, teilten alle Landwirte nur mittlere Werte mit; einige nannten witterungsabhängige Bandbreiten. Für die Modellierung des Zeitraums 1978 – 2010 wurden Wetterdaten der Stationen des Deutschen Wetterdienstes aufbereitet, die in der Nähe der Betriebe liegen. Die Entwicklung der C_{org} -Gehalte im Oberboden wurde mit dem Humusbilanzmodell CANDY-Carbon Balance (CCB, Franko et al. 2011) nachvollzogen, das auf dem Prozessmodell CANDY basiert (vgl. Kap. 4.1.2).



| | | | |
|---|---------------|----|---------------|
| 1 | Dahlenburg | 6 | Steinkenhöfen |
| 2 | Klein Süstedt | 7 | Volkwardingen |
| 3 | Graulingen | 8 | Wörme |
| 4 | Sudenburg | 9 | Heidenau |
| 5 | Düshorn | 10 | Hamerstorf |



Abb. 4.2.1: oben: Lage der untersuchten Böden einschließlich des Versuchsstandortes der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Hamerstorf (10); unten: typischer Sandboden der Region (3) (K. Schmelmer)

Ergebnisse: Umsatzprozesse und Kohlenstoffbilanz

Die mikrobielle Biomasse ist maßgeblich an den Umsatzprozessen im Boden beteiligt. Die mittleren Werte liegen bei 100 - 180 mg C/kg Boden und entsprechen den Textur abhängigen Sollwerten nach Höper und Kleefisch (2001) für den Standort. Die Messwerte der mikrobiellen Biomasse und ihrer Aktivität sowie der CO_2 -Ausgasung am Standort Hamerstorf (Abb. 4.2.1, Nr. 10) zeigen wie alle biochemischen Reaktionen eine positive Korrelation zur Temperatur und steigen mit der Bodentemperatur. Auch der Bodenwassergehalt wirkt sich bis zum Erreichen der Feldkapazität positiv aus und erklärt die Varianz der Emissionswerte zu 77 % ($R^2 = 0,77$, Abb. 4.2.2). Höhere Wassergehalte führen zu Sauerstoffmangel und bewirken eine Verringerung der mikrobiellen Atmung und damit des Humusabbaus (Davidson, 2000).

Zur Bilanzierung des Kohlenstoffhaushaltes ist die Ermittlung des Eintrags durch Ernterückstände erforderlich. Da das gesamte Getreidestroh auf der Ackerfläche verblieben war, konnte für die optimal berechnete Fläche sogar ohne zusätzliche organische Düngung eine geringfügig positive C-Bilanz ermittelt werden (Tab. 4.2.1).

Demgegenüber war die Bilanz für die nicht berechnete Fläche schwach negativ. (In der Bilanz nicht berücksichtigt sind Austräge gelöster organischer Verbindungen (dissolved organic carbon: DOC)). Die jährliche CO_2 -Ausgasung und damit die Kohlenstoffmineralisation war zwar aufgrund von Trockenheit geringer, andererseits bewirkte der Trockenstress aber auch eine verringerte Bildung pflanzlicher Biomasse. Das Ergebnis ist ein etwas höherer mittlerer C_{org} -Gehalt auf der berechneten Fläche im Vergleich zur nicht berechneten. Der Unterschied beträgt 0,02 Prozentpunkte und deckt sich mit den CANDY-Simulationsergebnissen.

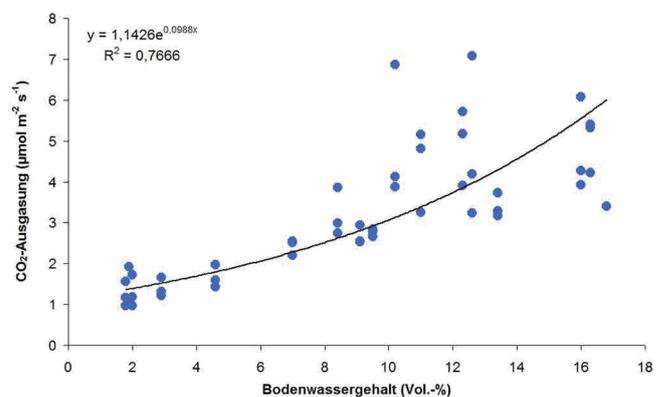


Abb. 4.2.2: Positiver Einfluss des Bodenwassergehaltes auf die CO_2 -Ausgasung bis zum Erreichen der Feldkapazität (hier 18 Vol.-%)

Tab. 4.2.1: Kohlenstoffbilanz für 2011 (ohne DOC), Versuchsstandort Hamerstorf (Abb. 4.2.1, Nr. 10)

| Versuchsvariante | Kohlenstoffeintrag (C) durch Pflanzenrückstände | CO ₂ -Ausgasung aus dem Boden | Saldo (ohne DOC) | C _{org} -Gehalt |
|-------------------|---|--|------------------|--------------------------|
| | (Tonnen C ha ⁻¹ a ⁻¹) | | | (%) |
| optimal berechnet | 5,45 | 5,18 | 0,27 | 0,83 |
| nicht berechnet | 3,14 | 3,91 | -0,77 | 0,81 |

Die unterschiedlichen C-Gehalte der organischen Bodenverbesserer führten zu unterschiedlichen C-Aufwandmengen. Die höhere CO₂-Emission der Parzelle mit HTC-Gärresten im Vergleich zur Kompost-Parzelle entsprach der höheren C-Aufwandmenge. Auffällig waren hohe Ausgasungswerte selbst bei sehr niedrigen Temperaturen (Schmelmer et al., 2012; Urban et al., 2012). Ursachen dafür können hohe Anteile an leicht abbaubaren organischen Verbindungen und der Besatz mit Schimmelpilzen sein (Gajic et al., 2010; Kammann et al., 2011; Steinbeiss et al., 2009). Auch die Anreicherung der Maissilage mit pflanzenverfügbarem Stickstoff während des Vergärungsprozesses kann die mikrobiellen Umsatzprozesse im Boden erhöhen (Wendland 2009). Die Laborwerte der mikrobiellen Biomasse und ihrer Aktivität bestätigen die besonders hohe C-Dynamik auf der mit HTC-Gärresten behandelten Fläche. Auf der Palaterra®-Parzelle wurde im Verhältnis zur C-Aufwandmenge eine geringe CO₂-Emission gemessen, was auf stabilen Kohlenstoff in dem holzkohlenhaltigen Substrat zurückgeführt werden kann.

Ergebnisse: Humusstatus sandiger Ackerböden

(Abb. 4.2.1: Nr. 1 - 9)

Die Humusgehalte der Oberböden neun landwirtschaftlicher Betriebe im Untersuchungsgebiet haben zwischen 1978 und 2010 in 26 % der Fälle (sieben Flächen) abgenommen. In jeweils 37 % der Fälle (je zehn Flächen) blieben sie unverändert oder sind gestiegen (Abb. 4.2.3). Dieser Bewertung liegt der Grenzwert für eine Änderung von 0,1 % C_{org} zugrunde, um messtechnische Ungenauigkeiten zu berücksichtigen. Eine Faktorenanalyse verdeutlicht den Einfluss von Nutzungsgeschichte, Fruchtfolge, Düngeregime und Beregnungseinsatz auf die Entwicklung der C_{org}-Gehalte. Die physikalischen Eigenschaften der Oberböden unterscheiden sich nur geringfügig, ihr Einfluss wird durch die übrigen Faktoren maskiert. Zunächst erfolgt die Zuordnung der neun Betriebe zur westlichen Region des Untersuchungsgebietes mit den Landkreisen Soltau-Fallingb. und Harburg (fünf Betriebe) und zur östlichen Region mit den Landkreisen Uelzen und Lüneburg (vier Betriebe).

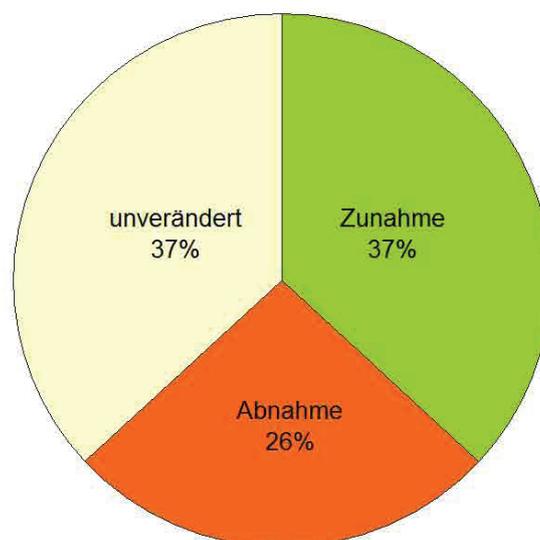


Abb. 4.2.3: Entwicklung der C_{org}-Gehalte in 27 untersuchten Oberböden sandiger Ackerstandorte Darstellung der prozentualen Verteilung von Zu- oder Abnahme bzw. unverändert

Hinsichtlich der klimatischen Gegebenheiten ist die um 0,5 °C niedrigere mittlere Jahrestemperatur in der westlichen Region gegenüber der östlichen Region für den Zeitraum 1978 - 2010 zu berücksichtigen. Unterschiede in der Niederschlagshöhe hingegen treten hinter den Faktor „Beregnungseinsatz“ zurück, der maßgeblich das Ertragsniveau und damit die Bildung pflanzlicher Biomasse bestimmt. Während in den östlich gelegenen Betrieben Beregnung eingesetzt wird, fehlt sie in der westlichen Teilregion in fast allen Fällen aufgrund fehlender Infrastruktur. Auf fast allen Flächen wurde im Betrachtungszeitraum eine Getreide-Hackfrucht-Rotation betrieben. Organische Düngung und auch Zwischenfruchtanbau gehörten überall dazu. Das deutlich niedrigere Ertragsniveau der westlichen Betriebe bei zunehmender Sommertrockenheit ließ jedoch um 2000 vier der fünf westlichen Betriebe auf eine Energie-Fruchtfolge mit hohem Maisanteil umstellen. Der Zwischenfruchtanbau ging dort zurück. Der fünfte westliche Betrieb, ein ökologisch wirtschaftender Demeter-Betrieb, behielt seine ursprüngliche Getreide-Fruchtfolge mit einem nur geringen Hackfruchtanteil. In der östlichen Teilregion behielten die Betriebe ihre gemischten Fruchtfolgen bis heute.

Die Veränderungen der C_{org} -Gehalte betragen 0,01 % bis 0,39 %, im Mittel 0,15 %. Die Simulation der C_{org} -Gehaltsentwicklung aller 27 Ackerflächen mit CCB ergab insgesamt eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten aus 2010 (NSE-Kennwert: 0,95 (Nash und Sutcliffe, 1970)). Die mittlere Abweichung beträgt 0,01 %-Punkte, die mittlere absolute Abweichung ist mit 0,1 %-Punkten deutlich größer.

Sechs der insgesamt sieben Flächen mit einer Abnahme des C_{org} -Gehaltes liegen in der westlichen Teilregion. In zwei Fällen ist diese Abnahme nachvollziehbar, der C_{org} -Ausgangswert lag über 3 % und ist auf eine Umnutzung von Wald in Ackerland erst nach 1958 zurückzuführen. Das CCB-Modell bestätigt diese Entwicklung. In einem Fall kann Bodenerosion die Ursache für die Abnahme sein, die vom Modell nicht bestätigt wird. Es handelt sich um die einzige Fläche der westlichen Region, die beregnet wird, aber eine stärkere Hangneigung aufweist. Die drei übrigen Flächen betreffen den Demeter-Betrieb und einen vormals ebenfalls ökologisch wirtschaftenden Betrieb. Die Abnahme der C_{org} -Gehalte wird vom Modell bestätigt, fällt in den Simulationen aber geringer aus. Ursache für

die gemessene Abnahme von 0,2 % bis 0,6 % können die mit 1,3 % bis 1,8 % recht hohen Anfangswerte von 1978 sein, die auf eine früher stärkere Heidschnuckenkompostdüngung zurückzuführen sind. Diese hohen Werte liegen oberhalb des Fließgleichgewichtes der heutigen Nutzung. Der im Westen zunehmende Anbau von Energiemais wirkte sich in den C_{org} -Messwerten von 2010 noch nicht aus. Das CCB-Modell errechnet jedoch für die betreffenden Jahre eine negative Humusbilanz.

Im östlichen Teil der Region ist nur eine Fläche von einer Abnahme des C_{org} -Gehaltes gekennzeichnet. Auch hier liegt der Anfangsgehalt mit 1,18 % recht hoch und ist auf eine späte Umnutzung von Wald in Ackerland zurückzuführen. Auch in der westlichen Region gibt es Fälle von zunehmenden C_{org} -Gehalten. Es ist dies eine Fläche, die seit 1986 in Weide umgenutzt ist und eine frühere Erosionsfläche mit sehr geringem C_{org} -Gehalt in 1978. Die gleich bleibenden oder zunehmenden C_{org} -Gehalte der östlichen Region sind auf die gute Versorgung mit organischem Dünger und das hohe Ertragsniveau zurückzuführen.

Fazit, Handlungsoptionen und Forschungsbedarf

Die insgesamt guten Simulationsergebnisse zeigen, dass die Entwicklung der C_{org} -Gehalte durch Modellierung mit CCB realistisch abgebildet wird. Simulationen zum Klimaeinfluss auf den Kohlenstoffumsatz zeigen, dass künftig mit erhöhtem Humusabbau zu rechnen ist. Anpassungsmaßnahmen werden daher die Wirkung der Klimaerwärmung und in vielen Fällen die Humuszehrung durch Energie-Fruchtfolgen ausgleichen müssen. Es besteht Forschungsbedarf zur langfristigen Kohlenstoffanreicherung insbesondere sandiger Böden durch organische Bodenverbesserer sowie zu den Umsatzprozessen und zur Düngewirkung auf die verschiedenen Feldfrüchte. Ein wichtiger Aspekt ist auch die mittelfristige Wirkung auf die Bodenstruktur, die durch die Aggregation gekennzeichnet ist und die bodenphysikalischen Eigenschaften mitbestimmt. Für die Modellierung der Kohlenstoffdynamik sind weitergehende Versuche zur Ableitung von Humusabbau- und -aufbauparametern erforderlich.

4.2.2 Landwirtschaftliche Beratung mit dem Modell CANDY-Carbon Balance

Karin Schmelmer, Brigitte Urban

Gegenstand und Zielsetzung

Die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf den Humushaushalt der Ackerböden (vgl. Kap. 4.2.1) erfordern auch eine Anpassung der landwirtschaftlichen Beratung auf regionaler Ebene. Die Landwirte werden durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) in Fragen der Bewirtschaftung, der Humusbilanzierung oder des Gewässerschutzes beraten. Im Rahmen der Cross Compliance-Richtlinien der Europäischen Union sind Direktzahlungen an Landwirte zum Ausgleich von Mehrkosten vorgesehen, um den Erhalt der organischen Substanz im Boden und den Schutz der Bodenstruktur zu gewährleisten. Der Landwirt ist dann zur regelmäßigen Überprüfung der Humusentwicklung seiner Ackerböden verpflichtet. Diese Überprüfung erfolgt durch die jährliche Erstellung einer Humusbilanz, für die es standardisierte Methoden gibt (Körschens et al., 2004; Kolbe, 2007). Die gängigen Methoden berücksichtigen jedoch die Bodeneigenschaften nur teilweise und das Standortklima nicht oder nur sehr eingeschränkt und statisch. Ziel ist daher die Eignung des CANDY-Carbon Balance-Modells (CCB) (vgl. Kap. 4.2.1) als unterstützendes Tool für die landwirtschaftliche Beratungspraxis zu prüfen. Das Modell errechnet den Kohlenstoffumsatz eines Ackerschlaages und bezieht dabei Boden- und Klimakennwerte ein. Das Ergebnis einer Sensitivitätsanalyse soll den Einfluss der verschiedenen Eingabeparameter auf die Modellergebnisse verdeutlichen und dem Anwender zeigen, auf welche Eingangsdaten besondere Sorgfalt zu verwenden ist. Anhand von Fruchtfolgeszenarien wird die Entwicklung der Gehalte an organischer Bodensubstanz (C_{org}) bis 2050 unter dem Klima des Emissionsszenarios A1B (vgl. Kap. 3) beispielhaft simuliert. In Fällen abnehmender C_{org} -Gehalte werden Kompensationsmaßnahmen mit dem CCB-Modell getestet.

Funktion des CCB-Modells und Szenarienbildung

Das CCB-Modell rechnet in Jahresschritten und benötigt neben einem Startwert für den C_{org} -Gehalt die Bodenparameter Steingehalt, Tongehalt und die Kennzeichnung der Korngrößenverteilung (Franko, 2011; Kolbe, 2004). Die Bewirtschaftung wird mit der Fruchtfolge sowie Art und Aufwandmengen an mineralischem und organischem Dünger charakterisiert. Eine wichtige Angabe betrifft die Pflanzenrückstände nach der Ernte. Ihr Verbleib auf dem Feld hat großen Einfluss auf das mögliche Ausmaß der Humusbildung. Entscheidend für die Berechnung des Kohlenstoffumsatzes ist die Angabe des Ertragsniveaus. Hier zeigt sich die gute Eignung des CCB-Modells für die Beratung hinsichtlich künftiger Bewirtschaftung: Die Landwirte können für kommende trockenere Jahre und andererseits für regenreichere Jahre aus ihrer Erfahrung

heraus die auf ihren Äckern zu erwartende Erntemenge einer Feldfrucht gut abschätzen. Zur Berechnung der Humusbilanz eines zurückliegenden Zeitraums werden für die betreffenden Jahre die Jahresmitteltemperatur der Luft und die Niederschlagssummen in CCB eingegeben. Die Abschätzung der künftigen C_{org} -Gehaltsentwicklung erfolgt mittels Klimaprojektionsdaten (vgl. Kap. 4.1.2 und Kap. 3). Diese können, als Jahresmittel oder als mehrjährige (z. B. 30jährige) Mittelwerte der Lufttemperatur und des Jahresniederschlags eingegeben werden. Die Angaben zum Klima bestimmen die modellinterne Berechnung des C-Umsatzes, da alle biochemischen Prozesse von der Temperatur und dem Vorhandensein von Wasser abhängen. Für Bodentemperatur und -wassergehalt gibt es bestimmte Optimalbereiche, sodass die berechneten C-Umsätze mit diesen Parametern variieren (Franko und Oelschlägel, 1995). In einer Sensitivitätsanalyse nach McCuen und Snyder (1986) wurde der Einfluss der Parameter Lufttemperatur, Niederschlagsmenge sowie die Gehalte des Bodens an Ton, Schluff und Steinen auf die Höhe des Simulationsergebnisses untersucht.

Die Getreide-Fruchtfolge zwischen 2008 - 2012 des Versuchsstandortes Hamerstorf (vgl. Kap. 4.1.2, 4.2.1, 4.2.3) sowie eine Energiemais-Fruchtfolge mit unterschiedlichem Maisanteil wurden zur Bildung von Szenarien benutzt. Entsprechende Bewirtschaftungsdaten wurden unter Wiederholung der Fruchtfolgen bis zum Jahr 2050 in das Modell eingegeben. In der Getreide-Fruchtfolge soll das gesamte anfallende Stroh nach der Ernte auf dem Feld verbleiben. Die Energie-Fruchtfolge ist dagegen durch das Abfahren aller pflanzlichen Reste nach der Ernte gekennzeichnet. Die Simulationen erfolgten sowohl mit den langjährigen Mittelwerten für Lufttemperatur und Jahresniederschlag des Zeitraums 1978 - 2010 (vgl. Kap. 4.2.1) als auch mit den Klimaprojektionsdaten für das Emissionsszenario A1B. Zur Abbildung des Einflusses einer stärkeren Temperaturerhöhung wurde zusätzlich mit einer mittleren Temperaturzunahme von 4 °C simuliert, die etwa dem Emissionsszenario A1FI entspricht (IPCC, 2007). Um die variierenden physikalischen Bodeneigenschaften im Simulationsergebnis zu berücksichtigen, wurden die Simulationen mit den Oberbodendaten aller 27 untersuchten ackerbaulichen Flächen durchgeführt (vgl. Kap. 4.2.1). Die auf diese Weise erzeugten Ergebnisse bilden eine sogenannte Bandbreite und sind wesentlich belastbarer als die Simulation mit einer bestimmten Korngrößenverteilung.

Prognostizierte Wirkung von Bewirtschaftung und Klima auf den C_{org}-Gehalt der Böden

Die Sensitivitätsanalyse ergab einen gleich starken Einfluss der Parameter Lufttemperatur und Tongehalt des Bodens auf die simulierten C_{org}-Werte. Während die Temperaturerhöhung durch verstärkten Humusabbau den C_{org}-Gehalt senkt, steigt er mit dem Tongehalt aufgrund physikalischer und chemischer Stabilisierung in Aggregaten. Der mittlere Tongehalt der untersuchten Böden beträgt 6,5 % (Mittelwert und auch Median); die Spannweite beträgt 2,5 % - 10,2 %. Die Parameter Steingehalt, Schluffgehalt und Jahresniederschlag zeigten einen wesentlich geringeren Einfluss auf die Simulationsergebnisse. Unter der Annahme eines künftigen Klimas, das dem des Zeitraums 1978 - 2010 entspricht, simuliert CCB für die reine Getreide-Fruchtfolge nur für die Oberböden mit Tongehalten von 4 % und weniger abnehmende C_{org}-Gehalte (Abb. 4.2.4). Für die Böden mit höherem Tongehalt steigen sie sogar an. Der Einfluss eines Anstiegs der Jahresmitteltemperatur um etwa 2 °C (Emissionsszenario A1B) wird vom CCB-Modell durch eine Absenkung der C_{org}-Gehalte um 0,03 % (1,3 t/ha für die Sandböden) bis 2050 abgebildet. Dabei ist ein konstantes Ertragsniveau vorausgesetzt worden, das z. B. durch Beregnung erreicht werden kann. Böden mit Tongehalten von bis zu 5 % werden voraussichtlich C_{org}-Verluste erleiden. Für die Böden mit Tongehalten > 5,5 % wurden steigende C_{org}-Gehalte simuliert.

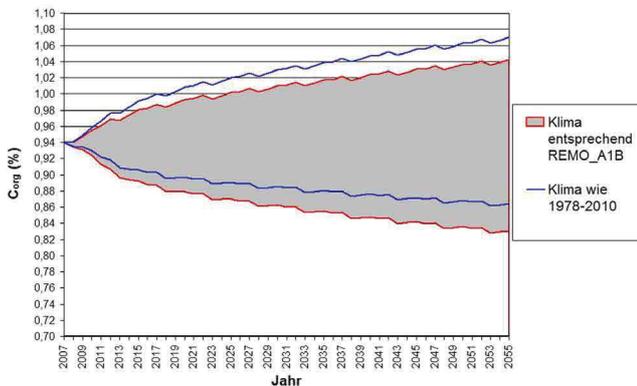


Abb. 4.2.4: Bandbreiten der C_{org}-Entwicklung bis 2050 für die Getreide-Fruchtfolge: Klima wie 1978 - 2010 (blau) und entsprechend dem Emissionsszenario A1B (rot mit grauer Fläche)

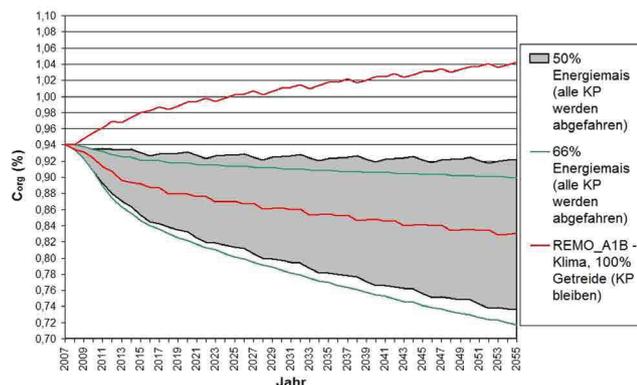


Abb. 4.2.5: Bandbreiten der C_{org}-Entwicklung bis 2050 für die Energie-Fruchtfolge: Klimaprojektion wurde entsprechend dem Emissionsszenario A1B (KP = Koppelprodukte) gewählt.

Bei optimaler Beregnung (hier nicht dargestellt) können aufgrund der großen Mengen pflanzlicher Biomasse die meisten Sandböden voraussichtlich ihren Humusspiegel zumindest halten. Nur die Böden mit Tongehalten < 3 % erleiden einen geringfügigen Rückgang der C_{org}-Gehalte. Die Abnahme beträgt für alle Böden im Klimaszenario A1B 0,03 % bis 2050.

Bei Energie-Fruchtfolgen, in denen neben dem Mais auch die Erntereste der übrigen Feldfrüchte nach der Ernte vom Acker entfernt werden, erleiden alle Böden deutliche C_{org}-Verluste, die sich trotz des Anbaus von Ölrettich (alle drei Jahre) als Gründüngung im Durchschnitt auf 0,11 % belaufen (Abb. 4.2.5). Dies entspricht etwa 4,8 Tonnen pro Hektar. Zur Kompensation der Humusverluste werden heute zunehmend die Gärreste der Maissilage aus der Biogasanlage auf den Acker zurückgeführt. Zum Erhalt der organischen Bodensubstanz sind jedoch zusätzliche Maßnahmen, wie regelmäßiger Zwischenfruchtanbau, erforderlich.

Ein praktisches Beispiel für die Empfehlung von Kompensationsmaßnahmen zur Begegnung einer negativen Humusbilanz, die auf eine humuszehrende Fruchtfolge und zusätzlichen Humusabbau infolge steigender Temperaturen zurückzuführen ist, zeigt Abbildung 4.2.6. In diesem Beispiel wird mittels Zwischenfruchtanbau zumindest der Anteil des C_{org}-Rückgangs ausgeglichen, der dem Klimawandel zuzurechnen ist. Im Falle des Emissionsszenarios A1FI, dem zufolge mit einer stärkeren Temperaturzunahme um ca. 4 °C zu rechnen ist, wird zum Ausgleich eine zusätzliche Maßnahme erforderlich, z. B. die einer Kompostapplikation.

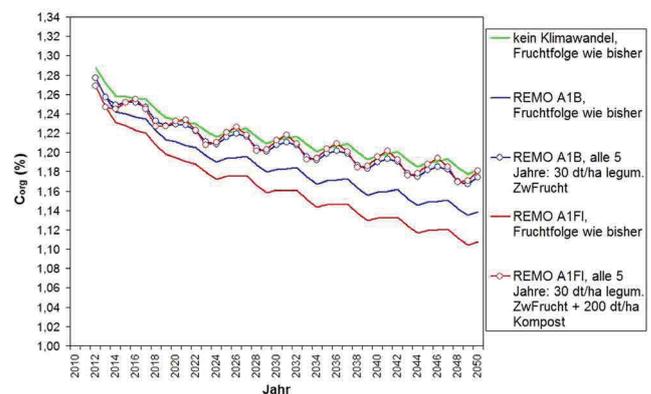


Abb. 4.2.6: Anpassung an den Klimawandel im Ackerbau: Kompensation des erhöhten C_{org}-Abbaus (ZwFrucht = Zwischenfrucht)

Eine für die Beratungspraxis geeignetere Darstellung ist mit dem Vergleich von C_{org} -Gehalten möglich, die unter den gegebenen Bedingungen ein Fließgleichgewicht darstellen (Abb. 4.2.7). Dies kann ein Säulendiagramm sein, in dem eine Toleranzgrenze als Mindestwert für den C_{org} -Gehalt markiert werden kann. Die Höhe der weinroten Säulen stellt die für 2050 errechneten C_{org} -Gehalte dar. Die grünen Säulen dagegen zeigen die Gleichgewichtswerte an, die sich langfristig einstellen werden, gleich bleibende Bewirtschaftung und klimatische Verhältnisse vorausgesetzt. In dem vorliegenden Beispiel liegen die für die Klimaszenarien A1B und A1FI errechneten Werte des Fließgleichgewichts unterhalb der festgesetzten Toleranzgrenze von 0,9 % C_{org} . Die gewählten Maßnahmen zur Humusanreicherung kompensieren den durch Klimawandel bedingten C_{org} -Rückgang.

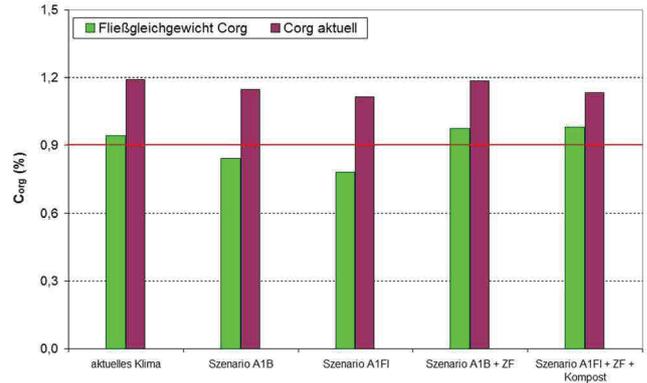


Abb. 4.2.7: Fließgleichgewichtswerte für den C_{org} -Gehalt, Simulationsergebnisse für 2050 (ZF = Zwischenfrucht): Die rote Linie kennzeichnet das Beispiel für einen festgelegten Mindestwert für den C_{org} -Gehalt, der nicht unterschritten werden soll.

Der Transferprozess in die Beratungspraxis und Fazit

In Vortragsveranstaltungen und Workshops sind alle betroffenen Akteure in die Nutzung des Modells in der Beratungspraxis einbezogen worden (Abb. 4.2.8). Während der späteren vorbereitenden Arbeiten an einer Datenbank für den Testbetrieb stellte sich heraus, dass gerade der Tongehalt als besonders bestimmender Bodenparameter durch die Landwirte selbst schwer zu ermitteln ist.

Die räumliche Auflösung der Daten, die Bodenkarten zu entnehmen sind, ist in der Regel zu grob, um für das Modell genutzt zu werden. Aus diesem Grund wurde

die vorstehende Methode der Bandbreitenermittlung gewählt. So kann dem Landwirt in der Beratung ein Wahrscheinlichkeitsbereich für die Entwicklung der C_{org} -Gehalte seiner Ackerschläge an die Hand gegeben werden. Künftig werden nicht nur die Folgen der Klimaerwärmung, sondern vielerorts auch die C_{org} -Verluste durch Energie-Fruchtfolgen auszugleichen sein. Dafür bietet sich neben der Zufuhr organischer Materialien besonders in Maisfruchtfolgen auch die Grasuntersaat an, die gleichzeitig einen Erosionsschutz während der gesamten Vegetationsperiode gewährleistet.

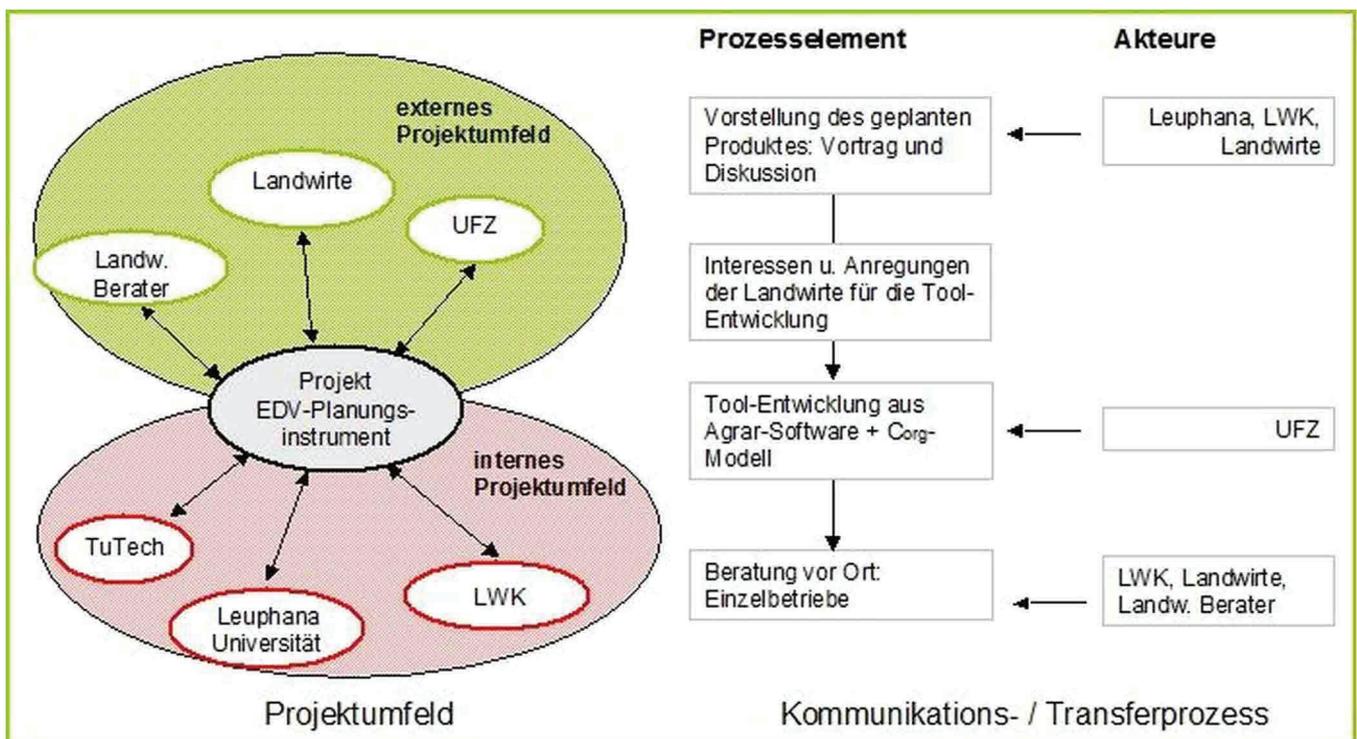


Abb. 4.2.8: Planungsinstrument für eine klimaangepasste Landnutzung (Entwurf: K. Schmelmer)

4.2.3 Anpassungsstrategien im Ackerbau

Regina Asendorf, Jürgen Grocholl, Alix Mensching-Buhr, Karin Schmelmer, Brigitte Urban

Schon unter den aktuellen Klimabedingungen tritt im Modellgebiet regelmäßig Wassermangel in der Vegetationsperiode auf. Da zudem sandige Böden mit geringem Wasserspeichervermögen in weiten Teilen der Region vorherrschen, haben sich die Landwirte seit Jahrzehnten an diese naturraumtypischen Gegebenheiten angepasst. Wichtigste Maßnahme auf den Betrieben ist dabei der Einsatz der Feldberegnung. Durch die klimawandelbedingte Abnahme der Niederschlagsmenge in den Sommermonaten bei gleichzeitig steigenden Temperaturen wird der zeitweilige Wassermangel weiter zunehmen. Zur Ertragsabsicherung der landwirtschaftlichen Kulturen werden daher Maßnahmen zur Sicherung einer ausreichenden Wasserversorgung ein noch wichtigerer Faktor sein als bisher.

Eine entscheidende Rolle wird sicherlich eine optimierte Beregnung in angepassten Strukturen spielen (vgl. Kapitel 4.2.4, 4.4.2). Die Verfügbarkeit des für die Beregnung erforderlichen Wassers (vgl. Kapitel 4.1.3, 4.1.4) und die mit zunehmender Beregnung steigende Arbeits- und Kostenbelastung für die landwirtschaftlichen Betriebe setzen hier jedoch Grenzen. Daher wird die Optimierung der Anbauverfahren im Hinblick auf eine effiziente Wassernutzung zunehmend wichtiger.

Um die Effizienz der Wassernutzung zu verbessern (d. h., mit dem vorhandenen Wasser mehr Pflanzenmasse bzw. Ernteprodukt zu produzieren) sind zwei Ansätze möglich:

1. Minimierung der unproduktiven Wasserverluste (Sickerung, Abfluss, Evaporation, Transpiration von Nicht-Kulturpflanzen, Interzeptionsverluste) z. B.:
 - Erhöhung der Infiltration und Verminderung der unproduktiven Verdunstung durch Bedeckung des Bodens (Mulchsaat, Zwischenfrüchte)
 - Verringerung der Bodenbearbeitungsintensität (konservierende Bodenbearbeitung)
 - Verbesserung des Wasserhaltevermögens der Böden, die vor allem durch Erhöhung des Humusgehaltes erreicht werden kann.
2. bessere Ausnutzung des vorhandenen Wassers durch die Pflanzen, z. B.:
 - Anbau von Arten und/oder Sorten mit hoher Wassernutzungseffizienz,
 - Optimierung der Anbautechnik, z. B. bei Bestandsdichte, Beregnungssteuerung, Düngung.

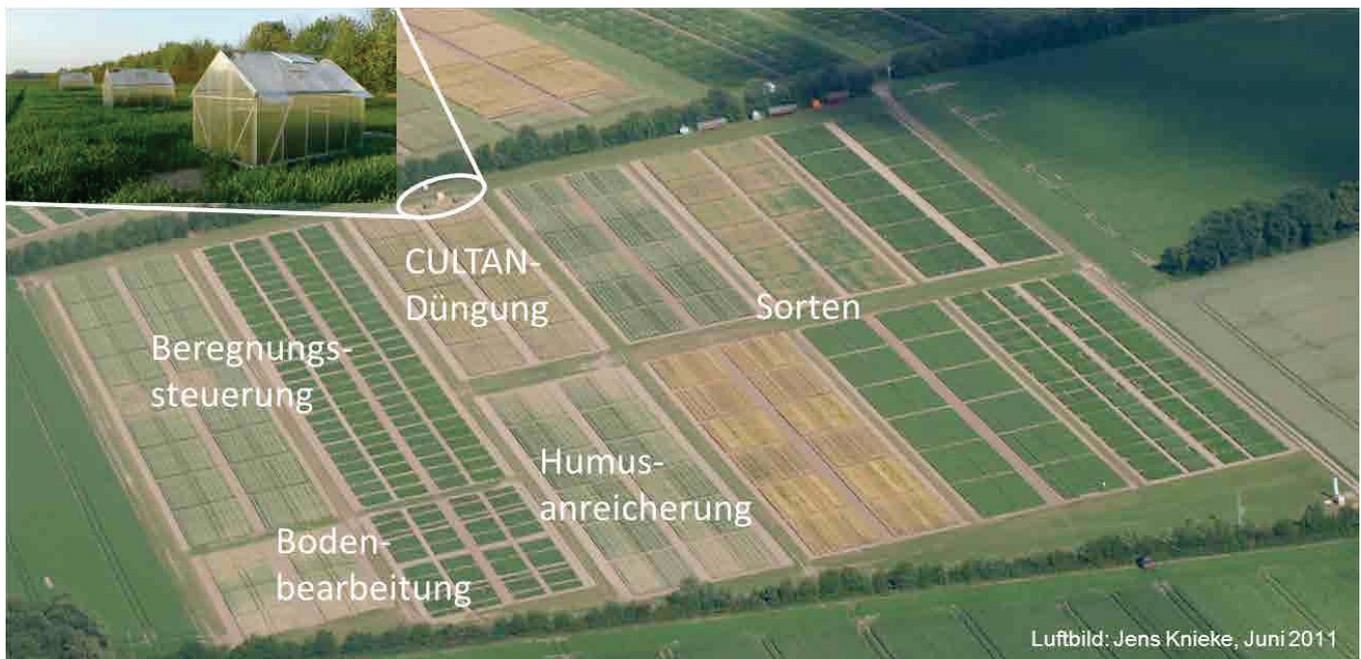


Abb. 4.2.9: Versuchsfeld Hamerstorf der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Luftbild der Versuchsanlagen und Kleingewächshäuser als Klimahäuser (Entwurf: J. Grocholl, 2013; Foto Gewächshaus: K. Schmelmer)

Inwieweit diese aus der Literatur bekannten Maßnahmen unter den Bedingungen im Modellgebiet zur Problemlösung beitragen können, wird auf der Versuchsstation Hamerstorf der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Exaktversuchen geprüft (Abb. 4.2.9). Um Aussagen zur Eignung der Verfahren bei zukünftig größerer Trockenheit treffen zu können, erfolgt die Prüfung bei unterschiedlicher Wasserversorgung, die durch Beregnung hergestellt wird. Die unberegnete Variante erhält die natürlichen Niederschläge, in einer reduziert beregneten Variante wird ab 35 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK) Zusatzwasser gegeben, in der optimal beregneten Variante ab 50 % der nFK. Die geringste Wasserversorgung ist auf die natürlichen Niederschläge des Versuchsjahres begrenzt. Die Jahre 2010 bis 2012 wiesen jeweils Vorsommertrockenheit zu verschiedenen Phasen der Getreidevegetation auf und lassen somit Aussagen auch für die Witterung im Jahr 2050 zu.

Bodenbearbeitung und Saattechnik

Die Möglichkeit, durch eine konservierende Bodenbearbeitung (Ersatz des Pfluges durch einen Grubber) die Effizienz der Wassernutzung zu steigern, wurde bisher in drei Versuchsjahren geprüft. Im 2. und 3. Versuchsjahr zeigte Winterweizen deutliche Ertragsminderungen von nahezu 60 % bei unterlassener im Vergleich zur pflanzenbaulich optimalen Beregnung. Das Ausmaß dieser Mindererträge war jedoch sowohl in der gepflügten als auch in der konservierend bearbeiteten Variante annähernd identisch. Beide Bodenbearbeitungsvarianten waren im Übrigen nahezu ertragsgleich. Auch in den jeweils einjährig geprüften Kulturen Kartoffel und Zuckerrübe zeigte sich bisher keine verbesserte Wasserausnutzung bei konservierender Bearbeitung. Allerdings ist zu bedenken, dass Veränderungen im Boden in der Regel mehrere Jahre benötigen, daher sind abschließende Aussagen nach wenigen Versuchsjahren nicht möglich.

In einem weiteren Versuch wurde an Zuckerrüben die neue Methode der Schlitzsaat, bei der der Boden nur unter der Saatreihe gelockert wird, mit der Mulchsaat nach ganzflächiger Lockerung mit einem Grubber verglichen. Im Jahr 2012, in dem zur Hauptwachstumszeit der Rübe Trockenheit herrschte, war der Ertrag bei unterlassener im Vergleich zur optimalen Beregnung bei der Mulchsaat um 10,2 %-Punkte reduziert, bei der Schlitzsaat dagegen nur um 6,9 %-Punkte. Auch im Mittel aller Beregnungsstufen führte die Schlitzsaat zu höheren Erträgen. In früheren Prüfjahren führte die Schlitzsaat dagegen teilweise zu Mindererträgen, die auf Probleme bei der Aussaat und infolge geringerer Feldaufgänge zurückzuführen waren. Dieses Beispiel zeigt eindringlich, dass für hohe Erträge und damit verbunden für eine hohe Wassernutzungseffizienz in erster Linie eine gute Etablierung und optimale Versorgung (Düngung, Pflanzenschutz) des Feldbestandes erforderlich ist.

Im Vergleich zu Veränderungen bei der Bodenbearbeitung sind durch Maßnahmen zur Humusanreicherung deutlichere Wirkungen zu erwarten. Die ersten Ergebnisse dieser Versuche sind in Kapitel 4.2.1 dargestellt.

Kulturarten und Sorten

Verschiedene Arten haben einen unterschiedlichen Wasserbedarf (Menge und Zeitpunkt) und damit auch einen unterschiedlichen Bedarf an Zusatzbewässerung. Eine langjährige Versuchsreihe zeigt, dass nur wenige der derzeit angebauten Kulturarten mit einer reduzierten Beregnung zum wirtschaftlichen Optimum gelangen können. Dies ist beispielsweise bei Zuckerrüben und Silomais der Fall, dagegen erfordert der Anbau von Winterweizen, -gerste und insbesondere der Kartoffel eine optimale Beregnungsgabe ab 50 % der nutzbaren Feldkapazität nFK (Grocholl und Riedel, 2012). Größere Möglichkeiten zum Wassersparen ergibt eventuell der Anbau anderer, trockenheitsangepasster Kulturarten. Allerdings setzt der wirtschaftlich erfolgreiche Anbau einer Kultur immer auch entsprechende Vermarktungsmöglichkeiten voraus. In den meisten Fällen wird der Markt für alternative Kulturen begrenzt sein, dennoch kann ihr Anbau für einige Landwirte eine wertvolle Anpassungsmöglichkeit an zunehmende Trockenheitsprobleme darstellen. Ein Beispiel für eine solche Kulturart ist die äthiopische Hirse Teff (Abb. 4.2.10).

Ihr Anbau ist auch für den europäischen Markt interessant, da sie glutenfrei ist und als diätetisches Lebensmittel vermarktet werden kann. Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass Teff generell unter norddeutschen Standortbedingungen und mit vorhandener Technik angebaut werden kann. In sehr starken Trockenphasen scheint jedoch auch hier eine Zusatzwasserversorgung für eine erfolgreiche Produktion erforderlich zu sein. In dieser und vielen anderen Fragen der Anbautechnik besteht noch erheblicher Forschungsbedarf. Problematisch ist ein 2007 erteiltes Patent auf Teff-Mehl mit einer Mindestfallzahl von 250. Dieses Mehl darf daher nur vom Patentinhaber oder nach entsprechender Lizenzierung erzeugt werden. Der Anbau von Teff ist somit zurzeit aus rechtlichen Gründen kaum möglich.



Abb. 4.2.10: Zwerghirse Teff (*Eragrostis tef*): Rispe und Körner (LWK Niedersachsen).

Unterschiede in der Wassernutzungseffizienz bestehen nicht nur zwischen Arten, sondern auch zwischen verschiedenen Sorten einer Art. Unterschiedliche im Handel befindliche Sorten von Wintergerste und -weizen wurden im Rahmen des von der EU geförderten Projektes „Aquarius“ im Versuch geprüft. Die Ergebnisse bestätigen die Differenzen in der Effizienz der Wassernutzung, allerdings ist die Rangfolge der Sorten in starkem Maße vom Prüffahr mit jeweils unterschiedlicher Niederschlagsverteilung abhängig. Alle geprüften Sorten erreichten die höchsten Erträge erst bei pflanzenbaulich optimaler Beregnung ab 50 % der nFK. Bei unsicherer Wasserversorgung sollen zur Risikoabsicherung mehrere Sorten mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Niederschlagsverteilung angebaut werden (Grocholl und Riedel, 2012). Die Fortführung der Prüfung mit einem anderen Sortenspektrum hat bisher nicht zu anderen Aussagen geführt. Die ersten Ergebnisse einer Prüfung von vier Kartoffelsorten deuten dagegen auch in verschiedenen Prüffahren gleichgerichtete Sortenunterschiede an. Für abschließende Aussagen müssen noch weitere Prüffahre abgewartet werden.

Bestandesdichte und Düngung

Neben den bisher genannten haben auch Maßnahmen der Anbautechnik Einfluss auf die Effizienz der Wassernutzung des Pflanzenbestandes. Auf leichten Sandstandorten in Trockengebieten werden vielfach geringere Bestandesdichten empfohlen. Die Prüfung verschiedener Saatstärken in zwei Versuchsjahren mit zwei Winterweizensorten zeigte jedoch nur in einem Fall sehr leichte, tendenzielle Vorteile der geringsten Saatstärke bei mangelnder Wasserversorgung (unberegnete Variante).

Bei der Stickstoffdüngung im Getreide werden in der Praxis aktuell zumeist drei Nitratstickstoff-Düngergaben breitflächig verteilt. Eine bessere Düngerverfügbarkeit und damit ein besseres Pflanzenwachstum auch bei Trockenheit soll durch das CULTAN-Verfahren erreicht werden. Dabei werden durch eine einmalige Dünger-Injektion punktuelle, hochkonzentrierte Ammonium-Düngerdepots im Boden angelegt (Abb. 4.2.11). Vorteil soll auch eine minimierte Stickstoffauswaschung über den Winter sein. Daher wurde das anfallende Sickerwasser mit Passiv-Sickerwassersammlern, die in 80 cm Bodentiefe eingebaut wurden, aufgefangen.

Der differenzierte Beregnungseinsatz (ohne, reduziert und optimal) bewirkte eine Ertragssteigerung, aber zwischen den Beregnungsstufen „reduziert“ und „optimal“ ergab sich

kein signifikanter Unterschied (Abb. 4.2.12). Es konnten keine Ertragsvorteile des CULTAN-Verfahrens gegenüber der breitflächigen Düngung festgestellt werden, obwohl deutliche optische Unterschiede im Pflanzenwuchs während des frühen Vegetationsverlaufs sichtbar waren. Die Cultan-Bestände holten den Wachstumsvorsprung der früh angedüngten breitflächig gedüngten Varianten zum Schossen gut auf und stellten sich dann meist dunkler grün dar.

Aufgrund von Bodenunterschieden erfolgt die Auswertung der Sickerwassersammler getrennt nach dem leichteren und dem lehmigeren Schlagteil (Abb. 4.2.13). Die im Sickerwasser gemessene Nitrat-Stickstoffmenge zeigt bisher leichte Tendenzen, dass die Injektionsdüngung geringere Stickstoffausträge gegenüber der breitflächigen Düngung aufweist. Besonders deutlich ist die Differenzierung in den unberegneten Varianten. Da das Sickerwasser der Ernte 2012 erst im Januar bis Februar 2013 aufgefangen werden kann, sind erst zwei Versuchsjahre darstellbar.



Abb. 4.2.11: Sternrad zur Düngerinjektion (A. Mensching-Buhr)

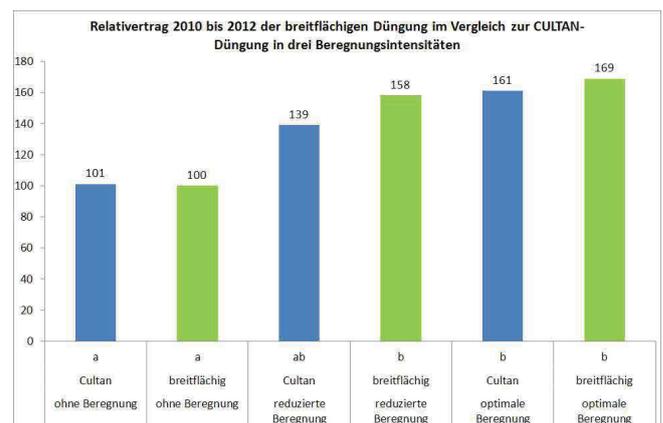


Abb. 4.2.12: Ertragsniveau relativ in Getreide 2010 bis 2012.

| Nitrat-N kg/ha gesamt | 1. u. 2. Wiederholung Sand | | | | | | 3. u. 4. Wiederholung lehmiger Sand | | | | | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | ohne Beregnung | | reduzierte Beregnung | | optimale Beregnung | | ohne Beregnung | | reduzierte Beregnung | | optimale Beregnung | |
| | Cultan | breite Düngung | Cultan | breite Düngung | Cultan | breite Düngung | Cultan | breite Düngung | Cultan | breite Düngung | Cultan | breite Düngung |
| | 11,3 | 53,4 | 7,3 | 30,1 | 49,5 | 44,7 | 40,3 | 56,1 | 42,3 | 34,6 | 33,6 | 40,6 |

Abb. 4.2.13: Nitrat-N-Menge im Sickerwasser März 2010 bis Dezember 2012 (hochgerechnet auf Hektar) (A. Mensching-Buhr)

Beide Düngerverfahren haben je nach Niederschlagsversorgung ein ähnliches Ertragsniveau. Die Cultan-Düngung kann bei fehlendem Niederschlagswasser in der Variante ohne Beregnung bisher keine Ertragsvorteile zeigen, aber die geringeren Nitratgehalte des Sickerwassers deuten eine verbesserte N-Effizienz an. Die geringeren Auswaschungsverluste sind insbesondere vor dem Hintergrund zukünftig zunehmender Winterniederschläge (= höhere Auswaschungsverluste) bedeutsam.

Temperatur- und CO₂-Effekt

Nach Untersuchungen in Gewächshäusern (Klimahäuser, Abb. 4.2.9) wirkt sich eine von 390 ppm auf 550 ppm erhöhte CO₂-Konzentration der Luft signifikant auf die Entwicklung von Wintergetreide aus. Die Gesamtlänge der Pflanzen und der Ähren sowie tendenziell die Bestandesdichte nahmen zu. Insgesamt konnte eine Erhöhung der pflanzlichen Biomasse (Trockenmasse) ermittelt werden, durch die sich der zur Humusbildung verfügbare Kohlenstoff für die Nitratdünger-Variante um 3 % und für die CULTAN-Variante um 17 % erhöhte. Demnach ergibt sich ein positiver Effekt für die Humusbilanz des Bodens (vgl. Kapitel 4.2.1). Alle genannten Wirkungen zeigten bei der CULTAN-Variante eine deutlich stärkere Ausprägung als bei konventioneller Nitratdüngung. Daher ist zu vermuten, dass Wintergetreide im Klimawandel bei dieser Düngemethode gegenüber konventionell gedüngtem Getreide im Vorteil sein wird. Die durchschnittlich 2,3 °C höhere Lufttemperatur in den Klimahäusern bewirkte unabhängig von der CO₂-Konzentration eine beschleunigte Entwicklung des Getreides und ebenfalls eine größere Gesamtlänge der Pflanzen und der Ähren. Die Wirkung blieb aber deutlich hinter dem kombinierten Temperatur-CO₂-Effekt zurück (vgl. Abb. 4.2.14). Zur Wirkung der CO₂-Konzentration auf Korngewicht und Ertrag besteht weiterer Forschungsbedarf.

Fazit

Insgesamt können Wasserverluste durch anbautechnische Maßnahmen vermindert und die Nutzung des vorhandenen Wassers durch den Pflanzenbestand verbessert werden. Der wassersparende Beitrag jeder einzelnen dieser Maßnahmen (Arten- und Sortenwahl, Bodenbearbeitung, Saatverfahren und -stärke, Düngung) ist gering. Im Zusammenspiel leisten sie aber einen Beitrag zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz. Positiv kann sich bei einigen Kulturarten auch der gestiegene CO₂-Gehalt der Luft auswirken. Unter den erwarteten Bedingungen im Modellgebiet ist aber selbst die Nutzung aller dieser Möglichkeiten nicht ausreichend zur Sicherstellung des Wasserbedarfs der Feldkulturen. Beregnung bleibt daher ein Kernelement zukünftiger Landwirtschaft in der Modellregion, eine entsprechende Wasserverfügbarkeit ist daher wichtig.

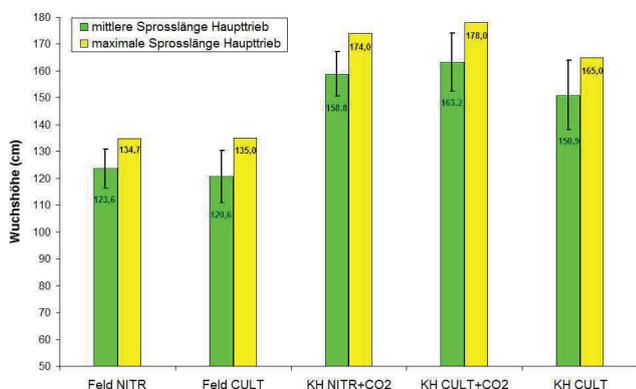


Abb. 4.2.14: Mittlere und maximale Wuchshöhe des Winterroggens 2012 auf freiem Feld und in den Klimahäusern (NITR = Nitratdüngung, breitgestreut; CULT = CULTAN-Düngung; KH = Klimahaus; die schwarzen Balken geben die Standardabweichung an) (K. Schmelmer)

4.2.4 Zukunftsfähige Feldberegnung

Ekkehard Fricke, Angela Riedel, Imke Mersch

In der Lüneburger Heide ist Wasser für die Landwirtschaft ein begrenzender Produktionsfaktor. Die sandigen Böden mit ihrer geringen Wasserspeicherkapazität und der negativen klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode bilden hierfür die wesentliche Ursache. Als eine Folge des Klimawandels wird eine zeitliche Verlagerung der Niederschläge von den Sommermonaten in den Winter projiziert, sodass die Bedeutung der Zusatzbewässerung künftig weiter steigen wird. Die verfügbaren Wasserentnahmemengen sind jedoch begrenzt. Daher stellt sich die Frage nach einer zukunftsfähigen Feldberegnung, die unter den Anforderungen des Klimawandels und der steigenden Nachfrage nach Lebensmitteln und nachwachsenden Rohstoffen die Produktion auch in trockenen Phasen, vor allem auf den leichten Böden, sichern kann und gleichzeitig zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung des Grundwassers beiträgt.

Die Möglichkeit der effizienteren Wassernutzung durch den Einsatz von Beregnungssteuerungsmodellen wurde im Rahmen von KLIMZUG-NORD im Feldversuch geprüft. Die Ergebnisse werden näher vorgestellt.

Bausteine einer zukunftsfähigen Feldberegnung

Für eine Anpassung der Feldberegnung an künftige Herausforderungen gibt es verschiedene Ansatzpunkte (Abb. 4.2.15). Dabei darf die Umsetzung von Maßnahmen nicht auf die einzelbetriebliche Ebene beschränkt bleiben, vielmehr müssen die Maßnahmen ineinandergreifen und regional ansetzen.

Die Erhöhung der zur Entnahme verfügbaren Grundwassermenge ist ein Baustein zur Sicherung der Feldberegnung. Hierzu wurden in KLIMZUG-NORD Demonstrationsvorhaben zum Waldumbau (vgl. Kap. 4.1.3) und der Versickerung von gereinigtem Abwasser (vgl. Kap. 4.1.4) umgesetzt.

Solche übergeordneten Ansätze, die über die einzelbetriebliche Ebene hinausgehen, erfordern eine frühzeitige Zusammenarbeit aller Akteure und die Schaffung der nötigen politischen Rahmenbedingungen (vgl. Kapitel 4.4.2, 4.4.3).

Die Umsetzungsmöglichkeiten sind jedoch begrenzt, sodass auch ein sparsamer und effizienter Umgang mit dem knappen Faktor Wasser notwendig ist. Ansatzpunkte auf einzelbetrieblicher Ebene sind zum einen pflanzenbauliche Maßnahmen (vgl. Kap. 4.2.3) und zum anderen ein technisch wie strategisch optimierter Einsatz der Bewässerung.

In der Beregnungstechnik kann die Verwendung energie- und wassereffizienter Kreis- und Linearberegnungsanlagen helfen, das Wasser verlustärmer und gleichmäßiger auszubringen, wenn die Agrarstruktur dies zulässt (vgl. Kap. 4.4.2). Auch mit der Tropfbewässerung ist eine sehr effiziente Verteilung des Zusatzwassers möglich. Diese Technik ist jedoch sehr aufwendig und teuer, weshalb sie in Ackerkulturen meistens sehr unwirtschaftlich ist. Ein optimiertes Beregnungsmanagement ist eine weitere Möglichkeit für den einzelnen Betrieb, Wasser einzusparen. Hier setzt das nachfolgend beschriebene Projekt an. In einem Feldversuch wurden die Auswirkungen verschiedener Modelle zur Beregnungssteuerung auf die Erträge und Qualitäten der Ernteprodukte sowie den Wasserverbrauch untersucht.



Abb. 4.2.15: Bausteine für eine zukunftsfähige Feldberegnung (I. Mersch)

Was sind Beregnungssteuerungsmodelle?

Beregnungssteuerungsmodelle dienen dazu, herauszufinden, wann welche Kultur wie viel beregnet werden muss. Da die Zusammenhänge zwischen Boden, Pflanze und Klima sehr komplex sind, lässt sich diese Frage nicht allgemeingültig beantworten, sondern muss standortbezogen immer wieder neu gestellt werden. Zu diesem Zweck sind unterschiedliche anwendungsbezogene Berechnungsmethoden entwickelt worden. Sie sind zum Teil kostenpflichtig als Beratungsdienstleistung oder als EDV-Programm erhältlich, andere sind kostenlos nutzbar. Die Modelle berechnen die vom Pflanzenbestand verdunstete Wassermenge und teilweise auch den Bodenwasserhaushalt. Dem werden die in dem jeweiligen Entwicklungsstadium der Kultur benötigten Wassermengen gegenübergestellt, woraus Empfehlungen zum Zeitpunkt und zur Höhe der Wassergabe abgeleitet werden. Da den Modellen verschiedene Algorithmen zugrundeliegen, sind unterschiedliche Empfehlungen zu erwarten.

Versuchsanlage

Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurden vier Beregnungssteuerungsmodelle miteinander verglichen. Ziel der Untersuchung war es, zu überprüfen, ob durch die verschiedenen Berechnungsmethoden eine gute Beregnungssteuerung möglich ist und ob es Unterschiede in der Güte der Empfehlungen gibt. Ein Erfolgsparameter ist die Ermittlung von Mehrerträgen gegenüber einer Vergleichsparzelle ohne Beregnung. Weiterhin ist die Wassernutzungseffizienz, d. h. das Verhältnis von Erntemenge zu eingesetztem Zusatzwasser (dt Ertrag / mm Zusatzwasser) wichtig. Durch einen optimierten Einsatz der Beregnung mit hoher Effizienz können Kosten eingespart und die Grundwasserressourcen geschont werden, ohne wesentliche Ertragseinbußen zu erleiden. Die Ergebnisse fanden bereits während der Versuchslaufzeit Eingang in die Beregnungspraxis.

Der Versuch wurde in den Jahren 2010 bis 2013 auf dem Versuchsfeld Hamerstorf der Landwirtschaftskammer Niedersachsen im Landkreis Uelzen in Hackfrüchten (Kartoffeln, ab 2012 Zuckerrübe) und Winterweizen jeweils mit zwei Sorten als Exaktversuch mit 4-facher Wiederholung durchgeführt.

Eingangsgrößen zur Berechnung des Bodenwasserhaushaltes waren zum einen Bodenkenndaten, die zu Beginn der Versuche genau ermittelt wurden, sowie stundengenaue Wetterdaten der Wetterstation des Versuchsfeldes, anhand derer der Deutsche Wetterdienst die potenzielle Evapotranspiration errechnete. Darüber hinaus wurde eine Wettervorhersage für den Standort bereitgestellt. Daten und Fotos zur Entwicklung der Pflanzenbestände wurden ebenfalls an die Versuchsbeteiligten übermittelt. Zusätzlich erfolgte eine Bestimmung der Bodenfeuchte über eingebaute Sonden zur Überprüfung der berechneten Werte.

Auf Basis dieser Informationen bestimmten die Modellbetreiber Zeitpunkt und Höhe der Wassergaben für ihre Versuchspartellen. Auf dem Versuchsfeld erfolgte eine präzise Umsetzung der Vorgaben. Erfahrungen aus den Versuchsjahren wurden dazu genutzt, die Modelle fortlaufend zu kalibrieren und anzupassen.

Erste Ergebnisse

Erste Ergebnisse der Versuche ergaben, dass mit einer optimalen Beregnungssteuerung eine hohe Wassernutzungseffizienz bei gleichzeitig hohem Ertrags- und Qualitätsniveau erreicht werden kann. Dabei bedeutet der höchste Wassereinsatz nicht zwangsläufig den höchsten Ertrag. Vielmehr kommt es darauf an, die Beregnung optimal an die Ansprüche der jeweiligen Kulturart und Sorte anzupassen. Wenn das gelingt, kann Wasser eingespart werden, ohne auf Ertrag oder Qualität verzichten zu müssen. Dies war in den Versuchen allerdings nur innerhalb eines gewissen Bereichs möglich. Wurde die Wassermenge zu stark reduziert, waren Ertragseinbußen die Folge. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass Sortenunterschiede bei der Reaktion auf Trockenstress bzw. Beregnung existieren und diese für ein optimiertes

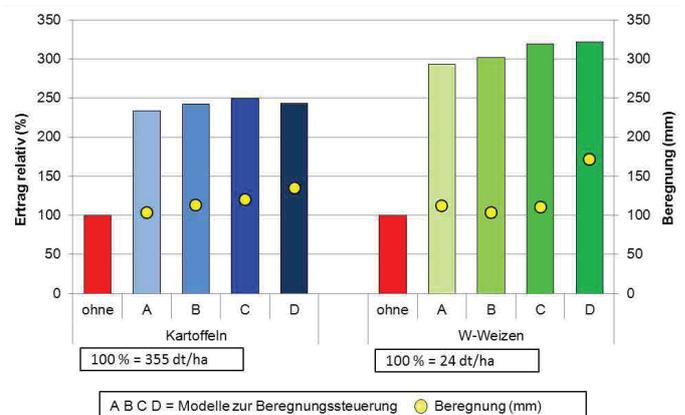


Abb. 4.2.16: Beregnung ist eine wichtige Maßnahme zur Sicherung der Erträge im Ackerbau. Erträge (relativ) von Kartoffeln und Winterweizen (Mittel der Jahre 2010 und 2011) ohne und mit Beregnung durch vier unterschiedliche Modelle zur Beregnungssteuerung, Vergleichsparzelle (Ertrag ohne Beregnung) gleich 100 % gesetzt (A. Riedel)

Beregnungsmanagement berücksichtigt werden müssen. Ohne Beregnung kam es in den Jahren 2010 und 2011 sowohl im Weizen als auch in Kartoffeln zu ausgeprägten Ertragseinbrüchen, die zudem von Qualitätsmängeln begleitet waren (hoher Anteil nicht vermarktungsfähiger Untergrößen bei Kartoffeln und Kümmerkorn bei Weizen). Die große Bedeutung der Feldberegnung für die Ertragsabsicherung in von Trockenheit betroffenen Regionen wurde in diesem Versuch erneut deutlich.

Die Parzellen ohne Beregnung dienen zur Kontrolle für die erzielbaren Mehrerträge bei unterschiedlicher Beregnungssteuerung und wurden für diesen Vergleich mit 100 % gleichgesetzt. Mit Beregnung wurden im Durchschnitt Mehrerträge gegenüber den unberegneten Varianten bei Kartoffeln um das 2,3-fache (230 %) und beim Weizen um das 3-fache (300 %) erreicht. Bei den einzelnen Modellen unterschieden sich die Erträge jedoch nur geringfügig, obwohl sie zu unterschiedlichen Ergebnissen für den Einsatz der Beregnung nach Menge, Einsatzzeitpunkt und Gabelhöhe kamen. Für eine hohe Effizienz der Umsetzung des zusätzlich zugeführten Wassers in Ertrag ist zum einen eine möglichst exakte Berechnung des Wasserverbrauchs und des aktuell verfügbaren Wasservorrats im Boden notwendig. Diese Aufgabe haben die beteiligten Modelle gut gelöst. Zum anderen ist jedoch auch die Ermittlung

des Wasserbedarfs der jeweiligen Kultur in einem bestimmten Entwicklungsabschnitt wichtig. Hier weisen die Unterschiede beim Beregnungswasserbedarf und damit der Wassernutzungseffizienz zwischen den Modellen darauf hin, dass die Anwendung der Methoden an die jeweiligen Standort- und Kulturbedingungen angepasst werden müssen, wobei den Erfahrungen der Berater und der Landwirte eine wichtige Rolle zukommt. Modell D hat diese Anpassung bereits während der Projektzeit ab dem Jahr 2012 bei Weizen erfolgreich durchgeführt. EDV-gestützte Programme zur Beregnungssteuerung sind als Beratungstool zur Verbesserung der Wassereffizienz geeignet und sollten auf breiterer Basis als bisher Eingang in die Praxis finden. Zu ihrer weiteren Optimierung besteht aber noch weiterer Forschungsbedarf auf der Grundlage von Feldversuchen.



Abb. 4.2.17: Winterweizen (links, 2011) und Kartoffeln (rechts, 2010), im Hintergrund beregnet, im Vordergrund unberegnet, Entwicklungsschäden durch Trockenheit (A. Riedel)

4.2.5 Rückwirkungen von Waldumbau und Beregnung auf das simulierte regionale Klima

Juliane Petersen, Diana Rechid

Die Wechselwirkungen zwischen Land und Atmosphäre beeinflussen das regionale Klima. Die Landnutzung spielt dabei eine wichtige Rolle. Änderungen der Landnutzung und Landbewirtschaftung können auch mögliche Maßnahmen zur Anpassung an sich ändernde Klimabedingungen sein. Eine wichtige Fragestellung dabei ist, wie Anpassungsmaßnahmen der Land- und Forstwirtschaft wiederum zurück auf das regionale Klima wirken. Um

dies zu untersuchen, wurden Feldberegnung und eine veränderte Waldzusammensetzung direkt in ein regionales Klimamodell implementiert und ihre Rückwirkungen auf das Klima simuliert. Damit können auch nicht-lineare Wechselwirkungen innerhalb des regionalen Klimasystems untersucht werden. Die Ergebnisse, die hier vorgestellt werden, können auf Regionen mit ähnlichen Klima und Standortbedingungen übertragen werden.

Effekte der Beregnung

Die im Südosten der Metropolregion Hamburg vorherrschenden sandigen Böden sind aufgrund ihres geringen Wasserhaltevermögens durch sommerliche Trockenheit geprägt (vgl. Kap. 4.1.2, 4.2.3). Der Anbau von Hackfrüchten und Getreide erfordert daher schon unter heutigen

Klimabedingungen Feldberegnung. Bei zunehmender Verdunstung von Wasser von den Landoberflächen und durch die Pflanzen unter wärmeren Klimabedingungen und abnehmenden sommerlichen Niederschlägen wird der Beregnungsbedarf zunehmen. Ein Modellexperiment

wurde für das Jahr 2003 durchgeführt, das sich durch besonders warme und trockene Bedingungen im Sommer ausgezeichnet hat, die unter zukünftigen Klimabedingungen sehr viel häufiger auftreten können. Es wurde eine Parametrisierung der Bewässerung im regionalen Klimamodell REMO (Jacob, Podzun, 1997) entwickelt, die die Beregnungsmengen indirekt durch eine Veränderung der Bodenfeuchte steuert (vgl. Petersen, 2012). Im Monat

Juli ist der Anteil an potenziell bewässerungsbedürftigen Flächen relativ hoch, deswegen werden die Effekte der Bewässerung für diesen Monat gezeigt. Die erhöhte Bodenfeuchte führt zu einer Erhöhung der Evapotranspiration und damit zu einer leichten Kühlung von bis zu 0,75 K in den Gebieten, in denen Bewässerung stattgefunden hat. Der Niederschlag dagegen wird kaum durch die Bewässerung beeinflusst (Abb. 4.2.18).

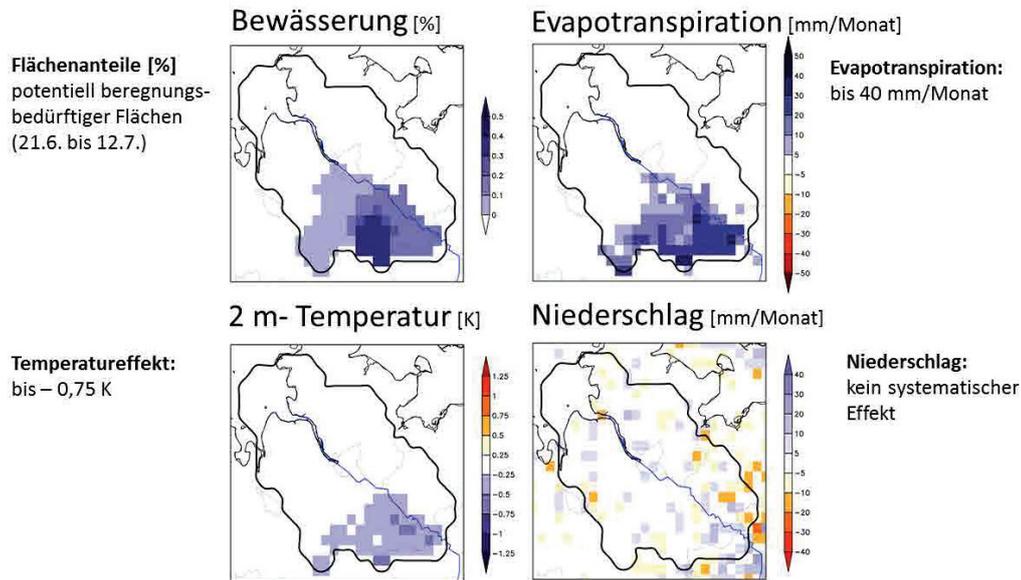


Abb. 4.2.18: Flächenanteile der potenziell beregnungsbedürftigen Flächen und Effekte der Bewässerung (Bewässerungsexperiment minus Referenzsimulation) in der Metropolregion Hamburg auf Evapotranspiration, bodennahe Lufttemperatur und Niederschlag für Juli 2003

Effekte des Waldumbau

Weitere Experimente wurden mit einer veränderten Waldzusammensetzung durchgeführt. Waldumbau ist eine mögliche Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel (vgl. Kapitel 4.1.3). Mit Waldumbau ist hier der Umbau von überwiegend Nadelwald in Laub- und Mischwald gemeint. Mischwälder sind gegenüber Nadelwäldern anpassungsfähiger an sich ändernde Klimabedingungen. Laubwälder können auch für eine höhere Grundwasserbildung sorgen, da sie im Gegensatz zu Nadelwäldern außerhalb der Vegetationszeit keine Blätter tragen und so die Transpiration, also die Verdunstung durch die Spaltöffnung der Blätter, reduziert ist. Außerdem finden ganzjährig weniger Verluste durch Interzeption statt, der Verdunstung des Wassers auf den Blattoberflächen, da Laubbäumen eine geringere Blattoberfläche im Vergleich zu Nadelwäldern aufweisen (Chmielewski, 2007; Müller, 2009). Die Landnutzungsverteilung im regionalen Klimamodell REMO wurde so modifiziert, dass alle in der Metropolregion vorkommenden Nadelwälder durch Laubwälder ersetzt wurden (Abb. 4.2.19) - mit entsprechender Veränderung der Oberflächeneigenschaften. Es wurden Simulationen für heutige Klimabedingungen (1971 - 2000) und zukünftige Zeitperioden (2071 - 2100) unter der Annahme des A1B Szenarios erstellt, um die Rückwirkungen der neuen Waldzusammensetzung unter heutigen und unter veränderten Klimabedingungen zu untersuchen.

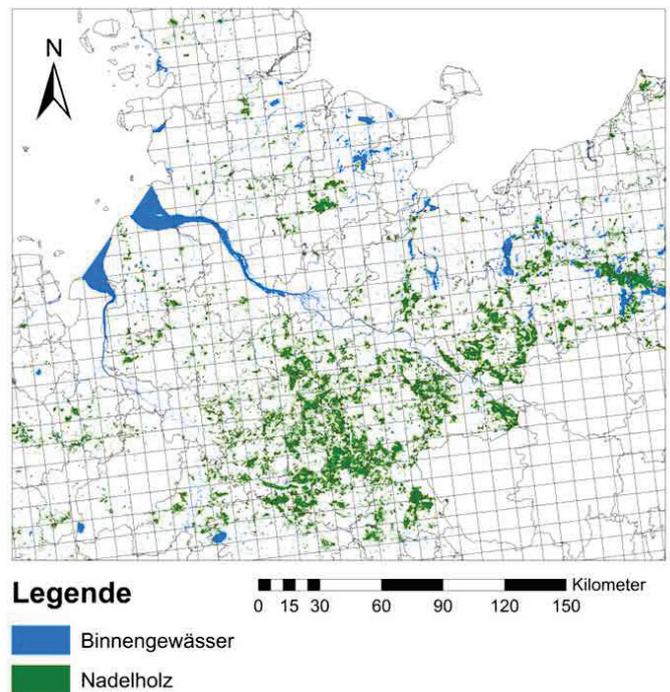


Abb. 4.2.19: Gebiete mit Nadelwald, die im Experiment in Laubwald umgewandelt wurden

Die Ergebnisse der Modellsimulationen bestätigen, dass durch geringere Interzeption und weniger Transpiration im Winter und Frühjahr das Bodenwasserreservoir im Jahresverlauf unter Laubwald länger gefüllt bleibt und die relative Bodenfeuchte im Sommer erhöht ist. Im Frühjahr führt die geringere Verdunstung über Laubwald zu einer höheren Temperatur im Vergleich zur vorherigen Bewaldung durch Nadelbäume. In vergleichsweise warmen und niederschlagsarmen Sommern ermöglicht dann der höhere Bodenwassergehalt unter Laubwald mehr Verdunstung als mit Nadelwald. Die Verdunstungskühlung führt im Gebietsmittel um bis zu 0,6 K geringere Lufttemperaturen. In Abbildung 4.2.20 sind die Simulationsergebnisse für das warme und trockene Jahr 2003 gezeigt, in der die Auswirkungen auf den Wasser- und Energiekreislauf zu sehen sind. Im Frühjahr (hier der Monat April) ist die relative

Bodenfeuchte unter Laubwald höher als unter Nadelwald. Die Verdunstung ist geringer, was die Verdunstungskühlung vermindert und damit die Temperatur um bis zu 1 K erhöht. Im Sommer (hier der Monat August) ist dann die relative Bodenfeuchte unter Laubwald deutlich höher als unter Nadelwald. Über Laubwald kann demzufolge im Sommer mehr verdunstet werden als über Nadelwald. Das führt zu mehr Verdunstungskühlung über Laubwald und damit zu einer um bis zu 1 K geringeren Temperatur in einigen Gebieten. Da im zukünftigen Klima unter den Annahmen des A1B Emissionsszenarios warme und trockene Sommer häufiger vorkommen (vgl. Kapitel 3), tritt durch die verbesserte Speicherung von Wasser im Boden unter Laubwald der Effekt der Verdunstungskühlung im Sommer entsprechend häufiger auf.

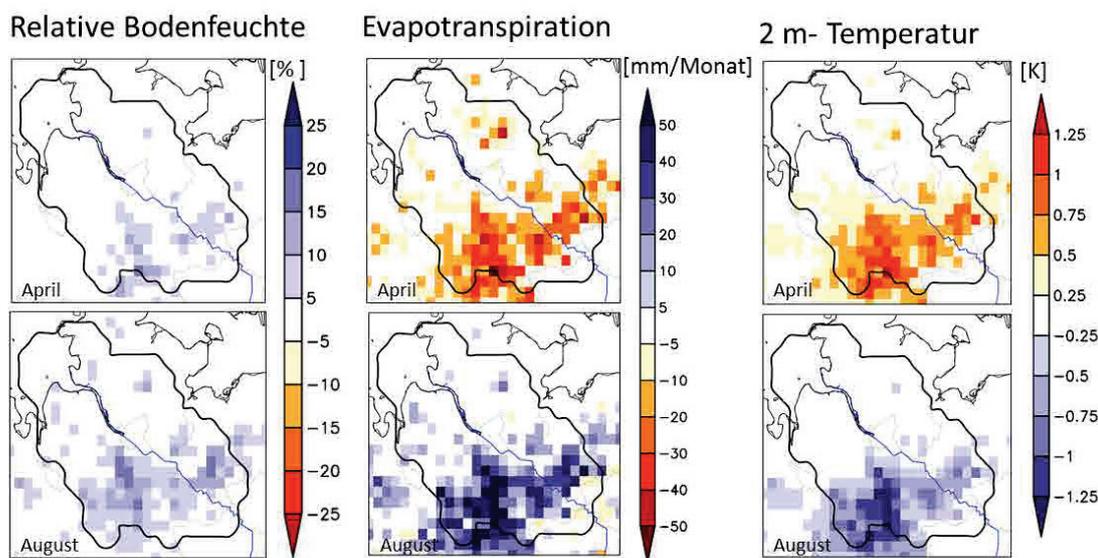


Abb. 4.2.20: Rückwirkung des Waldumbaus in der Metropolregion Hamburg auf die relative Bodenfeuchte, die Evapotranspiration und die bodennahe Lufttemperatur für das Jahr 2003, gezeigt in den Monaten April (oben) und August (unten)

Zusammenfassung

Die Ergebnisse beider Experimente zeigen Rückwirkungen von möglichen Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft auf das Klima, welche unter bestimmten Bedingungen in Boden und Atmosphäre die durch veränderte Treibhausgasemissionen bewirkte Klimaänderungen bis zu einem bestimmten Maß lokal verstärken oder abschwächen können. Diese Wechselwirkungen zwischen Klima- und Landnutzungsänderungen sind bei der Erarbeitung von Anpassungsstrategien in Land- und

Forstwirtschaft zu berücksichtigen und sollten zudem sowohl empirisch als auch in der Theorie mithilfe von Klimamodellen weiter erforscht werden, damit deren Quantifizierung in die Bewertung der Anpassungsmaßnahmen einfließen kann. Bei der Entwicklung von Waldbaustrategien sind weitere Aspekte zu berücksichtigen, wie z. B. die Ausbreitung von Schädlingen und die Anfälligkeit der Baumarten unter zukünftigen Klimabedingungen.

4.3 Naturschutz

4.3.1 Heidelandschaften: Anpassungsstrategien des Naturschutzes und des Managements

Maren Meyer-Grünefeldt, Werner Härdtle

Klimaveränderungen und die seit Beginn der Industrialisierung angestiegenen Einträge von Stickstoffverbindungen aus der Luft (atmosphärische Stickstoffdepositionen) gehören zu den Hauptursachen für weltweiten Biodiversitätsverlust (Sala et al., 2000). In Mitteleuropa beherbergen Heidelandschaften wie die Lüneburger Heide einen großen Teil der für Offenlandschaften bodensaurer Standorte typischen Artenvielfalt. Aufgrund ihrer Nährstoffarmut ist die Artenzusammensetzung besonders sensibel gegenüber erhöhten Nährstoffeinträgen, v. a. Stickstoff (Gimingham, 1972, von Oheimb et al., 2010). Die aktuelle Stickstoffdeposition im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide beträgt 23 kg/ha pro Jahr (Härdtle et al., 2007).

Ihrem Verbreitungsgebiet entsprechend bevorzugt die Besenheide (*Calluna vulgaris*) ein feuchtes, sommerkühles und wintermildes Großklima. Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, wird für die Lüneburger Heide ein möglicher Rückgang der Sommerniederschläge bis zum Ende des 21. Jahrhunderts projiziert. Dies könnte einen Einfluss auf die Vitalität und Produktivität der Besenheide haben. Denkbar ist ferner, dass der durch Sommerdürren verursachte Stress der Besenheide durch eine erhöhte

Stickstoffverfügbarkeit noch gesteigert wird. Bisherige Untersuchungen haben sich auf die Auswirkungen der einzelnen Effekte konzentriert. Eine der größten Herausforderungen an zukünftiges Heidemanagement ist aber die Entwicklung von Anpassungsstrategien, welche den zu erwartenden Umweltveränderungen, wie zurückgehende Sommerniederschläge und erhöhte Stickstoffverfügbarkeit, (zumindest teilweise) entgegenwirken. Es ist daher erforderlich, die Interaktionseffekte zwischen Stickstoffdeposition und Sommerdürren zu untersuchen, um eine möglichst effektive Anpassung der Managementmaßnahmen erreichen zu können.

Für die Quantifizierung der Auswirkungen abnehmender Sommerniederschläge in Kombination mit erhöhter Stickstoffverfügbarkeit auf die Vitalität und Produktivität der Besenheide wurde in der Lüneburger Heide ein vollfaktorielles Feldexperiment durchgeführt. Auf sieben experimentellen Flächen (verteilt über das gesamte Naturschutzgebiet) wurden die Auswirkung einer Niederschlagsreduktion auf die Besenheide durch stationäre Regendächer (ca. -25 % des mittleren Niederschlages während der Vegetationsperiode) für sich und in Kombination mit einer Stickstoffdüngung von 35 kg/ha (pro Jahr) über drei Jahre



Abb. 4.3.1: Blühende Besenheide (*Calluna vulgaris*) im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide

(2009 - 2011) gemessen. Begleitend wurden außerdem über zwei Jahre Gewächshausexperimente mit der gleichen Fragestellung, aber etwas verändertem Versuchsdesign (unter kontrollierten Umweltbedingungen) durchgeführt. Anstelle der Auswirkung einer Niederschlagsreduktion wurde die Wirkung von Dürreperioden während der Hauptwachstumsphase untersucht.

Die experimentelle Stickstoffdüngung führte sowohl im Feld- als auch im Gewächshausexperiment zu einem signifikant erhöhten Biomassezuwachs (Abb. 4.3.2 und 4.3.3). Die Niederschlagsreduktion bzw. Sommerdürren waren im Gewächshaus stärker ausgeprägt als im Feldexperiment. Dies ist zum einen auf die Witterungsbedingungen während der Versuchszeit zurückzuführen, da die Wachstumsperiode 2009 sehr trocken war (weniger als 300 mm Niederschlag von April bis September) und

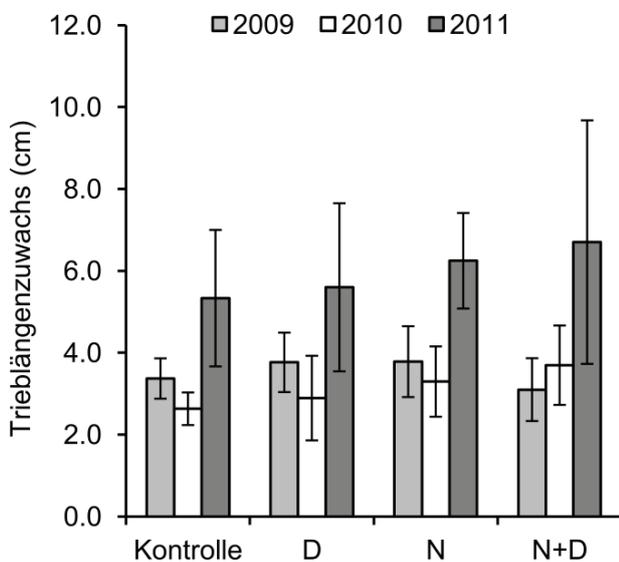


Abb. 4.3.2: Jährlicher Trieb­längen­zu­wachs Ende Oktober (in cm), dargestellt für alle drei Jahre des Feld­ex­per­i­ments bezogen auf die unterschiedlichen Behandlungen (Kontrolle; D: Dürre, N: Stickstoffdüngung; N+D: Stickstoffdüngung und Dürre)

in 2010 der Effekt der experimentellen Niederschlagsreduktion von einer natürlichen Sommerdürre im Juni und Juli überlagert wurde. Im Gewächshaus hatten diese Jahreseffekte aufgrund der kontrollierten Bedingungen keinen Einfluss. Zum andern sind die Reaktionsunterschiede mit dem Alter der Pflanzen zu begründen. Aus den Ergebnissen im Gewächshausexperiment (Abb. 4.3.4) wird deutlich, dass die einjährige Besenheide (2010) ein größeres Verhältnis von oberirdischer zu unterirdischer Biomasse (Trockengewicht; ca. 1,5) hat als ältere Heidepflanzen. So nimmt das Verhältnis bei zweijähriger Besenheide (2011; im Vergleich zu einjährigen Pflanzen) bereits ab und im Alter von etwa 10 Jahren beträgt es nur noch etwa 0,5. Je höher das Verhältnis von oberirdischer zur unterirdischen Biomasse ist, desto schwieriger ist es für die Pflanze, die Wasserversorgung durch die relativ geringere Wurzelmenge zu gewährleisten (besonders in Trockenjahren). Daher reagieren vor allem sehr junge Heidepflanzen sensibel auf Dürreereignisse. Die experimentelle Dürre wirkte sich im Gewächshaus deswegen auch nur im ersten Jahr negativ auf die Biomasseproduktion aus. Erstaunlicherweise zeigte sich dennoch für

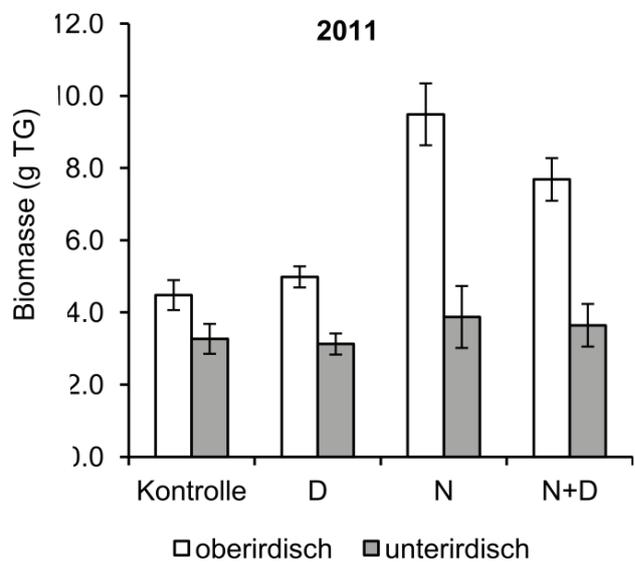
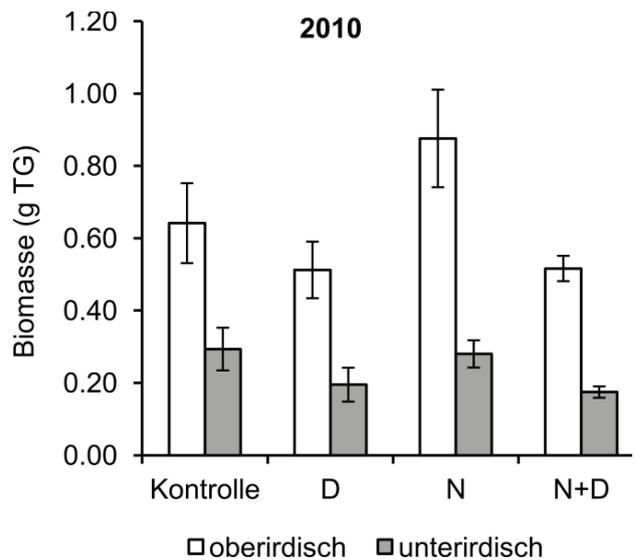


Abb. 4.3.3: Oberirdische und unterirdische Biomasse (in g Trocken­gewicht; TG) nach dem ersten und dem zweiten Jahr des Gewächshausversuches, bezogen auf die unterschiedlichen Behandlungen (Abkürzungen siehe Abb. 4.3.2)

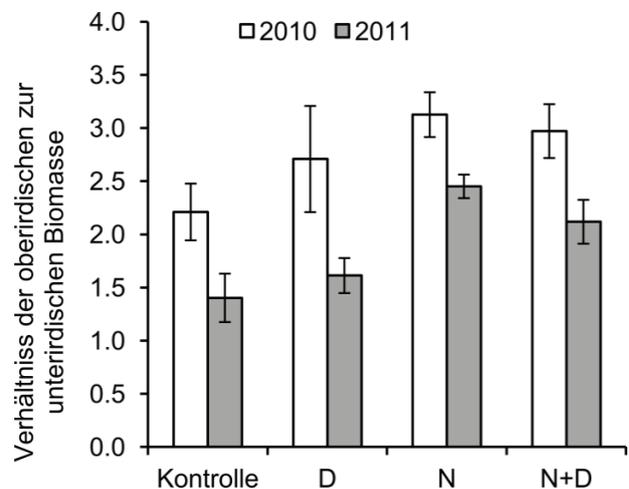


Abb. 4.3.4: Verhältnis der oberirdischen zur unterirdischen Biomasse (Trockengewicht der Pflanzen in g.) dargestellt für beide Jahre des Gewächshausversuches, bezogen auf die unterschiedlichen Behandlungen (Abkürzungen siehe Abb. 4.3.2)

beide Jahre des Gewächshausversuchs eine signifikante, antagonistische (entgegengesetzt wirkende) Interaktion zwischen der Stickstoffdüngung und der Dürre. Die Dürre schwächte den zu Wachstum führenden Stickstoffeffekt ab. Dieser Effekt ist u. a. auf das veränderte Verhältnis von unterirdischer zur oberirdischer Biomasse zurückzuführen, da die im Vergleich zur oberirdischen Biomasse relativ geringe Wurzelbiomasse die erhöhte Transpiration der Pflanze nicht decken konnte (Gordon et al., 1999). Außerdem hemmte die erhöhte Stickstoffverfügbarkeit wahrscheinlich die Mykorrhizierung der Wurzeln der Besenheide (Hofland-Zijlstra und Berendse, 2009). Mykorrhiza-Pilze verbessern grundsätzlich die Wasseraufnahmefähigkeit der Besenheide. Schwach mykorrhizierte Pflanzen können demnach weniger Wasser aufnehmen und leiden somit während Sommerdürren verstärkt unter Wassermangel.

Die Experimente haben gezeigt, dass die Biomasseproduktion der Besenheide stark auf die erhöhte Stickstoffverfügbarkeit reagiert und durch diese die Empfindlichkeit der Pflanzen gegenüber reduziertem Niederschlag verstärkt wird. Dadurch können bereits schwache Dürreereignisse oder Veränderungen der Niederschläge während der Wachstumsperiode einen Einfluss auf die Produktivität und Vitalität der Besenheide haben, wenn gleichzeitig die Stickstoffverfügbarkeit erhöht ist. Insbesondere die Verjüngung der Besenheide (aufgrund der geringen Wurzelbildung im Vergleich zur oberirdischen Biomasse) ist durch die Interaktion von Stickstoffverfügbarkeit und Niederschlagsveränderungen bedroht.

Folgen für das künftige Management der Heidelandschaften

Bisherige Managementmaßnahmen zum Erhalt von Heideökosystemen zielen vor allem auf den Erhalt der Nährstoffarmut der Heideökosysteme. Diese Maßnahmen sollten an die aktuelle Stickstoffdeposition angepasst werden, um den Nährstoffeintrag möglichst gering zu halten. Dadurch können die Auswirkungen der zunehmenden Sommerdürren abgeschwächt werden. Eine optimale Abstimmung intensiver (Plaggen, Schopern) und extensiver (Beweidung, Brand, Mahd) Managementmaßnahmen ist notwendig. Dabei sollte vor allem auf die Verjüngung der Besenheide geachtet werden, da davon auszugehen ist, dass diese am sensibelsten auf zu erwartende Umweltveränderungen reagiert. Da die Managementmaßnahmen nur einen begrenzten Nährstoffaustrag gewährleisten können, sollten gleichzeitig Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge entwickelt werden, z. B. durch politische Reglementierungen. Im Naturschutzgebiet Lüneburger Heide werden vom Verein Naturschutzpark e. V. bereits neue Managementverfahren getestet. Hierzu gehören Hochmahd, Mulchmahd und Spitzenmahd. Alle drei Verfahren haben zum Ziel, die Heide vegetativ, d. h. über den Spross und nicht über die Samen, zu verjüngen. Somit würde die am empfindlichsten auf Trockenheit reagierende Lebensphase der Besenheide (einjährige Pflanzen aus Samen verjüngt) vermieden bzw. die Auftrittshäufigkeit dieser Phase zeitlich und räumlich begrenzt, ohne die Verjüngung der Heide zu gefährden.

4.3.2 Klimawandel und Moorvegetation

Brigitte Urban, Sebastian Roman Schmidt, Kai Jensen, Adam Hölzer, Sabine Hansen, Mario Tucci

Ziele

Moore nehmen eine bedeutende ökologische Rolle als Standorte für besonders angepasste, seltene und schützenswerte Lebewesen und aufgrund ihres Wasserhaushaltsregulierungs- und vor allem Kohlenstoffspeichervermögens ein. Als zudem einzigartige Archive der Natur- und Kulturgeschichte einer Landschaft werden sie im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) auch besonders geschützt.

Die holozäne Entwicklung von zwei Hochmooren in der Metropolregion wurde entlang eines atlantisch-subkontinentalen Klimagradienten mit dem Ziel näher untersucht, den möglichen Einfluss früherer und künftiger Klima- und Umweltveränderungen auf die Moorvegetation, deren Funktion als Kohlenstoffspeicher und auf das Torfwachstum zu ermitteln, um daraus Anpassungsempfehlungen an die neuzeitlichen Klimaveränderungen und Managementstrategien für den Moorschutz ableiten zu können. Das im Süden des Landkreises Uelzen und im Landkreis Gifhorn (Abb. 4.3.5) gelegene Schweimker Moor wurde als östlichstes Hochmoor Nordost-Niedersachsens, bzw. des Modellgebietes Lüneburger Heide wegen dieser

besonderen klimatischen Arealgrenzlage und seiner großflächig renaturierten Flächen (Abb. 4.3.6) für die Studien ausgewählt.

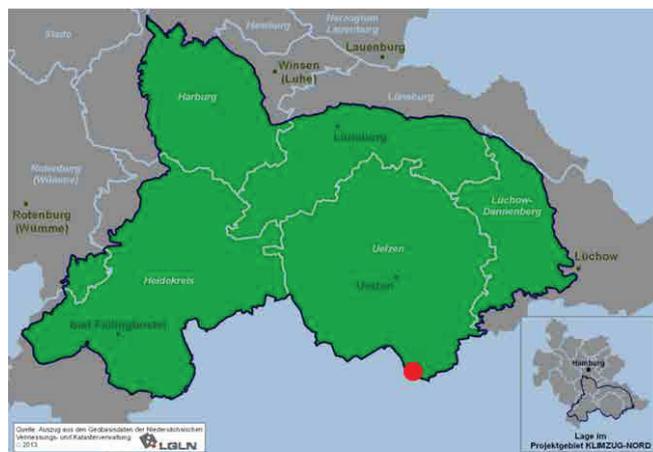


Abb. 4.3.5: Lage des Schweimker Moores in der südlichen Metropolregion Hamburg und des Modellgebietes Lüneburger Heide (l. Mersch)

Standortbeschreibung und Methodik

Das Schweimker Moor liegt in den Landkreisen Gifhorn und Uelzen in Nordost-Niedersachsen zwischen 73 - 90 m ü. NN und besitzt ein subkontinentales Klima mit Niederschlägen von ca. 670 mm/a. Es besteht aus 260 ha Hochmoorfläche und ca. 150 ha Niedermoorfläche und einem 834 ha großen Naturschutzgebiet (seit 1989). Hand- und industrielle Abtorfung fand bis 1991 statt. Seit 1991 sind Renaturierungsmaßnahmen im Landkreis Gifhorn, seit 1993 auf Uelzener Kreisgebiet umgesetzt worden (Hansen, 2009) (Abb. 4.3.6).

Im Rahmen des Arbeitspaketes Klimawandel und Moorvegetation wurden im Schweimker Moor zwei Flächen im Landkreis Gifhorn unmittelbar an der Kreisgrenze zum Landkreis Uelzen (S1 = Grünland, 250 cm Moormächtigkeit, S2 = Birkenwald, 310 cm Moormächtigkeit), auf denen nachweislich kein Torfabbau stattgefunden hatte, für die vegetations- und landschaftsgeschichtlichen Untersuchungen ausgewählt. Während mehrerer Feldkampagnen wurden ungestörte Torfkerne erbohrt, im Labor beprobt und in engen Abständen makroskopisch und geochemisch auf Torfart, Zersetzungsgrad, pH-Wert und Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt untersucht. Herrn Diplom-Geologen Bernhard Birkholz, Gifhorn, danken wir an dieser Stelle für die Vorschläge zur Standortauswahl und Unterstützung bei der Torfansprache und Feldarbeit. Die mikroskopische Analyse der Pollen, Sporen und mikroskopisch kleiner Holzkohlenfragmente (<100µm) sowie der pflanzlichen Großreste insbesondere von Torfmoosresten (*Sphagnum*), Früchten, Samen und weiteren organischen Resten ermöglicht einschließlich der heutigen Pollendeposition die Rekonstruktion der zonalen und azonalen Vegetation (Urban et al., in Vorbereitung). Mithilfe von ¹⁴C-Altersbestimmungen der Torfprofile können zeitbezogene Aussagen getroffen werden (¹⁴C-Bestimmungen, Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, LIAG, Hannover).

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die rezente Vegetation und deren Funktion als Kohlenstoffspeicher zu untersuchen, wurden sowohl Felduntersuchungen im Schweimker Moor (Abb. 4.2.6) als auch Laborexperimente durchgeführt. Ein Hauptaugenmerk wurde dabei auf Torfmoose gelegt, da diese maßgeblich an der Kohlenstoffspeicherung von Hochmooren beteiligt sind.

1. Feldexperiment: Effekte von reduzierten Niederschlägen im Sommer und erhöhter Stickstoffverfügbarkeit auf die Vegetation von Hochmooren
2. Feldexperiment: Einfluss von lateralen Wassersperren auf die Hydrologie von Mooren
3. Laborexperiment: Auswirkungen von Trockenstress auf die Produktivität von Torfmoosen



Abb. 4.3.6: Niederschlagsreduktionsdächer über Moorvegetation im renaturierten Bereich des Schweimker Moores, Landkreis Uelzen (S. Hansen, 2009)

Naturschutzrelevante Ergebnisse

Moorgenese

Das Hochmoor, welches sich über einem Versumpfungsmoor gebildet hat, besitzt an der Basis Muddesande und organische Mudden, die von Niedermoor- oder Übergangsmoortorf überlagert werden. Darüber befindet sich unterschiedlich stark zersetzter *Acutifolia*-Torf, anteilig mit Wollgrastorfen. Die oberen 14 - 15 cm sind stark zersetzt und spiegeln mit hohen Zersetzungsgraden, einem engeren C/N Verhältnis und einem pH-Wert-Anstieg die jüngsten Nutzungseinflüsse wider (Abb. 4.3.7).

Die vegetationsgeschichtlichen und pflanzlichen Großrestuntersuchungen insbesondere der Torfmoose weisen auf eine lange und ungestörte Hochmoorwachstumsphase mit der Sektion *Acutifolia* (wahrscheinlich *S. rubellum* oder *S. fuscum*) hin, die nur kurz unterbrochen wird. Das Profil beginnt an der Basis nach hohem Sandgehalt mit einem hohen Anteil an stark zersetztem und nicht

bestimmbarem Material, das aber hohe Anteile von Holz und Holzkohle (bis 40 %) enthält. Hier finden sich sogar Fragmente angekohlter Torfmoose. Darauf folgt eine Übergangsmoorphase mit *Scheuchzeria*, *Menyanthes*, *Sphagnum papillosum*, *S. pulchrum*, *S. fallax* und *S. balticum*. Zu dieser Zeit dürfte es sehr nass und noch recht nährstoffreich an der Profilstelle gewesen sein. Diese Phase wird dann sehr abrupt in einer Tiefe von etwa 200 cm durch eine Hochmoorphase mit bis zu 60 % an *Sphagnum magellanicum* mit steigendem Anteil der Sektion *Acutifolia* begleitet. Hinzu kommt ein Anteil von bis zu 15 % an *Polytrichum strictum*, das anfangs von hohem Anteil von Wollgras begleitet wird, was auf eine trockenere Phase bis in eine Tiefe von etwa 160 cm hindeutet. *P. strictum* ist heute eine typische Art trockener Bulte. Der *S. fallax* - Peak bei 120 - 130 cm mit Holzkohle, Wollgras und leichtem Stickstoffanstieg im Torfkörper fällt wahrscheinlich in die Völkerwanderungszeit (Abb. 4.3.8). Der hohe Holzkohleanteil von etwa 20 % verweist auf einen

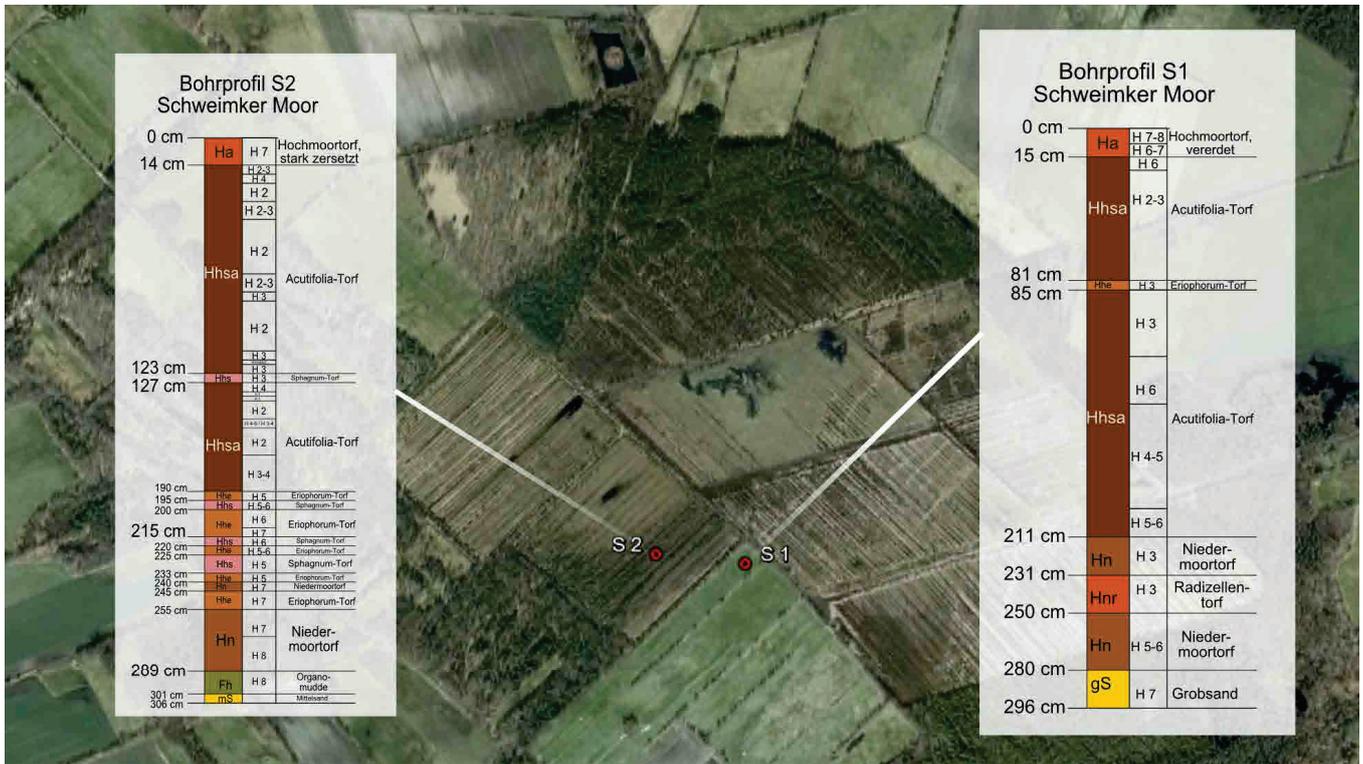


Abb. 4.3.7: Torfaufbau der Bohrprofile S1 und S2 des Schweimker Moores (H= Humositätsgrad = Zersetzungsgrad nach v. Post in 10 Stufen, H1 sehr schwach H10 sehr stark; mS = Mittelsand, gS = Grobsand, bzw. Mude- oder Torfart Abkürzungen nach ad-hoc-AG Boden, 2005)

lokalen Brand und damit Freisetzung von Nährstoffen, was das Wachstum von *S. fallax* im Moor ermöglicht. Hierzu passt auch das Vorkommen von *Aulacomnium palustre*, das an Störstellen oft vermehrt auftritt. Nach kurzem erhöhten Anteil von *S. magellanicum* besteht der Torf wieder zu über 90 % aus der Sektion Acutifolia. Die Torfmoose sind teilweise so gut erhalten, dass die Äste mit den Blättern noch am Stamm angewachsen sind. Obwohl sich seit Vermoorungsbeginn menschliche Siedlungstätigkeit in der Umgebung des Schweimker Moores pollenanalytisch über Getreide- und Kulturbegleiter wie *Plantago lanceolata*, *Artemisia* oder *Rumex acetosa* nachweisen lässt, weist der Torf keine unmittelbare Beeinträchtigung durch Flächennutzung, Entwässerungsmaßnahmen oder Abtorfung auf, wie sie in jüngsten Abschnitten (ca. 15 cm unter Geländeoberkante) massive Änderungen markieren. Diese haben das Moorwachstum völlig zum Erliegen gebracht und fördern den Torfschwund und damit die Freisetzung von Kohlenstoff und Stickstoff.

Die Einstufung Selles (1936), wonach der Beginn des Hochmoorwachstums im Schweimker Moor im Wesentlichen im älteren Subatlantikum liegt, kann vegetationsgeschichtlich (Abb. 4.3.7 und 4.3.8) bestätigt werden. ¹⁴C-Analysen von 3090 - 2765 BC (Before Christ) aus der Organomudde an der Basis des Bohrkerns S2 in einer Tiefe von 2,90 – 2,95 m zeigen, dass sich Verlandung und Niedermoorbildung bis in das ältere Subboreal zurückdatieren lassen.

| System | Numerisches Alter | Internationale Stufengliederung | Klimaperioden (BLYTT & SERNANDER) | Biostratigraphie (FIRBAS 1949) | Kalibrierte Kalenderjahre (vor/nach Chr.) |
|---------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|---|
| QUARTÄR | 0 (+1950) | HOLOZÄN | Jüngeres Subatlantikum | X | +1950 |
| | 1150 (+800) | | | | IX |
| | | | 2400 (-450) | VIII | |
| | 5660 (-3710) | | | | VII |
| | | | 9220 (-7270) | VI | |
| | 10640 (-8690) | | | | V |
| | | | 11560 (-9610) | IV | |
| | III | | | | +1500 |
| | | | II | +1200 | |
| | I | | | +1000 | |
| 0 | | +700 | | | |
| | -800 | +1000 | | | |
| -1000 | | +1200 | | | |
| | -2000 | +1500 | | | |
| -3000 | | +1800 | | | |
| | -4000 | +2100 | | | |
| -5550 | | +2400 | | | |
| | -7000 | +2700 | | | |
| -9000 | | +3000 | | | |
| | -9610 | +3300 | | | |
| -10000 | | +3600 | | | |
| | -11000 | +3900 | | | |
| -12000 | | +4200 | | | |
| | -13000 | +4500 | | | |
| -14000 | | +4800 | | | |
| | -15000 | +5100 | | | |
| -16000 | | +5400 | | | |
| | -17000 | +5700 | | | |
| -18000 | | +6000 | | | |
| | -19000 | +6300 | | | |
| -20000 | | +6600 | | | |
| | -21000 | +6900 | | | |
| -22000 | | +7200 | | | |
| | -23000 | +7500 | | | |
| -24000 | | +7800 | | | |
| | -25000 | +8100 | | | |
| -26000 | | +8400 | | | |
| | -27000 | +8700 | | | |
| -28000 | | +9000 | | | |
| | -29000 | +9300 | | | |
| -30000 | | +9600 | | | |
| | -31000 | +9900 | | | |
| -32000 | | +10200 | | | |
| | -33000 | +10500 | | | |
| -34000 | | +10800 | | | |
| | -35000 | +11100 | | | |
| -36000 | | +11400 | | | |
| | -37000 | +11700 | | | |
| -38000 | | +12000 | | | |
| | -39000 | +12300 | | | |
| -40000 | | +12600 | | | |
| | -41000 | +12900 | | | |
| -42000 | | +13200 | | | |
| | -43000 | +13500 | | | |
| -44000 | | +13800 | | | |
| | -45000 | +14100 | | | |
| -46000 | | +14400 | | | |
| | -47000 | +14700 | | | |
| -48000 | | +15000 | | | |
| | -49000 | +15300 | | | |
| -50000 | | +15600 | | | |
| | -51000 | +15900 | | | |
| -52000 | | +16200 | | | |
| | -53000 | +16500 | | | |
| -54000 | | +16800 | | | |
| | -55000 | +17100 | | | |
| -56000 | | +17400 | | | |
| | -57000 | +17700 | | | |
| -58000 | | +18000 | | | |
| | -59000 | +18300 | | | |
| -60000 | | +18600 | | | |
| | -61000 | +18900 | | | |
| -62000 | | +19200 | | | |
| | -63000 | +19500 | | | |
| -64000 | | +19800 | | | |
| | -65000 | +20100 | | | |
| -66000 | | +20400 | | | |
| | -67000 | +20700 | | | |
| -68000 | | +21000 | | | |
| | -69000 | +21300 | | | |
| -70000 | | +21600 | | | |
| | -71000 | +21900 | | | |
| -72000 | | +22200 | | | |
| | -73000 | +22500 | | | |
| -74000 | | +22800 | | | |
| | -75000 | +23100 | | | |
| -76000 | | +23400 | | | |
| | -77000 | +23700 | | | |
| -78000 | | +24000 | | | |
| | -79000 | +24300 | | | |
| -80000 | | +24600 | | | |
| | -81000 | +24900 | | | |
| -82000 | | +25200 | | | |
| | -83000 | +25500 | | | |
| -84000 | | +25800 | | | |
| | -85000 | +26100 | | | |
| -86000 | | +26400 | | | |
| | -87000 | +26700 | | | |
| -88000 | | +27000 | | | |
| | -89000 | +27300 | | | |
| -90000 | | +27600 | | | |
| | -91000 | +27900 | | | |
| -92000 | | +28200 | | | |
| | -93000 | +28500 | | | |
| -94000 | | +28800 | | | |
| | -95000 | +29100 | | | |
| -96000 | | +29400 | | | |
| | -97000 | +29700 | | | |
| -98000 | | +30000 | | | |
| | -99000 | +30300 | | | |
| -100000 | | +30600 | | | |

Stand 05.2004

Quellen:

LITT, T., BRAUER, A., GOSLAR, T., MERKT, J., BALAGA, K., MÜLLER, H., RALSKA-JASIEWICZOWA, M., STEBICH, M. & NEGEDANK, J.F.W. (2001): Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments.- Quaternary Science Reviews, 20, 11: 1233-1249; Oxford (Elsevier).
 BEHRE, K.-E. (1995): Die Entstehung und Entwicklung der Natur- und Kulturlandschaft der ostfriesischen Halbinsel.- S. 5-37. In: BEHRE, K.-E. & van LENGEN, H. (Hrsg.): Ostfriesland - Geschichte und Gestalt einer Kulturlandschaft.- Aurich (Ostfriesische Landschaft).

Abb. 4.3.8: Gliederung des Holozäns (LBEG, Geozentrum Hannover, diverse Autoren)

Ergebnisse der Feldforschung

In zwei Feldexperimenten wurde die Vegetation einer erhöhten Stickstoffgabe und (durch Regenreduktionsdächer) einer erhöhten Trockenheit ausgesetzt (Abb. 4.3.6 und Abb. 4.3.9). Dabei wurden die Auswirkungen der experimentellen Behandlungen auf verschiedene Gefäßpflanzen und auf Torfmoose (*Sphagnum cuspidatum*) untersucht. Besonders auffällig sind die negativen Aus- und Wechselwirkungen von erhöhter Stickstoffverfügbarkeit und verringertem Niederschlag auf die Ausbreitung der Torfmoose.

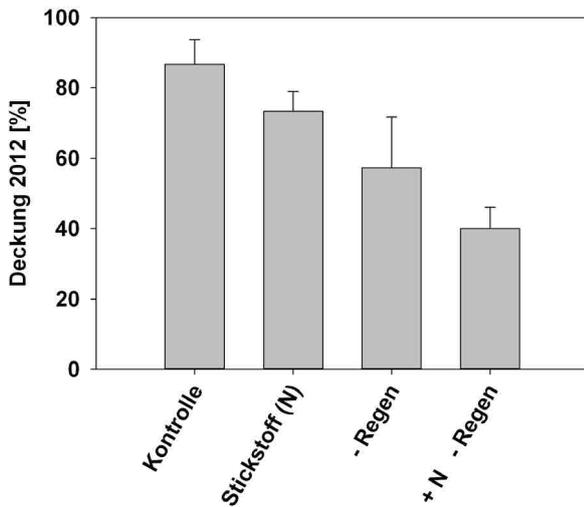


Abb. 4.3.9: Bedeckung [%] der Mooroberfläche mit Torfmoosen nach drei Jahren experimenteller Behandlung. Je fünf Flächen von 2x2 m wurden mit Stickstoff gedüngt (30 kg h⁻¹a⁻¹), einer 25 %-igen Niederschlagsreduktion oder beiden Behandlungen unterzogen. Weitere fünf Flächen dienten als Kontrollflächen.

Gleichzeitig wirkte sich die Stickstoffdüngung positiv auf das Wachstum des auf der renaturierten Fläche dominierenden Scheidigen Wollgrases aus (Abb. 4.3.6), welches damit *Sphagnum* auskonkurrieren könnte. Auffällig ist, dass sich die experimentelle Düngung erst nach zwei bis drei Jahren ausgewirkt hat.

Wie sich der Klimawandel genau auf die hydrologischen Verhältnisse im Moor und somit auf Wachstum, Produktivität und Ausbreitung von *Sphagnum* auswirkt, ist schwer vorherzusagen. Deshalb wurde in einem gesonderten Experiment neben reduzierten Niederschlägen der laterale Wasserfluss durch Spundwände eingeschränkt. Hier zeigt sich, dass trotz verringerter Niederschläge ein hoher Wasserstand erreicht werden kann. Darüber hinaus wurde ein durch die Unterbindung von Zu- und Abflüssen konstanter Wasserstand erreicht, welches sich positiv auf das Wachstum von Torfmoosen auswirkt (Kleiß, 2011).

In einem Laborversuch zum Trockenstress von Torfmoosen wurde deutlich, dass die Austrocknungstoleranz der Torfmoose zwar relativ gering ist und starke und anhaltende Trockenheit die Torfmoose schädigen kann, die Revitalisierung jedoch bei günstigen Bedingungen

erfolgen kann und das Ökosystem Moor eine gewisse Resilienz gegenüber Störung aufweist (Schmidt et al. in Vorb.). Zu beachten wäre hier jedoch besonders das Konkurrenzverhalten einzelner Arten (-gruppen) bei zunehmender Trockenheit, welche Gefäßpflanzen wie das Schmalblättrige Wollgras (*Eriophorum angustifolium*) oder Pfeifengras (*Molinia caerulea*) oder die Birke gegenüber den Torfmoosen begünstigen könnte (Müller, 2011).

Fazit und Handlungsempfehlungen

Die eingehenden Untersuchungen der Torfbeschaffenheit und der historischen Entwicklung der Vegetation sowie die rezenten Freilandexperimente weisen darauf hin, dass für das Weiterbestehen insbesondere der direkte Einfluss des Menschen vor Ort (Entwässerung, Nutzung durch Beweidung, Düngung, u. a.) bedeutsamer ist als die vergangenen klimatischen Veränderungen und grundsätzlich eine relativ hohe Resilienz gegenüber rein klimatisch bedingten Veränderungen bis in die Neuzeit hinein bestanden hat (Urban et al., in Vorb.). Die Anpassungsfähigkeit der Moorvegetation an klimatische Veränderungen der vergangenen Jahrtausende verdeutlicht, dass die nutzungsbedingten Einflüsse insbesondere auf die Hydrologie und den Nährstoffhaushalt für die Erhaltung der Hochmoore von wesentlicher Bedeutung sind. Da Hochmoore sich einerseits stark auf das Klima auswirken können und andererseits das Klima eine entscheidende Rolle für die Entwicklung von Hochmooren spielt, sollten wachsende Hochmoore in ihrer Funktion als bedeutende Senke oder Quelle von Kohlenstoff eine wichtige Rolle des Naturschutzes spielen. Eine wichtige Aufgabe muss daher in Zukunft sein, durch eine flächendeckende Inventarisierung möglichst viele Moorstandorte zu identifizieren, die das Potenzial besitzen, auch in Zukunft wieder Kohlenstoff zu speichern. Dabei müssen für jeden Standort spezifische Maßnahmen zur Restitution getroffen werden, abhängig vom Ausmaß der Degeneration und dem Entwicklungspotenzial, detaillierte Kenntnisse der lokalen hydrologischen und moorkundlichen Grundlagen sind dabei unerlässlich. Grundsätzlich zu empfehlen ist die Einbeziehung eines größeren Einzugsgebietes, da sich Grundwasserabsenkung aber auch Stickstoffeinträge aus landwirtschaftlicher Nachbarschaft direkt negativ auswirken können.

Eine wichtige Aufgabe des Natur- und Bodenschutzes besteht weiterhin darin, die letzten noch verbliebenen naturnahen Standorte und damit aktuelle Restvorkommen seltener Torfmoosarten und deren Lebensräume zu schützen und Torfkörper als Archive der Kultur- und Naturgeschichte zu erhalten.

4.3.3 Naturschutzverträglichkeit von Klimaanpassungsmaßnahmen – Effiziente Feldberegnung aus Sicht der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung

Elena Rottgardt, Karsten Runge

Die Folgen des Klimawandels machen Klimaanpassungsmaßnahmen unabdingbar. Veränderungen der Niederschlagsverteilung, Temperaturanstieg (vgl. Kap. 3) und die zunehmende Wahrscheinlichkeit von Extremwetterereignissen führen dazu, dass seitens der Landwirtschaft Anpassungsmaßnahmen z. T. bereits heute ergriffen werden (vgl. Kap. 4.2.4 und Kap. 4.4.2). Im Landkreis Uelzen bewirkt diese Entwicklung u. a. ein Anstieg der Beregnungsbedürftigkeit (vgl. Kap. 4.1.2). Die Regierungskommission (RK) Klimaschutz (2012) nennt u. a. ein klimaangepasstes Nährstoffmanagement, die Verbesserung der Potenziale zur landwirtschaftlichen Grundwassernutzung und eine wassersparende Bewirtschaftung mithilfe von gering wasserverbrauchenden Feldfrüchten als Strategien, die die Widerstandsfähigkeit der Landwirtschaft gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels stärken sollen. Eine frühzeitige Anpassung an den Klimawandel kann u. a. wirtschaftliche Schäden gering halten, jedoch sollte dabei auch der Naturschutz nicht außer Acht gelassen werden. Klimaanpassungsmaßnahmen wirken sich nicht nur positiv auf die landwirtschaftliche Nutzung bzw. auf die Ertragssicherheit aus, sondern können ebenso Effekte auf den Naturhaushalt haben (vgl. Vohland et al., 2012) (Abb. 4.3.10).



Abb. 4.3.10: Die Auswirkungen des Klimawandels bedingen Klimaanpassungsmaßnahmen, welche Effekte auf die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts haben können.

Neben qualitativen Auswirkungen von Klimaanpassungsmaßnahmen auf den Naturhaushalt sind auch ordnungspolitische Instrumentarien des Umweltrechts zu untersuchen und ggf. an die neu entstehenden Herausforderungen anzupassen (vgl. Runge u. Wachter, 2010; Runge et al., 2010). Dies ist insbesondere deswegen erforderlich, da es in Zukunft infolge der Auswirkungen des Klimawandels vermehrt zu Klimaanpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft kommen wird – und dadurch ggf. auch zu Nebeneffekten auf den Naturhaushalt und das Landschaftsbild. Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung als zentrales flächendeckendes Naturschutzinstrument in Deutschland ist in Bezug auf die durch Klimaanpassungsmaßnahmen entstehenden Effekte vorrangig zu überprüfen, um den nachhaltigen Umgang mit den Naturgütern langfristig zu gewährleisten. Die naturschutzrechtliche Eingriffsregelung ist in den §§14 - 18 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) geregelt.

Maßnahmen der Landwirtschaft nehmen traditionell eine Sonderrolle bei der Regelung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung ein. Laut §14 (2) BNatSchG ist die landwirtschaftliche Bodennutzung nicht als Eingriff zu sehen, soweit dabei die Ziele des Naturschutzes und der Landschaftspflege berücksichtigt werden (sog. Landwirtschaftsklausel). Es handelt sich insofern um eine Privilegierung landwirtschaftlicher Nutzung, wobei diese sich auf Bewirtschaftungsmaßnahmen bezieht, die unmittelbar mit der Bodennutzung in Bezug stehen müssen (Guckelberger 2011). Dagegen sind mittelbare Bewirtschaftungsmaßnahmen, die auch im Rahmen von Klimaanpassungsmaßnahmen ggf. für erforderlich gehalten werden, wie z. B. die Beseitigung von Hecken und Feldgehölzen, der Umbruch von Dauergrünland zu Ackerland und die Entwässerung von Moorflächen, ein Eingriff im Sinne des Gesetzes.

Neben der Landwirtschaftsklausel spielt der Begriff der „guten fachlichen Praxis“ für die naturschutzfachliche Bewertung von landwirtschaftlichen Klimaanpassungsmaßnahmen eine Rolle. Die gute fachliche Praxis wie sie in §14 (2) und §5 (2 - 4) BNatSchG, in §17 Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) und dem Fachrecht der Landwirtschaft verankert ist, beinhaltet u. a. eine standortangepasste Bewirtschaftung und eine nachhaltige Bodennutzung. Hinsichtlich der geplanten, z. T. bereits umgesetzten und ggf. langfristig vermehrt angestrebten Klimaanpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft ist zu untersuchen, ob die daraus entstehenden Effekte auf den Naturhaushalt mit dem Nachhaltigkeitsgrundsatz der Landwirtschaftsklausel und der „guten fachlichen Praxis“ vereinbar sind.

Methodisches Vorgehen

Als Fallbeispiel diente eine landwirtschaftlich optimierte Form der Feldberegnung, Linearberegnungsanlagen, wie sie beispielhaft in der Gemeinde Suhlendorf im LK Uelzen geplant sind. Die Auswahl erfolgte in Zusammenarbeit mit den Initiatoren des Kulturlandschaftsverbands ‚Obere Wipperau‘ (vgl. Kap. 4.4.2). Diese Technik gilt als effizienter im Vergleich zu den herkömmlichen Großflächenregnern mit Beregnungsmaschine („Beregnungskanone“), was in Anbetracht der begrenzten Verfügbarkeit von Grundwasser von hoher Bedeutung ist (vgl. Kap. 2, Kap. 4.1 und Kap. 4.2). Sowohl die Präzisierung der pflanzennahen Wasserausbringung als auch die niedrigeren Energie- und Arbeitskosten sind aus Sicht der Landwirtschaft Faktoren, die den Einsatz von Linearberegnung vor dem Hintergrund eines zunehmenden Beregnungsbedarfes im Klimawandel begründen (vgl. Kap. 4.2.4). Für die Anwendung dieser Technik werden Flächen von mindestens 20 - 40 ha benötigt, was im Landkreis Uelzen z. T. Anpassungen der Agrarstruktur erforderlich macht (vgl. Kap. 4.4.2).

Um die gegenwärtigen Anforderungen der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung und die Ausnahmetatbestände der Landwirtschaftsklausel zu diskutieren, wurde in einem ersten Schritt, basierend auf einer umfassenden Literaturrecherche, eine naturschutzfachliche Wirkungsprognose und Eingriffsbewertung der Klimaanpassungsmaßnahme durchgeführt. Untersucht wurden dabei die Bestandteile des Naturhaushalts in Anlehnung an §7 BNatSchG (1) Boden, Wasser, Klima, Luft, Pflanzen, Tiere, Biotope, Biotopverbund, Schutzgebiete sowie das Landschaftsbild. Hierfür standen dankenswerterweise die Ergebnisse der Untersuchungen von Lamprecht u. Wellmann (2012) in Kooperation mit der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Uelzen zur Verfügung. In einem zweiten Schritt wurden, basierend auf den Ergebnissen der naturschutzfachlichen Wirkungsprognose und Eingriffsbewertung, die Eingriffsregelung, insbesondere die Ausnahmetatbestände der Landwirtschaftsklausel und in diesem Zusammenhang der Begriff der „guten fachlichen Praxis“ diskutiert.

Für die naturschutzfachliche Wirkungsprognose und die Bewertung der Linearberegnung wurden zunächst regionale Szenarien für das Jahr 2050 skizziert. Dabei handelt es sich um drei unterschiedliche Szenarien mit den Schwerpunkten „Status quo Entwicklung“, „Ökonomie“ und „Umwelt“, in denen die Faktoren Landnutzung und Klimawandel die zentrale Rolle spielten. Dies ermöglichte nicht nur den Status quo des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes, sondern auch zukünftige, sozio-ökonomische und ökologische Entwicklungen langfristig vorausschauend in die Eingriffsbewertung einzubeziehen. Zur Durchführung der Wirkungsprognose wurden zunächst die Wirkfaktoren der Linearberegnungsanlagen identifiziert. Anhand einer solchen Aufschlüsselung wurden die Wirkungen der Maßnahme auf die einzelnen Funktionen des Naturhaushalts sowie auf das Landschaftsbild prognostiziert und bewertet. Ausschlaggebendes Bewertungskriterium war allein die Erheblichkeit

von Beeinträchtigungen des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes. Dabei liegt der Gedanke zugrunde, dass es grundsätzliches Ziel der Eingriffsregelung ist und langfristig bleiben wird, erhebliche Eingriffe in den Naturhaushalt zu vermeiden und zu vermindern. Es ist daher davon auszugehen, dass auch Eingriffe, die nach dem heutigen Recht als unerheblich gelten, jedoch zukünftig als erheblich identifiziert werden können, im Zuge wiederkehrender Gesetzesnovellierung langfristig als solche durch das BNatSchG erfasst werden.

Ergebnisse

Grundsätzlich ist ein sparsamer und effizienter Umgang mit der Ressource Wasser, wie ihn die Landwirtschaft im Landkreis Uelzen mit der hier beschriebenen Linearberegnung anstrebt, aus Sicht des Naturschutzes positiv zu sehen. Jedoch haben die Untersuchungen gezeigt, dass es infolge der Maßnahme zu einigen Zielkonflikten mit dem Naturschutz kommt. Für den Einsatz der Technik ist eine Flächenvergrößerung und Rodung von Feldgehölzen erforderlich, was bereits heute im Sinne des Ganzen als ein erheblicher Eingriff zu werten ist, der ausgeglichen werden muss.

Neben diesem klassischen Fall der Anwendung der Eingriffsregelung auf Maßnahmen der landwirtschaftlichen Flächennutzung sind weitere Beeinträchtigungen des Naturhaushalts zu erwarten:

- Die im Untersuchungsgebiet ohnehin schon sehr hoch bewertete potenzielle Winderosionsgefährdung (LBEG, 2012) der Böden nimmt durch die Vergrößerung der zusammenhängenden landwirtschaftlichen Flächen und das Entfernen von Feldgehölzen weiter zu. Der dadurch entstehende hohe Bodenabtrag beeinträchtigt die Bodenfunktionen, dies insbesondere unter Bedingungen des Klimawandels mit längeren Trockenperioden (vgl. Kap. 4.1.2) einhergehend mit starken Windereignissen. Unter der Perspektive stark wirtschaftlich orientierter Zukunftsszenarien und einer dementsprechenden Ausweitung der konventionellen landwirtschaftlichen Flächennutzung nimmt die Wahrscheinlichkeit von Bodenverlusten durch Winderosion im Untersuchungsgebiet noch zu. Solch eine erhebliche Verschlechterung der Funktionsfähigkeit eines Bestandteiles des Naturhaushalts – in diesem Fall der des Bodens – muss unter dem Leitgedanken der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung (Erhaltung des Status quo des Naturhaushalts) als ein erheblicher Eingriff bewertet werden.

- Bei einer langfristigen Betrachtung der Wirkungen der Linearberegnung sind ggf. Beeinträchtigungen der Leistungs- und Funktionsfähigkeit der Oberflächengewässer zu erwarten. Ein angenommener Anstieg des Einsatzes von Linearberegnung im gesamten Landkreis Uelzen führt, in Verbindung mit den zu erwartenden klimatischen Veränderungen, zu einer Reduzierung des Oberflächenabflusses und der Pegelstände des Grundwassers bei lang andauernden Trockenperioden (vgl. Wittenberg, 1998 zit. in Ostermann, 1998).
- Das örtliche Klima und die Luftqualität sind sowohl unter heutigen Bedingungen als auch bei einer Berücksichtigung zukünftiger Szenarien voraussichtlich nicht von erheblichen Beeinträchtigungen der Leistungs- und Funktionsfähigkeit betroffen. Ausnahme ist eine hohe Staubeentwicklung in Zeiten starker Winderosion.
- Die Leistungs- und Funktionsfähigkeit vorkommender Vegetation, speziell von Ackerwildkräutern und Feldgehölzen, wird durch die Maßnahme erheblich beeinträchtigt. Die vorbereitenden Maßnahmen zur Einrichtung der Linearberegnung führen zu einem vollständigen Verlust zahlreicher Feldgehölze. Die Standorteigenschaften von Ackerwildkräutern werden dadurch sowie durch die zu erwartende Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung (Szenario für das Jahr 2050) und den damit einhergehenden Nährstoffeintrag, erheblich beeinträchtigt.
- Für die Avifauna, speziell für den vorkommenden Ortolan (*Emberiza hortulana*), bedeutet die Entfernung der Feldgehölze einen vollständigen Standortverlust. Dies ist als erheblicher Eingriff zu werten. In den Feldgehölzen und Ackerwildkräutern vorkommende Insekten erleben in Abhängigkeit ihres Vorkommens z. T. einen Standortverlust. Betroffen ist z. B. der Blaue Eichenzipfelfalter (Vorkommen u. a. in bodensauren Eichenmischwäldern).
- Die Maßnahmen resultieren in einem vollständigen Standortverlust von Biotopen wie „bodensaurem Eichenmischwald“, „Kiefernwald armer Sandböden“. Dies ist im Sinne des Gesetzes auch nach heutigem Recht als erheblicher Eingriff zu werten. Der Biotoptyp „Sandacker“ wird in seiner Leistungs- und Funktionsfähigkeit nicht erheblich beeinträchtigt.
- Die Entfernung der Feldgehölze und der Feldvergrößerung wirkt monotonisierend auf das Landschaftsbild. Unter dem Blickwinkel von Szenarien, die eine Intensivierung der Landbewirtschaftung beinhalten, ist dieser Effekt als erheblich einzustufen. Eine Extensivierung der landwirtschaftlichen Flächennutzung (Szenario für das Jahr 2050) wirkt diesem Effekt entgegen.

Fazit

Mit der Nutzung von Linearberegnungsanlagen im Landkreis Uelzen ist u. a. eine Schonung der Wasserressourcen und somit des Naturhaushalts beabsichtigt. Die Ergebnisse der naturschutzfachlichen Untersuchung lassen unter Annahme von langfristigen Szenarien, trotz ökonomischer Verbesserungen gegenüber heutigen Verfahren, dennoch erhebliche Beeinträchtigungen der Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts befürchten (siehe Abb. 4.3.10). Diese Beeinträchtigungen werden nach dem Grundverständnis der Eingriffsregelung – unbeachtet der heutigen Rechtslage – als erhebliche Eingriffe zu werten sein. Es gibt insbesondere zu denken, dass Einzelaspekte dieser landwirtschaftlichen Klimaanpassung – insbesondere die verstärkte potenzielle Winderosionsgefährdung – zu einer Verschärfung der erwarteten Klimawandelauswirkungen führen können.

Um erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushalts zuvorzukommen, wird eine Anpassung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung als notwendig erachtet. Die Untersuchungen machen unseres Erachtens deutlich, dass die Landwirtschaftsklausel konkretisierungsbedürftig ist und seitens des Gesetzgebers an die bereits heute bekannten Herausforderungen des Klimawandels und der landwirtschaftlichen Klimaanpassung adaptiert werden sollte. Eine nachhaltige Nutzungsfähigkeit der Naturgüter (Ziel des Naturschutzes im Sinne des BNatSchG) erscheint unter Anbetracht langfristiger Entwicklungen nicht ausreichend mit einer flächenhaft durchgeführten Klimaanpassung in Form linearer Feldberegnung vereinbar. Ebenso ist unseres Erachtens eine klimawandelbezogene Konkretisierung des Begriffes der „guten fachlichen Praxis“ erforderlich, um einen nachhaltigen Umgang mit den Naturgütern in der Kulturlandschaft weiterhin zu gewährleisten. (Eine ausführliche Diskussion des Begriffs der „guten fachlichen Praxis“ ist in der Dissertation von Rottgardt (veröff. 2014) zu finden.) Dies dürfte sowohl im Interesse des Naturschutzes als auch im Interesse einer nachhaltigen Landwirtschaft erstrebenswert sein.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass in der Praxis im Rahmen des Kulturlandschaftsverbands ‚Obere Wipperau‘ bereits heute ein Austausch zwischen den Akteuren der Landwirtschaft und des Naturschutzes hinsichtlich der Umsetzung von Kreis- und Linearberegnungsanlagen im LK Uelzen stattfindet. Der in Kap. 4.4 näher erläuterte Kulturlandschaftsverband zeigt eine Möglichkeit auf, wie Akteure unterschiedlicher Interessen im Rahmen der Rechtsanwendung sich über die jeweiligen Bedürfnisse austauschen können, um langwierige Konflikte auf beiden Seiten frühzeitig entgegenwirken zu können.

4.4 Sektorübergreifende Untersuchungen und Kommunikationsformen

4.4.1 Kommunikation und Bildung zu Klimafolgen und -anpassung: Neue Herausforderungen - „alte“ Schwierigkeiten?

Christine Katz, Wiebke Schoenberg

Problembewusstsein für Klimafolgen und Anpassung

Auch wenn der Klimawandel von der deutschen Öffentlichkeit mehrheitlich als ernstes Problem betrachtet wird, bleibt er für viele abstrakt und eher etwas, das vor allem die sog. Länder des Südens betrifft. Für Deutschland werden die Auswirkungen als nicht gravierend bzw. beherrschbar (Kleinhüchelkotten, 2012) bewertet. Gemäß einer Befragung schätzen Lüneburger Schülerinnen und Schülern der 9. (Hauptschule) und 10. Klasse (Gymnasium) darüber hinaus die Betroffenheit ihrer Region durch den Klimawandel als eher gering ein (Katz und Kleinhüchelkotten 2011). Entsprechend zurückhaltend wird die Auseinandersetzung über mögliche Folgen und Anpassungserfordernisse in der Öffentlichkeit geführt. Im Mittelpunkt der öffentlichen Diskussionen rund um den Klimawandel steht bisher vor allem der Klimaschutz, d. h. die Vermeidung bzw. Abschwächung des Klimawandels durch die Reduktion von Treibhausgasemissionen (u. a. Drews, 2014). Auch in Bildungsangeboten und -materialien der Metropolregion Hamburg (MRH) werden weder die lokalen Auswirkungen des Klimawandels noch die Notwendigkeit und die Möglichkeiten, sich daran anzupassen, maßgeblich thematisiert (Katz und Marwege 2010). Akteure für umweltbezogene Bildungsaktivitäten beklagen ein Informationsdefizit in Bezug auf das aktuelle, regionsspezifische Klimawissen und didaktische Vermittlungsmöglichkeiten (Katz und Molitor, 2014). Deutschlandweite Umfragen belegen außerdem, dass den wenigsten Menschen klar zu sein scheint, welche individuellen Handlungsoptionen im privaten Bereich bestehen, um den Umgang mit den Auswirkungen des Klimawandels und die Vermeidung neuer Veränderungen aktiv mitzugestalten. Auch ist das Interesse, sich mit der Thematik zu befassen, innerhalb der Bevölkerung unterschiedlich ausgeprägt. Es variiert in Abhängigkeit davon, welchem sozialen Milieu Personen zuzurechnen sind, und steigt mit dem Bildungsgrad (Etscheid, 2008, Wippermann und Calmbach, 2008, BMU 2010, Kleinhüchelkotten, 2012). Personen, die im privatwirtschaftlichen oder im öffentlichen Sektor beschäftigt sind, werden beruflich häufiger mit Fragen der Klimaanpassung konfrontiert. Dort stehen Bildung und Kommunikation zu Klimafolgen und -anpassung eher vor der Herausforderung mit einem professionsbedingt unterschiedlich ausgeprägten Problembewusstsein, strukturellen Beharrlichkeiten und tradierten Konfliktlagen umgehen zu müssen.

Es besteht also sowohl in der allgemeinen Bevölkerung als auch bei den beruflich damit befassten Akteuren ein Aufklärungs- und Sensibilisierungsbedarf in Bezug auf aktuelle und zukünftig eintretende regionsspezifische Klimafolgen sowie entsprechende Handlungsoptionen zur Anpassung. Die Aktivitäten der in KLIMZUG-NORD verankerten Querschnittsaufgaben „Bildung und Kommunikation“ sowie „Naturschutz“ zielten entsprechend darauf ab, verschiedenen Zielgruppen für die Betroffenheit der Region zu sensibilisieren und das Problembewusstsein für Klimafolgen und -anpassung zu erhöhen. Unter anderem sollten Informationen über die regionalen Auswirkungen des Klimawandels vermittelt, Anstöße für eine Auseinandersetzung mit den klimabedingten Folgen für die Metropolregion und die Modellgebiete gegeben und Optionen der Anpassung im unmittelbaren Lebens- und Berufsumfeld diskutiert werden. Im Rahmen dessen wurden u. a. zielgruppenspezifische Bildungsmodule und Kommunikationsformate für Akteure, Multiplikatoren und breite Bevölkerungsschichten auch außerhalb der Schule entwickelt. Die Maßnahmen sind in den verschiedenen Modellgebieten der MRH einsetzbar. Für das Modellgebiet Lüneburger Heide lagen zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Beitrags noch keine konkreten Erfahrungen damit vor.

Im Folgenden wird zunächst erörtert, warum Menschen überhaupt für das Thema Klimaanpassung interessiert werden sollen, warum und woran sich angepasst werden soll, und wer genau das eigentlich tun kann oder sollte. Beispielhaft wird auf Irritationen und Fallstricke in der Vermittlungsarbeit mit Naturschutzakteuren und der Allgemeinbevölkerung eingegangen und es werden einige wesentliche Faktoren für gelingende Kommunikations- und Bildungsaktivitäten u. a. als Beitrag für eine aktive Mitgestaltung von Anpassungsmaßnahmen an regionale Klimafolgen skizziert.

Wer soll sich anpassen?

Die nur marginal wahrgenommene persönliche Betroffenheit von Klimafolgen ist nicht nur fehlendem Wissen zuzuschreiben. Sie verweist vielmehr auf ein grundsätzliches Problem: Nicht alle Gesellschaftsmitglieder sind gleichermaßen von den Klimafolgen betroffen und nicht jede/r hat die gleiche Zuständigkeit, reale Möglichkeit oder zieht den gleichen Nutzen daraus, sich anzupassen. Unstrittig besteht für alle mit Entscheidungsbefugnis ausgestatteten Akteure im planungs- und regelungspolitischen Bereich sowie professionsbedingt für gesellschaftliche Gruppen in spezifisch vom Klimawandel betroffenen Handlungsfeldern (z. B. Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Naturschutz, Tourismus) ein erhöhter Druck, Anpassungsaufgaben zu übernehmen. Aber warum sollte sich ein Jugendlicher aus dem finanzstarken konservativ-bürgerlichen Milieu für die Klimafolgen in der Lüneburger Heide interessieren oder wie kann bzw. warum soll eine alleinerziehende Hartz IV-Empfängerin, wohnhaft in einem schlecht isolierten, mehrstöckigen Mietshaus zur Klimaanpassung beitragen? Beide werden zwar in zunehmendem, wenn auch unterschiedlichem Maße mit den Klimaveränderungen konfrontiert werden, aber beiden eröffnen sich so gut wie keine direkten Mitgestaltungsmöglichkeiten.

Dennoch erscheint es unter einer bestimmten Zielperspektive sehr sinnvoll, nicht nur für die exemplarisch genannten Personen Klimaanpassung als Bildungsauftrag zu realisieren: Denn aufzuklären darüber, wie sich die Klimaveränderungen vor Ort auf Wasser-, Boden- und Luftverhältnisse auswirken werden und welche Folgen das für die Regionen und ihre verschiedenen wirtschaftlichen Handlungsbereiche haben könnte, ist ein wesentliches Element von emanzipatorischer, aufklärerischer Bildung. Selbstbestimmung und Selbstwirksamkeit in Mitgestaltungsprozessen zu erleben und individuelle wie auch kollektive Handlungsoptionen sichtbar zu machen, ist Voraussetzung für politische Teilhabe. Dazu zählt auch, zu erfahren, wie man sich direkt (über Partizipation) oder indirekt (über die Auseinandersetzung mit politischen Akteuren) an der Entwicklung von Maßnahmen zur Bewältigung der Klimafolgen beteiligen kann. Das Ziel partizipativer politischer Bildung ist es also, individuelle und politische Gestaltungsspielräume sichtbar und erfahrbar zu machen und damit nicht nur zu einem anderen Politikverständnis, sondern auch zu einem Mehr an Demokratie beizutragen. Formate, in denen diese Art von beteiligungsorientiertem Erfahrungs- und Handlungswissen und politischen Gestaltungskompetenzen generiert werden kann, sind in (klimabezogenen) Bildungskontexten bislang noch zu wenig verbreitet (Katz und Molitor, 2014, WBGU, 2011).

Fallstricke und Merkposten bei der Vermittlung von Klimathemen

Bei der Vermittlung von regionalem Klimawissen und der Sensibilisierung für notwendige Anpassungsmaßnahmen ist es erforderlich, die jeweiligen Betroffenheiten, Zuständigkeiten und Möglichkeiten zur Mitgestaltung der Zielgruppen zu klären. Die Zielsetzung und ihre Begründung wie auch die Frage nach den Adressat(innen) und ihrer geeigneten Ansprache muss bei der Planung jeder Kommunikations- und Bildungsmaßnahme an prominenter Stelle behandelt und abgestimmt werden. So trivial das zunächst klingen mag, so herausfordernd ist die Umsetzung im konkreten Einzelfall. Die Zielsetzung und spezifische Adressierung richtet sich i. d. R. am Ausmaß der Betroffenheit der Akteure und an dem von ihnen formulierten Wissensbedarf aus. Eine Landwirtin, die wegen der Bodenverhältnisse auf Beregnung angewiesen ist, wird durch die für zukünftige Sommer projizierte Niederschlagsreduktion vor weitreichende, existentielle betriebliche Entscheidungen gestellt. Sie sieht also für sich einen anders gelagerten Wissens- und Regelungsbedarf, als eine Fachfrau im Bereich des Naturschutzes, die neben aktuellen Erkenntnissen über klimabedingte Änderungen im heimischen Artenspektrum vor allem an einer Reform naturschutzrechtlicher Vorgaben interessiert ist. Zielt die Vermittlung im ersten Fall insbesondere auf entscheidungsunterstützende Information, steht im zweiten Beispiel neben dem Wissenserwerb die Mitgestaltung rechtlicher Vorgaben im Vordergrund. Trifft man auf bestehende Netzwerke verschiedener Akteursgruppen in der Region (z. B. zur Abstimmung künftiger Prioritäten des Naturschutzes) oder werden neue aufgebaut (z. B. zur Kooperation in Bezug auf wasserwirtschaftliche Regelungsprobleme) ist man mit der Aufgabe, für regionale Klimafolgen und die Notwendigkeit der Entwicklung geeigneter Anpassungsmaßnahmen zu sensibilisieren, mit einer vielfältigen Gemengelage an Problemsichten, Intentionen, Wissensbedarfen und Mitgestaltungsansprüchen konfrontiert.

Beispiele erfolgreicher Klima-Kommunikation

Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurden durch die Universität Hamburg in der MRH vier Arbeitsgruppen (AGs) zum Themenkomplex Naturschutz und Klimawandel gegründet. Ziel aller AGs war es, ausgehend von einer gemeinsam erarbeiteten Wissensbasis Handlungsempfehlungen für künftige Strategien und Prioritäten des Naturschutzes unter Einfluss des Klimawandels zu entwickeln.

Bereits im Vorfeld der Gründung der AGs wurde deutlich, dass im administrativen Naturschutz erhebliche Unterschiede in der Betroffenheit und den Gestaltungsspielräumen der Mitarbeiter(innen) auftreten. So spielt bspw. auf Ebene der klassischen Verwaltungsarbeit in Landkreisen und Bezirken der Gedanke der Anpassung (der Strategien des Naturschutzes) an den Klimawandel

eine untergeordnete Rolle. Dies kann zum einen darauf zurückgeführt werden, dass die langfristig zu erwartenden Effekte des Klimawandels auf Flora, Fauna und Ökosystemfunktionen für die tägliche Arbeit in der Umsetzung des Naturschutzrechts aktuell nicht relevant sind. Zum anderen lässt die hohe Arbeitsbelastung wenig Raum, sich mit neu hinzutretenden Inhalten zu befassen. Hier liegt es an den Führungsebenen, Mitarbeiter(innen) für die Thematik zu sensibilisieren und zeitliche Freiräume zur Weiterbildung in Punkto Klimaanpassung zu schaffen. In der MRH wird dies zum Teil bereits praktiziert. Auf Ebene der ohnehin strategisch ausgerichteten Landesbehörden werden Klimawandel und -anpassung hingegen häufiger thematisiert und Handlungsansätze für die Zukunft entwickelt. Auch hier führt jedoch Zeitmangel bei den einzelnen, primär mit einem Fachbereich betrauten Mitarbeiter(innen) dazu, dass aktuelles Wissen zum Querschnittsthema Klimawandel und -anpassung nur schwer in die tägliche Arbeit einfließen kann. Eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaft und Verwaltung mit Fokus auf Wissenstransfer und Strategieentwicklung könnte hier Abhilfe schaffen.

Sofern die Anpassung an den Klimawandel als wichtiges Thema erkannt worden ist, steht neben der Frage des Wissenstransfers auch die Frage nach künftigen Prioritäten der Naturschutzarbeit im Vordergrund. Da sich der Klimawandel voraussichtlich sukzessive verstärken wird und Effekte klimatischer Veränderungen auf Flora und Fauna zeitversetzt auftreten können, wird zumeist kein unmittelbarer Handlungsbedarf gesehen. Für die nahe Zukunft bis ca. 2050 werden unterschiedliche Maßnahmen diskutiert. Neben der stärkeren Berücksichtigung des Klimawandels in Naturschutz- und Planungsrecht (siehe Kapitel 4.3.3) sind vor allem vorsorgende Maßnahmen wie die Erhaltung und Schaffung vielfältiger Landschaftsstrukturen, die Schaffung eines ausgedehnten Biotopverbundsystems oder ein verbesserter Wasserrückhalt in Feuchtgebieten (aufgrund der zu erwartenden geringeren Sommerniederschläge) zu nennen. Diese allgemeinen Empfehlungen gelten auch für die landwirtschaftlich geprägten Kulturlandschaften.

Bereits die Gründung und Abstimmung der inhaltlichen Ausrichtung der AGs erfolgte unter Einbeziehung der verschiedenen Akteure des Naturschutzes, deren Interessen sich somit in der weiteren Arbeit widerspiegeln. Zugleich zeigte sich in der Notwendigkeit, mehrere AGs zu initiieren, auch die immense inhaltliche Vielfalt des Themas Naturschutz. Je nach beruflichem Aufgabebereich und persönlichem Interesse (z. B. Ornithologie oder Botanik) können somit innerhalb des Naturschutzes divergierende Strategien gewählt und Prioritäten gesetzt werden. Das Auftreten naturschutzinterner Konflikte konnte durch die Aufteilung in verschiedene, dem eigenen Tätigkeitsfeld inhaltlich nahestehende AGs begrenzt werden. Vorteilhaft war zudem, dass im Rahmen der AGs über die allgemeine künftige Ausrichtung des Naturschutzes diskutiert wurde, während naturschutzinterne Konflikte, die überwiegend bei Einzelentscheidungen in der Naturschutzpraxis zum Tragen kommen, dort nicht thematisiert werden konnten. Neben der direkten Einbeziehung der

Akteure des Naturschutzes in die inhaltliche Gestaltung der AG-Arbeiten und der von täglichen Entscheidungen losgelösten Diskussionsebene haben zwei weitere Faktoren zur produktiven Arbeit der AGs beigetragen. Zum einen ist hier der von den Naturschutzakteuren als sehr positiv empfundene, unmittelbare Wissenstransfer von Wissenschaftlern(innen) der an KLIMZUG-NORD beteiligten Universitäten an die Akteure zu nennen. Umgekehrt wurde der direkte Austausch mit Praxispartnern auch von den Wissenschaftlern(innen) als Bereicherung bezeichnet. Zum anderen – und dies kann als wesentlich für die konstruktive Arbeit in den AGs bezeichnet werden – konnte durch die offiziell im KLIMZUG-Projekt und dort bei der Universität Hamburg angesiedelten AGs ein „neutraler Raum“ geschaffen werden, in dem Meinungen, Standpunkte und künftige Prioritäten wertfrei und losgelöst von aktuellen gesellschaftlichen Normen und der häufig politisch gefärbten Verwaltungs- und Verbandsarbeit diskutiert werden konnten.

Einbindung „der Bevölkerung“ - Bildungsmodule zur Sensibilisierung und Beteiligung

Die geeignete Ansprache zu finden, ist im Falle berufsbezogener Akteure, die sich über ihr Amt, ihre Funktion oder ihre organisatorische bzw. institutionelle Zugehörigkeit adressieren lassen, leichter zu bewerkstelligen, als in der Kommunikation mit der sog. allgemeinen Öffentlichkeit. Generell gilt, dass der Wunsch, „alle“ erreichen zu wollen, letztlich riskiert, niemanden anzusprechen oder allenfalls diejenigen, die bereits für das jeweilige Thema sensibilisiert sind. Ein 70-jähriger Rentner möchte anders angesprochen werden als eine 30-jährige Jungunternehmerin. Einige werden durch die Darstellung von Gefahren motiviert, selbst aktiv zu werden. Bei anderen führen Schreckensszenarien eher zu Ohnmachtsgefühlen (Kleinhüchelkotten, 2012). Will man Kinder und Jugendliche erreichen, erleichtert der Weg über die Schule und darüber organisierte klimabezogene Bildungsaktivitäten den Zugang auch zu denjenigen, die sonst eher wenig mit dem Thema konfrontiert werden. Nach unseren Erfahrungen gestaltete sich dies für den außerschulischen „Freizeit“-Bereich deutlich schwieriger. Wenn überhaupt, werden dort vor allem Jugendliche aus der sog. bildungsnahen Mittelschicht sowie aus natur- und umweltschutzinteressierten Familien erreicht (Etscheid, 2008, Wippermann und Calmbach, 2008).

Gemäß Untersuchungen von KLIMZUG-NORD kommt in der außerschulischen Umweltbildung eine Vielzahl didaktischer Formate zum Einsatz, vom eher kognitiv ausgerichteten Workshop über Exkursionen bis hin zu partizipationsgeleiteten und natur-/körpererfahrungsorientierten Bausteinen (Katz und Molitor, 2014). Zum Thema Klimawandel gibt es keine spezifischen neuen oder anderen Vorgehensweisen, zur Klimaanpassung existieren nahezu keine Angebote. Genau dies wird als Defizit beklagt. Befragte Vertreter(innen) von (Umwelt-)

Bildungseinrichtungen und/ oder für (umweltbezogene) Bildungsaktivitäten Zuständige zeigen ein großes Interesse an der Integration der Thematik Klimawandel und -anpassung in ihre Arbeitskontexte. Sie wünschen sich mehr inhaltliches und didaktisches Wissen dazu, sehen jedoch die personellen und finanziellen, strukturbedingten Ressourcenengpässe in ihren Institutionen als eine wesentliche Barriere, sich damit intensiver befassen zu können (ebd.).

Die im Rahmen von KLIMZUG-NORD entwickelten Bildungsbausteine versuchen, mit Blick auf die verschiedenen Bedingungen in den Bildungsorganisationen an den verschiedenen Ansprüchen unterschiedlicher Zielgruppen (auch außerhalb der bereits sensibilisierten) anzusetzen. So wurden in Zusammenarbeit mit dem Regionalen Umweltbildungszentrum SCHUBZ Lüneburg, dem Ausstellungsbüro Eva Siekierski und Studierenden des 1. Leuphana-Semesters (Studium Generale) der Universität Lüneburg verschiedene beteiligungsorientierte Bildungsmaßnahmen für den schulischen und außerschulischen Bereich für 10- bis 17-jährige Jugendliche (GPS-geführte Klimaanpassungstour durch Lüneburg, Filmwettbewerb, Klimakampagne (über Fotowettbewerb), Theaterworkshop, vgl. Katz, Molitor, Urban, 2014) erarbeitet. Die außerschulischen Angebote zielen auf Jugendliche in Jugendzentren und anderen Einrichtungen der (sozialen) Jugendarbeit. Dazu fand ein Austausch mit Vertreter(innen) dieser Einrichtungen statt.

Neben der Zielsetzung, durch selbstbestimmte und beteiligungsorientierte Lernsettings den Wissenserwerb und das Erleben von Selbstwirksamkeit zu verbessern, wurden auch einige Formate mit provozierenden bzw. kreativ-künstlerischen Elementen erarbeitet. Ein auf den Klimawandel in Lüneburg bezogener Rap „Wir sind regeneriert“ wurde textlich und musikalisch von Schülerinnen und Schülern zwischen 11 und 13 Jahren gemeinsam mit einer Musikpädagogin komponiert und öffentlich präsentiert. Eine Darstellung gespielter Szenen, „Fail & Hope“, darüber, was der Klimawandel auszulösen vermag, entstand aus der Auseinandersetzung von Schüler(innen) der SEK I mit klimarelevanten Themen. Die in Kooperation mit Studierenden in der Abschlussphase ihres Studiums zum/ zur Illustrator/in der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) entstandenen Klimanovellen bereiten wissenschaftliche Inhalte als Comics auf, die einen visuellen und narrativen Zugang zu den komplexen Forschungen ermöglichen. Die Comics richten sich an keine bestimmte Zielgruppe und wurden bereits erfolgreich in Unterrichtsfächern eingesetzt. „Kühlschrank auf fürs Klima“! besteht aus drei mit Studierenden des Leuphana-Semesters entwickelten ironisch gefärbten Aktionen zur Sensibilisierung für regionale Klimafolgen und Anpassungsansätze. Sie können unterschiedlich im Rahmen eines Workshops oder zur Initiierung eines Dialogs verwendet werden und kamen bereits mehrfach in Bildungskontexten zum Einsatz.

Fazit

Wie Kommunikation und Bildung im Kontext von Anpassung gestaltet werden sollen, was sie kennzeichnet und von herkömmlichen Bildungsaktivitäten zur Thematik Klimaschutz unterscheidet, ist eine herausforderungsreiche Angelegenheit – umso mehr, wenn es nicht nur um die Vermittlung von Fakten und Zusammenhängen und die Adressierung der sowieso sensibilisierten Mittelschicht gehen soll und wenn die bereits konflikträchtige Kommunikation zwischen unterschiedlich von Klimafolgen betroffenen verschiedenen Interessensvertreter(innen) stattfindet.

Unabdingbare Voraussetzung für ein Gelingen ist eine genaue Bestimmung der Kommunikations- und Bildungsziele, möglichst breites „Milieu“-Wissen über die Werthaltungen, Interessen und Ansprüche der Zielgruppe, Kenntnisse von Formaten und inhaltlichen Zugängen, die an deren Lebens- bzw. Berufswelten anknüpfen, sowie Transparenz und Glaubwürdigkeit in Bezug auf die Faktenlage und ihre Deutungen sowie hinsichtlich der Grenzen und Möglichkeiten tatsächlicher Mitgestaltung. Klimawandel und die Anpassung an seine Folgen bedürfen nicht einer ganz anderen Art der Kommunikation und/ oder neuer Bildungsmaßnahmen. Die aus Kommunikations- und Bildungskontexten bekannten Fallstricke und oftmals übergangenen Probleme, wie unspezifische Adressierung, unscharfe Zielsetzungen, Inputorientierung statt aktive Wirklichkeitsaneignung, Bevormundung statt Ermächtigung, geraten hier jedoch unweigerlich und anders brisant in den Blickpunkt. Sollen die Anstrengungen in diesem Bereich (Sensibilisierung für die Problematik, Bewusstsein; Aufklärung über zukünftige Folgen, Wissen, Einsicht in die Notwendigkeit, zu handeln; Motivation zur Mitgestaltung, Aufzeigen von Handlungsoptionen; Einmischung und Mitgestaltung/ politische Partizipation) nicht wirkungslos verpuffen, sind diese, den Kommunikations- und Bildungserfolg beeinflussenden Faktoren aktiv zu berücksichtigen. Eine Vernetzung mit Akteuren, die einen leichteren Zugang zur jeweiligen Zielgruppe haben (z. B. die freie Jugendarbeit) und/ oder Erfahrungen mit der nicht kognitiven Vermittlung haben (aus dem künstlerisch-kreativ, erlebnisorientiert-spielerischen Bereich), ist dabei genauso hilfreich wie eine stärkere Einbindung der Kenntnisse aus dem Bereich der Psychologie, der Kommunikations- und der Risikoforschung.

4.4.2 Dynamischer Kulturlandschaftsplan „Obere Wipperau“ - Ein Instrument zur Integration unterschiedlicher Landnutzungsstrategien auf Gemarkungsebene

Monika von Haaren, Imke Mersch

Die Landwirtschaft in Nordost-Niedersachsen muss sich an die Folgen des Klimawandels anpassen. Dabei ist die Umstellung auf den Einsatz wasser- und energieeffizienter Feldberegnungstechnik eine Schlüsselmaßnahme. Um ein nachhaltiges und unbürokratisches Flächen- und Wassermanagement umzusetzen und die Kulturlandschaft zukunftsfähig zu entwickeln, bedarf es eines integrativen Ansatzes, der die Akteure aus Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Naturschutz und Politik zusammenbringt und ihre Ziele und Wünsche gleichrangig berücksichtigt.

Warum ein „Dynamischer Kulturlandschaftsplan“? - Ausgangssituation

Aus der Landwirtschaft Nordost-Niedersachsens ist die Feldberegnung aufgrund der leichten Böden und der negativen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode nicht wegzudenken. In den 1950er-Jahren lösten Reihenberegnungsanlagen aufgrund des technischen Fortschritts die bis dato vorherrschende Oberflächenbewässerung ab und legten den Grundstein für die heutige Feldberegnung (Hübener, 1999). Sie ermöglicht es, das Risiko von Ernteeinbußen durch Trockenheit in der Vegetationsperiode deutlich zu mindern. Zudem werden höhere Erträge erzielt und der Anbau von qualitativ hochwertigen Hackfrüchten (Kartoffeln, Zuckerrüben, Gemüse) wurde in Nordost-Niedersachsen möglich. Hohe Investitionen in die Technik und die Spezialisierung auf intensiven Ackerbau, verbunden mit Lieferverträgen mit strengen Mengen- und Qualitätsanforderungen, z. B. für Kartoffeln, Zuckerrüben und Braugerste, machten die Feldberegnung für die Region ökonomisch unverzichtbar (Battermann und Theuvsen 2007). Sie sichert Einkommen ab, hat einen entscheidenden Anteil an der Wertschöpfung der strukturschwachen Region und erhält nicht nur in der Landwirtschaft selbst, sondern auch im nachgelagerten Bereich zahlreiche Arbeitsplätze (Fricke, 2008).

Die Klimaprojektionen zeigen für den Raum künftig eine Niederschlagsverschiebung von den Sommer- in die Wintermonate (vgl. Kap. 3). Um Ernteauffälle durch längere Trockenphasen in der Vegetationsperiode zu vermeiden sowie Erträge und Qualitäten zu sichern, muss künftig mehr beregnet werden. Die verfügbare Wassermenge ist gemäß dem Runderlass des Niedersächsischen Umweltministeriums jedoch begrenzt (MU, 2007). Eine Erhöhung der lokalen Verfügbarkeit könnte ggf. künftig durch gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Grundwasserneubildung erreicht werden (vgl. Kap. 4.1.3, 4.1.4). Um Ressourcen zu schonen und das verfügbare Wasser effizienter zu nutzen, eignet sich der Einsatz von Großflächenregnern, sogenannten Kreis- und Linearberegnungsanlagen (vgl. Kap. 4.2.4). Durch die gleichmäßigere Ausbringung steigt

der Ertrag pro Flächeneinheit bei gleichem Wassereinsatz gegenüber herkömmlicher Technik (Rohrtrommelberegnung). Bei tendenziell wachsenden Betriebsgrößen und einem zunehmenden Beregnungsbedarf sind auch die arbeitswirtschaftlichen Vorteile der Großflächenregner ein wichtiger Aspekt (Fricke, 2011). Um diese Technik einsetzen zu können, werden möglichst rechteckig bzw. quadratisch geschnittene Flächen von mindestens 20 ha benötigt. Daher sind häufig Anpassungen der Agrarstruktur erforderlich, die ohne geeignete Planungen zu großen strukturarmen Agrarlandschaften führen können. Diese stehen im Gegensatz zu den ökologischen Vernetzungsstrukturen eines Biotopverbundsystems. Die Folge können oftmals nur schwer lösbare Konflikte mit dem Naturschutz und anderen Landnutzern sein. Hier setzt der „Dynamische Kulturlandschaftsplan“ an. In der Praxis stehen die Belange von Landwirtschaft und Naturschutz oft unverknüpft nebeneinander oder behindern sich sogar. Die Kommunikation ist schwierig und ohne Moderation ist ein Konsens kaum möglich. Durch eine den Planungsprozess von Anfang an begleitende Kommunikation und Moderation ist die Wahrung der Interessen aller Akteure möglich und es können Kompromisse gefunden werden, die für alle Seiten tragbar sind. So können sich alle Bereiche gleichrangig entwickeln, ohne sich zu wechselseitig zu behindern.

Erfahrungen mit den bestehenden Planungsinstrumenten haben gezeigt, dass diese nicht geeignet sind, um primär Konflikte zwischen Landnutzern zu lösen. Die Landschaftsplanung, die über Landschaftsrahmenplanung (Landkreisebene) und Landschafts- oder Grünordnungspläne (kommunale Ebene) die Naturschutzziele konkretisiert, ist eine rein naturschutzfachliche Fachplanung und hat keine Außenwirkung. Erst durch die Aufnahme der Zielvorstellungen in die Raumplanung (z. B. durch Ausweisung von Vorranggebieten für Natur- und Landschaft im Regionalen Raumordnungsprogramm (RRÖP)) oder über Flächennutzungs- und Bebauungspläne ergeben sich rechtliche Bindungen für die Flächennutzer. Da die Entwicklungsziele der Naturschutzplanungen häufig den land- und forstwirtschaftlichen Zielvorstellungen der Nutzer widersprechen, stoßen hier die unterschiedlichen Interessenlagen konträr und heftig aufeinander. Die Land- und Forstwirte sehen sich aufgrund der - aus ihrer Sicht - praxisfernen Naturschutzplanungen in ihrer Existenz bedroht und verhalten sich wenig kooperativ, wenn es um die Umsetzungen von Naturschutzmaßnahmen geht. Mögliche agrarstrukturelle Maßnahmen, wie z. B. Flurneuerungsverfahren, die zur Lösung von Landnutzungskonflikten eingesetzt werden könnten, finden mittlerweile kaum noch Akzeptanz, weder bei den Landnutzern noch bei den Naturschutzvertretern. Das Instrument der Flurneuerung wurde nicht den veränderten landwirtschaftlichen Produktionsverhältnissen angepasst

Ist-Zustand und Zielvorstellungen - Eingangsdaten für den „Dynamischen Kulturlandschaftsplan“

und berücksichtigt u. a. nicht die hohen Pachtflächenanteile. Viele Eigentümer sind heute jedoch nicht mehr die Nutzer der landwirtschaftlichen Flächen, sodass die Bedürfnisse der eigentlichen Bewirtschafter im Verfahren oftmals gar nicht betrachtet werden. Die klassischen Flurneuordnungsverfahren schließen zudem notwendige Anpassungsmaßnahmen zur Beregnungsinfrastruktur aus, da diese nicht im Katalog der Fördertatbestände gelistet sind und stellen kaum noch nennenswerte Fördermittel für agrarstrukturelle Anpassungsmaßnahmen bereit. Dazu kommen die in der Regel zu lange Verfahrensdauer (Jahrzehnte) und die kaum zu überblickende Verfahrensbürokratie.

Das Werkzeug „Dynamischer Kulturlandschaftsplan“ wurde im Rahmen von KLIMZUG-NORD auf Basis vorangegangener Planungen und Erfahrungen entwickelt und im Raum „Obere Wipperaue“ erprobt (Abb. 4.4.1). Der Plan basiert auf einem Gutachten, das mit Mitteln aus dem EU-Förderprogramm LEADER sowie der Bingo-Umweltstiftung Niedersachsen finanziert wurde. Das Plangebiet umfasst auf 5.690 ha neun Gemarkungen in den Gemeinden Suhlendorf (Landkreis Uelzen) und Clenze (Landkreis Lüchow-Dannenberg). Namensgebend ist die südwestlich von Suhlendorf entspringende Wipperaue, die als rechter Nebenfluss nördlich von Uelzen in die Ilmenau mündet. Der Raum wird intensiv landwirtschaftlich genutzt, nahezu flächendeckend beregnet und weist große zusammenhängende Ackerflächen auf. Bereits 2005 wurde in der Gemarkung Güstau die erste Kreisberegnungsanlage installiert. Die dafür benötigten Strukturen konnten mittels eines Freiwilligen Landtauschs geschaffen werden. Mittlerweile sind im Projektgebiet insgesamt vier Kreisberegnungsanlagen installiert, die eine Gesamtfläche von etwa 130 ha beregnet werden können.

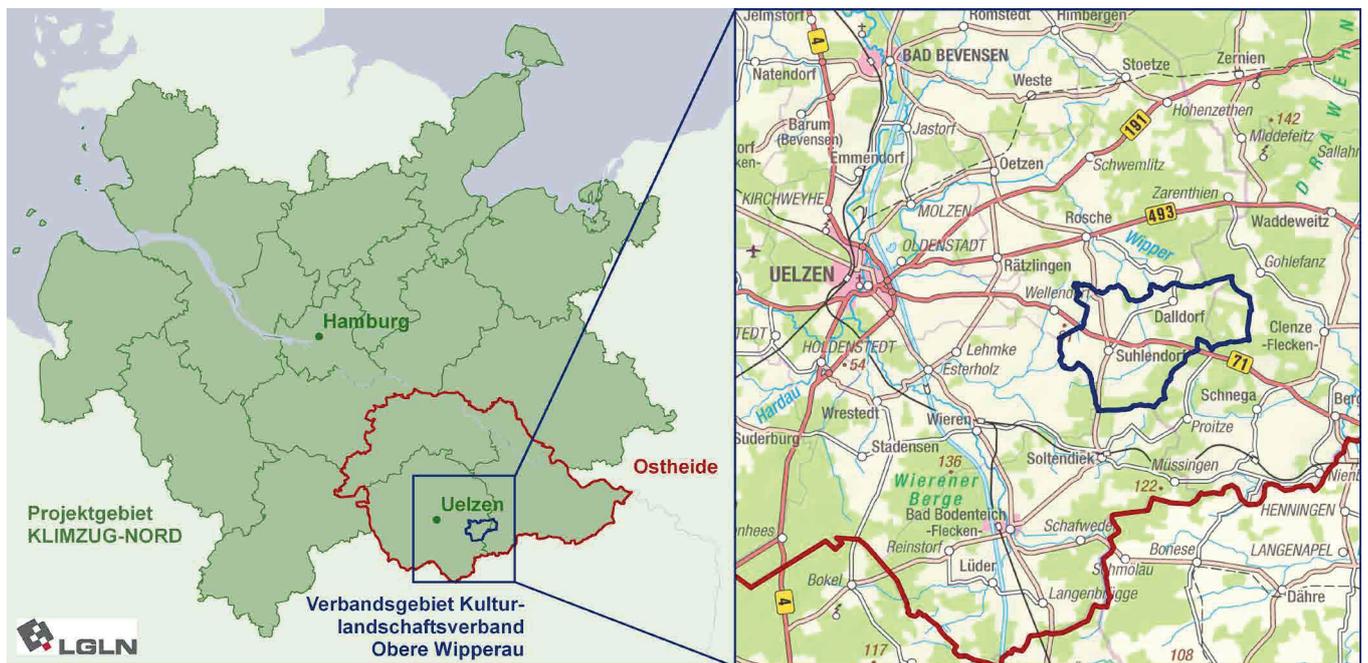


Abb. 4.4.1: Lage des Plangebietes „Obere Wipperaue“ im Modellgebiet Lüneburger Heide und im Projektgebiet von KLIMZUG-NORD (Quelle: LGLN 2013, eigene Darstellung)

Erfassung des Ist-Zustandes

Die Grundlage für den Kulturlandschaftsplan bildet eine Beschreibung des Plangebietes. Dabei fanden eine allgemeine Beschreibung der Gegebenheiten (Naturraum, Geologie, historische Entwicklung) und die Inhalte der übergeordneten Planungen (Landesraumordnungsprogramm, Regionales Raumordnungsprogramm, Flächennutzungsplan, Landschaftsrahmenplan, Landschaftsplan) Berücksichtigung. Der gegenwärtige Zustand von Natur und Landschaft wurde anhand der Schutzgüter Boden, Wasser, Klima, Luft, Biotoptypen, Pflanzen und Tiere erfasst und bewertet.

Erfassung der Zielvorstellungen von Landwirtschaft und Naturschutz

Seitens der Landwirtschaft im Plangebiet ist das Interesse an einer ökonomisch zukunftsfähigen Agrarlandschaft hoch. Für den Kulturlandschaftsplan wurden daher die Maximalplanungen, also alle im Plangebiet denkbaren Großflächenregener, definiert und in einem Geografischen Informationssystem (GIS) dargestellt. Insgesamt sind 10 Kreisberegnungs-, 5 Linear- und 15 Kombinationsanlagen (Kombination aus linien- und kreisförmigen Strukturen) denkbar, die eine Gesamtfläche von etwa 930 ha beregnen könnten. Auch weitere Wünsche, z. B. hinsichtlich Wegebau und Infrastruktur, fanden Berücksichtigung. Künftig ist aus Sicht der Landwirtschaft jedoch nicht nur die Beregnung von Bedeutung. Entscheidend ist auch der Erhalt der Produktionsgrundlage durch schonenden Umgang mit den verfügbaren landwirtschaftlichen Nutzflächen. Der ohnehin steigende Flächenbedarf und die zunehmende Nachfrage nach Lebensmitteln und Energiepflanzen können durch den Klimawandel weiter verschärft werden. Beispielsweise könnten seitens des Naturschutzes mehr Flächen für den Erhalt und die Entwicklung der Leistungs- und Funktionsfähigkeit von Habitatstrukturen und Biotopverbundsystemen benötigt werden.

Nach § 15 (3) BNatSchG ist bei der Ausweisung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen Rücksicht auf agrarstrukturelle Belange zu nehmen. Zur Umsetzung dieser normativen Anforderung wurden Kriterien zur Bewertung landwirtschaftlicher Flächen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Landwirtschaft (von Haaren und Eiben, 2012) exemplarisch für die Modellregion entwickelt. Unterstützt wurde die Erarbeitung durch die Naturschutzverbände NABU und BUND sowie die Jägerschaft des Landkreises Uelzen. Eine dreistufige Bewertungsskala zeigt dabei auf Feldebene an, ob Flächen von sehr hoher, mittlerer oder geringer Bedeutung für die lokale Landwirtschaft sind. Flächen mit hoher Bedeutung sollten möglichst nicht für Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen herangezogen werden. Bei Bedarf können hier jedoch in Randbereichen Strukturen für großräumige Biotopvernetzungsmaßnahmen angelegt werden, sollten hierfür keine Flächen mit geringerer Bedeutung für die Landwirtschaft zur Verfügung stehen. Die Zerstückelung oder Zerschnei-

dung hochwertiger Ackerflächen sollte vermieden werden. Als Grundlage für eine integrative Planung wurden neben den landwirtschaftlichen Belangen auch die Anforderungen und Ziele von Naturschutz und Landschaftsentwicklung erfasst. Die wichtigsten Ziele sind der Aufbau eines Biotopverbundsystems, die gezielte Nutzung von Agrarumweltmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen, die Gestaltung und Verbesserung des Landschaftsbildes sowie die bessere Erschließung der Landschaft für Bewohner des Projektraumes sowie Touristen. Darüber hinaus werden der Erhalt und die Entwicklung des in das Projektgebiet ragenden EU-Vogelschutzgebietes V 26 „Drawehn“ angestrebt.

Die Erfassung und Bewertung des Natur- und Landschaftshaushaltes und des Biotopverbundes mit seinen unterschiedlichen Strukturen sowie die anschließende Verknüpfung mit den landwirtschaftlichen Planungen erfolgte durch die Erarbeitung eines naturschutzfachlichen Zielkonzeptes. Das Gutachten wurde mit Mitteln aus dem EU-Förderprogramm LEADER sowie der Bingo-Umweltstiftung Niedersachsen finanziert. Es enthält eine zusammenfassende Darstellung der Bewertung von Arten, Biotopen, Schutzgütern und Landschaftsbild, zeigt naturschutzinterne Zielkonflikte auf, stellt Planungsziele lagegenau dar und liefert die Grundlage für die weitere Entwicklung eines Biotopverbundsystems.

Synthese

In einem letzten Schritt erfolgte die Zusammenführung der Einzelplanungen und Bewertungen in dem „Dynamischen Kulturlandschaftsplan“ (Abb. 4.4.2). Dazu wurden auf Gemarkungsebene zunächst die Konflikte zwischen landwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Planung in insgesamt zehn Karten dargestellt und im Textteil des Gutachtens beschrieben. So wird deutlich, welche Beregnungsanlagen relativ unproblematisch umgesetzt werden könnten und bei welchen Vorhaben erhebliche oder sogar schwere Konflikte zwischen den Einzelinteressen auftreten würden.

Darüber hinaus bietet der Plan einen umfangreichen Katalog an Maßnahmen an, die im Gebiet zur Umsetzung kommen könnten. Dabei ist zwischen Maßnahmen für den Biotop-, Arten- oder Klimaschutz, die in jedem Fall zur Weiterentwicklung der Landschaft umgesetzt werden sollten, sowie Maßnahmen, die erst bei der Umsetzung landwirtschaftlicher Planungen erforderlich werden, zu unterscheiden. Die für die Umsetzung der Maßnahmen verantwortlichen Akteure werden dabei direkt benannt. Der Kulturlandschaftsplan ist insoweit dynamisch, als dass er jederzeit anpassbar ist. Sollten sich die Planungen der Landwirtschaft ändern, kann aufgrund der vorliegenden Unterlagen zügig geprüft werden, welche Auswirkungen ein Vorhaben hätte. Wird eine Planung umgesetzt, können die Unterlagen aktualisiert werden. Künftig liegen damit jederzeit umfangreiche Daten zur weiteren Entwicklung des Raumes vor.

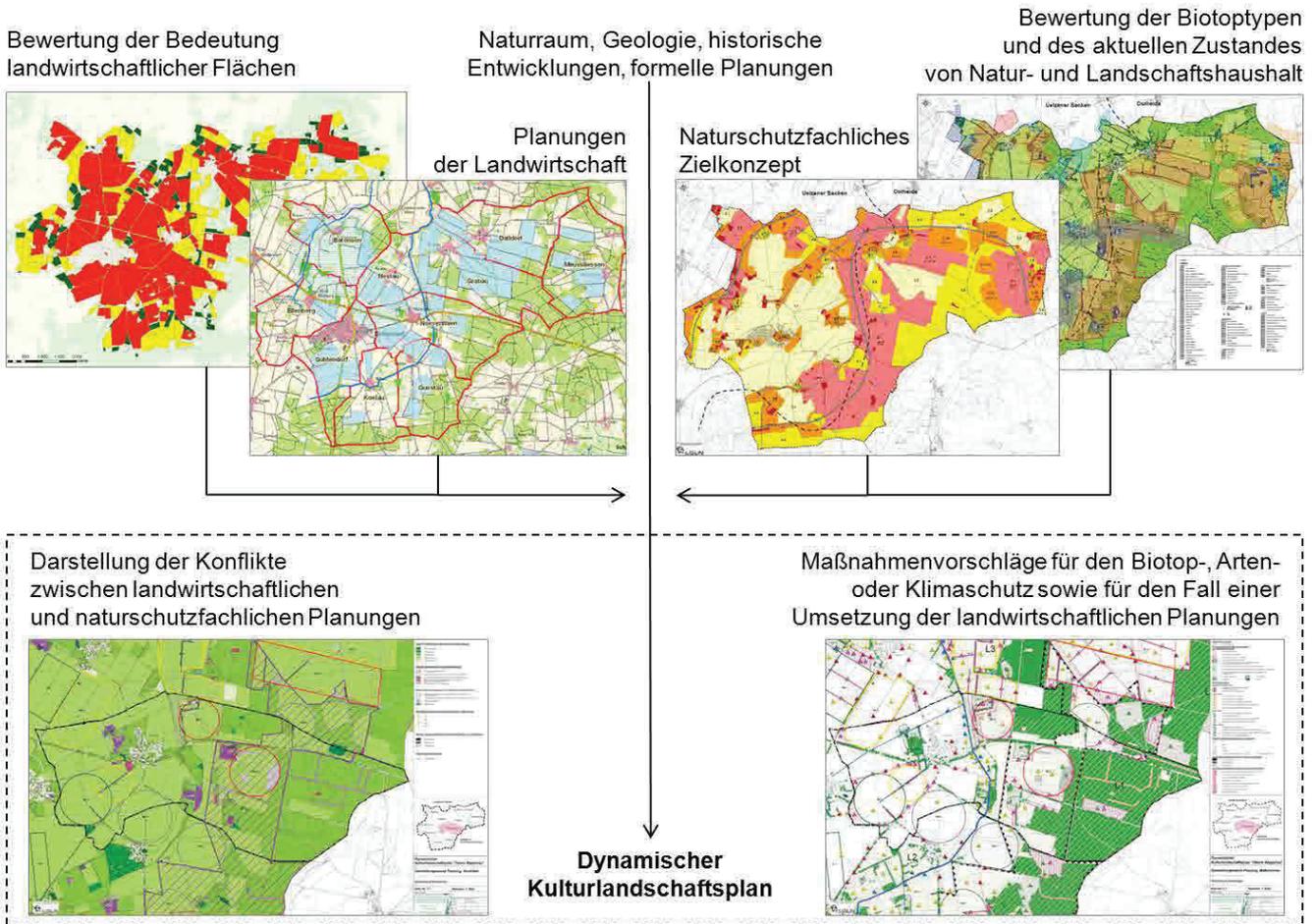


Abb. 4.4.2: Struktur des Dynamischen Kulturlandschaftsplans (Quelle: Lamprecht & Wellmann GbR, 2012, eigene Darstellung)

Veränderungen in der Kulturlandschaft - Kooperation zwischen den Akteuren trotz inhaltlicher Gegensätze

Die Kooperation von Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Naturschutz und Politik ist keine Selbstverständlichkeit. Bereits aus vergangenen Planungen wurde deutlich, dass Projekte dieser Art nur gelingen können, wenn von Anfang an alle Akteure an einem Tisch sitzen, offen ihre Wünsche und Bedenken äußern und das Verfahren so moderiert wird, dass sich jeder gleichberechtigt einbringen kann. Im Plangebiet „Obere Wipperau“ erfolgte diese Moderation durch die KLIMZUG-NORD Mitarbeiter der Landwirtschaftskammer Niedersachsen sowie die Geschäftsführung des Kulturlandschaftsverbandes „Obere Wipperau“. Durch die Gründung dieser inter- und transdisziplinären Kooperationsplattform werden die Kommunikationsprozesse unterstützt und Synergien und Konflikte transparent gemacht. Dabei handelt es sich um einen Verband nach dem Wasserverbandsgesetz (WVG).

Seine Satzungsziele lauten:

- Erfassung der historisch gewachsenen Kulturlandschaft,
- Schutz und Pflege der Kulturlandschaft,
- Berücksichtigung des Strukturwandels in Land- und Forstwirtschaft,
- Berücksichtigung des Klimawandels,
- Förderung einer Weiterentwicklung der Kulturlandschaft im Sinne des Naturschutzes.

Mitglieder sind Beregnungsverbände, Wasser- und Bodenverband, Gewässer- und Landschaftspflegeverband, die örtliche Verwaltung (Gemeinde, Flecken), Jagd- und Fischereigenossenschaften, die Jägerschaft, der Bauernverband Nordost-Niedersachsen sowie die Naturschutzverbände NABU und BUND.

„Dynamischer Kulturlandschaftsplan“ - Ein Konzept für andere Regionen

Im Plangebiet haben sich der „Dynamische Kulturlandschaftsplan“ und der Kulturlandschaftsverband als geeignet herausgestellt, um den Planungsanforderungen von Landwirtschaft und Naturschutz im Hinblick auf künftige Entwicklungen, insbesondere zur Anpassung an den Klimawandel, gerecht zu werden. Der Kulturlandschaftsplan ist damit Teil eines Entwicklungskonzeptes des Kulturlandschaftsverbandes, der jährlich fortgeschrieben werden soll. Diese informelle Planung könnte unseres Erachtens auch in die formalen Planungen und Entwicklungsziele der Raumordnung eingehen.

Die für die Region „Obere Wipperaue“ erarbeiteten Ansätze sind zudem in die „Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ eingeflossen. Dort wird „die Förderung der regionsspezifischen Kooperation zwischen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz, Wasserwirtschaft und Kommune (z. B. mithilfe von Kulturlandschaftsverbänden)“ empfohlen (Regierungskommission Klimaschutz, 2012).

Grundsätzlich ist eine Übertragung des Verfahrens, ggf. mit Anpassungen, auf andere Räume denkbar und wünschenswert und ließe sich auch für andere Fragestellungen anwenden. Ideal wäre eine Förderkulisse, die Anreize zur Nachahmung schafft und eine moderierte Begleitung von Planungsverfahren ermöglicht. Zu berücksichtigen ist, dass das Verfahren mit der Bereitschaft der lokalen Akteure zum „Blick über den Tellerrand“ steht und fällt.

Kontakt

Kulturlandschaftsverband „Obere Wipperaue“
Geschäftsführer Herr Ulrich Ostermann
0581/975511
ulrich.ostermann@wasser-uelzen.de

4.4.3 „Kooperationsnetzwerk Wasser“ - Eine Stakeholderplattform zur Beschleunigung und Verbesserung der Klimaanpassung im Handlungsfeld Grundwassermenge

Elisabeth Schulz

Die südöstliche Metropolregion Hamburg zeichnet sich durch eine besondere Vulnerabilität hinsichtlich der Grundwassermenge aus. Der erwartete höhere Wasserbedarf der regional bedeutsamen Beregnungslandwirtschaft kann nur noch begrenzt aus Grundwasser gedeckt werden. Zum Schutz der örtlichen Bäche werden Alternativen zur Sicherung der Feldberegnung gesucht. Eine Begegnungsplattform für die mit der Wasserbewirtschaftung befassten Gruppen (Stakeholder), das „Kooperationsnetzwerk Wasser“, wurde eingerichtet, um aus Zusammenarbeit resultierende Potenziale nutzbar zu machen und um Reibungsverluste zu minimieren.

Die sich aus einer guten Vernetzung der Stakeholder ergebenden Chancen waren aus der gemeinsamen Lenkungsgruppe eines Vorläuferprojektes („NoRegret - Genug Wasser für die Landwirtschaft?!)“ bekannt. Deshalb wurde in KLIMZUG-NORD mit dem „Kooperationsnetzwerk Wasser“ bereits zu Projektbeginn eine regionale kollaborative Plattform zum Handlungsfeld Grundwassermenge eingerichtet. Die Auswahl der Mitglieder erfolgte in Abstimmung mit dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz. Die Netzwerkmitglieder stammen aus verschiedenen betroffenen Sektoren, Ebenen und Organisationsformen. Das Ziel des Kooperationsnetzwerks ist, die (Weiter-)Entwicklung geeigneter Adaptionstrategien zu verbessern und zu beschleunigen. Außerdem sollten geeignete KLIMZUG-NORD

Ergebnisse den Stakeholdern direkt vermittelt werden. Entscheidungsbefugnisse, Antrags- oder Anhörungsrechte lagen jedoch wie zuvor allein bei den einzelnen Stakeholdern. Damit leistet das Kooperationsnetzwerk Wasser einen Beitrag zur der in der „Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (Regierungskommission Klimaschutz, 2012) geforderten „Klimawandel-Governance“.

Die meisten der Stakeholder-Vertreter im „Kooperationsnetzwerk Wasser“ kannten sich bereits aus dem Vorläuferprojekt. Die typischen Phasen der Zusammenarbeit in Projekten - „Forming, Storming, Norming, Performing“ (= Testphase, Nahkampfphase, Organisationsphase, Verschmelzungsphase) - wurden deshalb nicht mehr wahrnehmbar durchlaufen. Andererseits wurde aus begleitenden Stakeholder-Interviews (durch Forscher der KLIMZUG-NORD „Querschnittsaufgabe Governance“) deutlich, dass sich eine Kultur der Konfliktvermeidung zwischen den Stakeholdern eingebürgert hat.

Seit Jahrzehnten werden die landwirtschaftlichen Wasserentnahmeerlaubnisse aus Gründen des Fließgewässerschutzes beschränkt, da die Grundwasserförderung durch Brunnen die Abflussmengen der lokalen Fließgewässer entsprechend verringert. Eine kurzfristige zusätzliche Kürzung der Wasserentnahmeerlaubnisse durch die Unteren Wasserbehörden ist rechtlich möglich und stellt



Abb. 4.4.3: Exkursion des „Kooperationsnetzwerks Wasser“ an den Röbbelbach (LWK/ Niedersachsen)

eine latente Sorge der Bewässerungslandwirtschaft dar. Andererseits ist der Wasserwirtschaftsverwaltung und anderen außerlandwirtschaftlichen Stakeholdern die besondere sozioökonomische Bedeutung der Feldberegnung in der wirtschaftsschwachen südöstlichen Metropolregion Hamburg bekannt und ebenso die Bedeutung von Adaptionsmaßnahmen zur Vermeidung von Grundwasserkonflikten. Diese existenzielle Bedeutung der Wassernutzung findet im Wasserrecht nur sehr beschränkt Berücksichtigung. Entsprechend wird sie als latenter Druck auf die Entscheidungsfindung der Wasserwirtschaftsverwaltung und auf die Toleranz von Vertretern des verbandlichen Naturschutzes wahrgenommen.

Die unterschiedlichen Betroffenheiten der Mitglieder (Existenzsicherung in der Landwirtschaft, Verwaltungsentscheidungen im vorgegebenen wasserrechtlichen Rahmen, ehrenamtliches Engagement bei Naturschützern) wurde ebenfalls nur wenig thematisiert, um offene Konflikte zu vermeiden. Aus diesem Grund erfolgte die Teilgruppenarbeit zumeist außerhalb des Kooperationsnetzwerks in teilgruppenspezifischen Gremien oder anlassbezogen. Die Formate der Netzwerktreffen rangierten von hochkarätig besetzten Fachvorträgen (regionale Klimawandel-Szenarien, Regionalplanung, Naturschutz, zukünftiger Bewässerungsbedarf) über Berichte aus den KLIMZUG-NORD-Teilprojekten (Grundwasserwirtschaftliche Veränderungen, Fließgewässerentwicklung, Phar-

mazetika aus Kläranlagenabläufen, Auswertung von Interviews, Beregnungssteuerung, Modellierungstechnik, Agrarstruktur, naturschutzrechtliche Eingriffsregelung) sowie Fachexkursionen (Grundwasseranreicherung durch Fließgewässerabschläge, Beregnungslandwirtschaft (ökologisch/konventionell), Fließgewässerentwicklung (Abb. 4.4.3)) bis zu teilnehmerzentrierter Pinnwand-Arbeit (Problemanalyse, Lösungsansätze) sowie Einzelinterviews (Problemsicht, Lösungsmöglichkeiten, Konflikte).

Die Teilnahme der Netzwerkmitglieder erfolgte sehr unterschiedlich, z. T. regelmäßig, z. T. themenspezifisch, wobei die Beteiligung eher bei den „eigenen“ Themen stattfand. Jede Beteiligung am Kooperationsnetzwerk ist jedoch für sich sehr positiv zu sehen. Denn die Aktivitäten sind ausschließlich in die Kategorie Kommunikation, Information, Vertrauensbildung einzuordnen. Sie bedeuten für alle Teilnehmer einen Zusatzaufwand außerhalb des Tagesgeschäfts und sind deshalb ein wichtiger Indikator einerseits für die Bedeutung des Themas und andererseits für das Verantwortungsbewusstsein und die Offenheit der Teilnehmer.

Die Bedeutung des Klimawandels für die Arbeit des Kooperationsnetzwerks war relativ unspezifisch, obwohl zentral. Denn charakteristisch für alle Klimamodelle ist eine deutlich höhere Übereinstimmung und Zuverlässigkeit hinsichtlich des Faktors Temperatur als hinsichtlich des Faktors Niederschläge. Unsicherheiten und Ungenauigkeiten bezüglich der versickerungsrelevanten Parameter bei der Modellierung der Grundwasserneubildung verringern die Aussagetreue zusätzlich, sodass für das praktische Handeln keine belastbaren Schlüsse gezogen werden konnten.

Dagegen ist ein wachsender landwirtschaftlicher Bedarf (als Reaktion auf Temperaturanstieg und steigende Nachfrage nach Agrarprodukten) quasi Konsens. Dies stellt somit die grundlegende Motivation für eine vorausschauende Strategie- und Maßnahmenentwicklung dar. Alle Maßnahmen mit den dazugehörigen Pilotprojekten können vor diesem Hintergrund als No Regret-Maßnahmen eingestuft werden. In Abhängigkeit von der persönlichen Betroffenheit ist die Bereitschaft, neuartige Wege in der Wasserbeschaffung zu betreten, bei manchen wenig betroffenen Teilnehmern auch nach mittlerweile acht Jahren Plattformzugehörigkeit begrenzt. Andere wenig Betroffene engagieren sich dagegen im Rahmen ihrer Tätigkeitsfelder zunehmend aktiv und integrativ. Die Diskussionen zeigten außerdem wiederkehrend – bei gleichzeitigem gegenseitigen Verständnis der Problemlagen - unterschiedliche Wertesysteme der Stakeholder auf.

Grundsätzlich zeigen sich viele Möglichkeiten, die lokal durchgeführt werden könnten, um einen zukünftigen Konflikt zwischen dem Schutz von Fließgewässern (Abflussmenge) und dem Wasserbedarf der Bergungslandwirtschaft zu verhindern (z. B. Maßnahmen zum Wasserrückhalt, Waldumbau, Nutzung des Grundwasserkörpers zur Anreicherung für spätere Entnahmen). Manche Lösungsansätze würden Kosten verursachen, die nur unter Berücksichtigung der gesamtregionalen Bedeutung der landwirtschaftlichen Bewässerung ökonomisch vertretbar sind. Ein zentrales Problem und wichtiges Ergebnis ist, dass solche neuartigen oder sogar Win-Win-Lösungen derzeit (noch) an verfahrensrechtlichen und/oder verfahrenstechnischen Hürden scheitern. Beispielsweise sind viele Landwirte in der Lüneburger Heide gleichzeitig Eigentümer von Kiefernwaldflächen. Viele würden gerne einen Umbau zu Laubholz-betonten Mischwäldern (vgl. Kap. 4.1.3) finanzieren, wenn ihnen die resultierende zusätzliche Grundwassermenge zusätzlich zur Entnahme zur Verfügung stünde. Die hierfür erforderlichen rechtlichen und administrativen (und ggf. wissenschaftlichen) Rahmenbedingungen zu schaffen, liegt jedoch außerhalb der bisherigen bzw. gewohnten behördlichen Tätigkeitsfelder. Die für die erforderliche Erweiterung notwendige Bewusstseinsbildung wurde im Rahmen des Kooperationsnetzwerks angestoßen. Eine Fortsetzung der Plattform wird wegen der - normalen - Langwierigkeit von Umdenkungsprozessen angestrebt.

4.4.4 Aktive Beteiligung von Schülerinnen und Schülern über das Onlinerollenspiel KLIMA-TALK

Birgit Hohberg

Um auch junge Menschen für eine Diskussion des Themas Klimaanpassung zu gewinnen, hat die TuTech-Abteilung Social Media & Open Innovation im Rahmen des KLIMZUG-NORD Modellgebiets Lüneburger Heide das Onlinerollen- und Diskussionsspiel KLIMA-TALK entwickelt. Als Mitglied der Querschnittsaufgabe Governance war es die Aufgabe der TuTech Innovation GmbH, die Öffentlichkeit mithilfe des Beteiligungsinstrumentes Onlinediskussion an der Erörterung möglicher Klimaanpassungsansätze in der Metropolregion Hamburg zu beteiligen. Nachdem bereits drei Onlinediskussionen primär für die Zielgruppe Erwachsene planmäßig und erfolgreich in verschiedenen KLIMZUG-NORD Modellgebieten durchgeführt worden waren (vgl. Hohberg und Lührs, 2011/2013), bestand der Wunsch, den letzten Anwendungsfall für Schülerinnen und Schüler zu spezifizieren und ihnen einen spielerischen Zugang zum Thema zu ermöglichen.

Bedienung und Funktionen des Rollenspiels KLIMA-TALK

Das Onlinerollen- und Diskussionsspiel KLIMA-TALK basiert auf dem DEMOS-Verfahren (vgl. Hohberg und

Feil, 2011; <http://www.demos-diskurs.de/>), das bei KLIMZUG-NORD die Grundlage aller Onlinediskurse zum Thema Klimaanpassung lieferte. Die Plattform wurde für das Spiel und somit für einen didaktisch anspruchsvollen und spielerischen Zugang erweitert und an die Anforderungen eines Rollenspiels mit integrierter Punktevergabe sowohl grafisch als auch technisch angepasst. Der KLIMA-TALK thematisierte die Problematik der zukünftigen Wasserversorgung in der Heideregion insbesondere unter dem Einfluss des Klimawandels und wurde mit weiterführenden Informationen zu den Ergebnissen relevanter KLIMZUG-NORD Partner befüllt.

Im Spiel ging es darum, die zunehmende Konkurrenz um Wasser aus der Sicht von sechs Rollen und Perspektiven zu diskutieren: Landwirtschaft, Naturschutz, Verwaltung, Wirtschaft (Wasser, Forst, Tourismus), Wissenschaft und Anwohnerschaft. Am Beispiel der Heideregion, in der sich ein Wassermangel schon heute bemerkbar macht, sollten die unterschiedlichen Ausgangslagen, Interessen und Sorgen der beteiligten Rollen per Rollenübernahme antizipiert und die Problematik der zukünftigen Wasserversorgung gemeinsam diskutiert werden.



Wie geht das Spiel?

Worum geht es?

Alle Karten

Alle Teilnehmer

Top 10 Nutzer

Login

Benutzername oder E-Mail-Adresse *

Passwort *

- Neues Passwort anfordern

Anmelden

Herzlich Willkommen beim Klima-Talk!

Liebe Klima-Talkerinnen und Klima-Talker,

unser Spiel ist nun beendet. Wir danken euch allen für den großartigen Einsatz für unser Klima und Wasser und eure vielen tollen Argumente!

Die Gewinner unserer Preisverlosung unter den jeweils 10 besten Mitspieler/innen mit den meisten Punkten für aktive Teilnahme, meisten Likes für gute Argumente oder eigenen Argumentationskarten mit der besten Bewertung sind: *kopernikus08*, *kopernikus12*, *Master Tsar*, *warumkeineleertaste*, *bbw27*, *KoPerNikus10*, *peace007*, *TheKoesiti123*, *LakritzZwerg* und *kopernikus4*. Wir werden euch natürlich auch per Email informieren.

Wir wünschen euch eine schöne Weihnachtszeit und hoffen, es hat euch Spaß gemacht!

Euer Klima-Talk-Team

Sortieren nach

Letzte Änderung

Nach Rollen

- Alle -

| | | | | | |
|--|--------------------------------|-------|--|--------------|--|
| | <i>bbw27</i> 26.11.2013 | ***** | Höhere Strafen auf Wasserverschmutzung! | Argumente 12 | |
| | <i>bbw27</i> 27.11.2013 | ***** | Autos in Autowaschanlage waschen | Argumente 2 | |
| | <i>KoPerNikus10</i> 03.12.2013 | ***** | Klein hesebäcker bach schutz | Argumente 8 | |
| | <i>freddy</i> 29.11.2013 | ***** | Ein neuer Baum muss geflanst werden | Argumente 13 | |

Abb.: 4.4.4: www.klima-talk.de

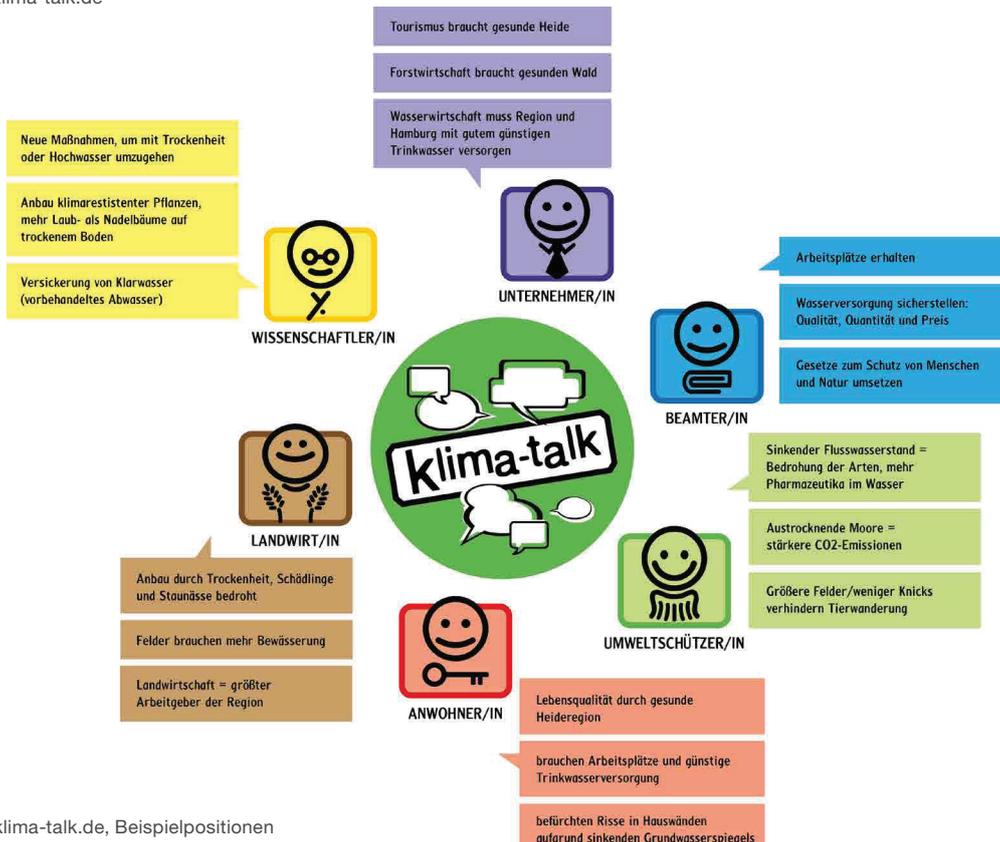


Abb.: 4.4.5: www.klima-talk.de, Beispielpositionen

Wie geht das Spiel?

Worum geht es?

Alle Karten

Alle Teilnehmer

Top 10 Nutzer

Login

Benutzername oder E-Mail-Adresse *

Passwort *

• Neues Passwort anfordern

Anmelden

BauerHermann 20.11.2013

Grundwasser und die Verschmutzung durch Gülle

Argumente 23

Durch die vielen Biogasanlagen in unserer Region entstehen große Mengen von Gülle und Substrat. Diese wird viel zu oft in viel zu großer Menge auf die Felder gebracht. Mittlerweile ist sogar schon das Grundwasser durch das Nitrat verschmutzt. Deshalb wäre es sinnvoll wenn man den so genannten Güllebonus abschafft, denn dieser verschafft dem Landwirt Zuschüsse wenn er die Gülle auf seinen Flächen ausbringt.

Pro 5 Contra 5

Anwohner/in

kopernikus14
Bevor Wasser in die Dusche kommt wird es eh gründlich gereinigt wir in der Heide haben so oder so eines der saubersten Trinkwasser 2

BauerHermann
Es ist egal wie man es Reinigt der Stickstoff bleibt erhalten! 1

BauerHermann
Das Schlimmste daran ist, dass das Wasser nicht mehr Trinkfähig ist 1

kopernikus22
Es gibt leider nur noch wenig sauberes Trinkwasser in den Gebieten in Deutschland, einige Bereiche wie die Heide ist zum Beispiel ausgeschlossen 0

TheKoesti123
Auf jeden Fall ich habe keine Lust in Dreckwasser zu duschen

BauerHermann
Kopernikus Gülle ist ein nur in Maßen zu benutzender Dünger, weil er nur Stickstoff abgibt. Es geht ohne Gülle! 2

BauerHermann
Es sind ja nicht nur die Kartoffeln betroffen sondern auch alle anderen Pflanzen 1

kopernikus 08
Wir müssten uns mit kleineren Kartoffeln zufriedengeben 1

kopernikus 08
Aber ohne Gülle würden die PFLANZEN NICHT MEHR SO GUT GEDEIHEN 1

kopernikus4
Wir müssten uns neue Mittel ausdenken wie wir Pflanzen düngen können ohne Folgen

Abb. 4.4.6: Argumentationskarte mit Argumenten

Zur aktiven Teilnahme mussten sich die Schülerinnen und Schüler zunächst kurz mit einem Spielnamen anmelden. Danach konnten sie sich für alle 6 Rollen ein eigenes Profil ausdenken und aus dem jeweiligen Rollencharakter heraus an der Diskussion beteiligen.

Im Spiel bot sich allen Mitspielerinnen und Mitspieler die Möglichkeit, sogenannte Argumentationskarten mit individuellen Thesen zu eröffnen und gemeinschaftlich Pro- und Kontra-Argumente der einzelnen Rollen zu der jeweiligen Eingangsthese auszuarbeiten. Es ging dabei also neben der Klimathematik auch um die Anforderung, mit unterschiedlichen Interessen und Positionen umzugehen. Eine Herausforderung, die in der Konkurrenz um abnehmende Ressourcen immer häufiger zu meistern sein wird. Ziel war es, die anderen KLIMA-TALKerinnen und TALKer durch die eigene Argumentationsfähigkeit / Kreativität zu überzeugen und dabei möglichst viele Punkte für aktives Mitmachen, „Likes“ für gute Argumente zu sammeln und von den Mitspielenden eine gute Bewertung für die Argumentationskarten zu erhalten.

Wer nahm teil – Profil der Teilnehmer/innen

Der KLIMA-TALK wurde vom 18. November bis 3. Dezember 2013 unter der URL www.klima-talk.de durchgeführt. Im Vorwege waren insbesondere die Schulen, aus der entsprechenden Region, aber auch Hamburger Schulen zur Teilnahme am KLIMA-TALK eingeladen worden. Das Spiel erforderte nicht viel Aufwand, da die Schülerinnen und Schüler lediglich auf die Plattform aufmerksam gemacht werden mussten. Es ließ sich jedoch auch in den Unterricht integrieren und für die aktuell behandelten Wasserthemen nutzen. Leider traten im Kontext der Ankündigung einige Komplikationen auf, die die zielgerichtete Einladung interessierter Lehrerinnen und Lehrer untergrub. So stellte sich beispielsweise erst nach einer Woche Laufzeit heraus, dass die Einladung über den Verteiler des Landesinstituts für Lehrerbildung und Schulentwicklung nicht wie geplant verschickt worden war.

Dennoch beteiligten sich 102 Schülerinnen und Schüler aktiv am KLIMA-TALK, obwohl es keine direkte Zusammenarbeit mit bestimmten Lehrerinnen oder Lehrern gab. Davon war die Mehrheit von 53 Prozent zwischen 11 - 15 Jahren und 39 Prozent zwischen 16 - 18 Jahren alt. Mit 57 Prozent beteiligten sich etwas mehr Jungen als Mädchen (43 %) an dem Spiel. Diese kamen aus unterschiedlichen Regionen: Etwas mehr als die Hälfte nannte Niedersachsen als Bundesland, während 43 Prozent Hamburg angaben. Interessant ist auch, dass sehr viel unterschiedliche Schulformen vertreten waren: Gymnasien (60 %), Realschulen (31 %), Stadtteilschulen (5 %), Sonder-/Förderschulen (3 %) sowie Gesamtschulen (1 %).

Wie wurde es angenommen – Ergebnisse des Onlinerollenspiels

Unabhängig von Alter, Geschlecht, Region oder Schulform warfen sich die Jugendlichen mit beeindruckendem Elan in die Diskussion. So verfassten sie in den knapp 2 Wochen Spieldauer 228 Argumentationskarten mit individuellen Eingangsthesen und 1752 Einzelargumente. Zwar gingen verschiedene Klassen zunächst während des Unterrichts auf die Plattform, die Schülerinnen und Schüler diskutierten anschließend jedoch sowohl vor und nach der Schule als auch am Wochenende engagiert weiter. Und das über die verschiedenen Klassenverbände hinweg.

Vermutlich dem aktuellen Schulunterricht entsprechend erörterten die Jugendlichen zunächst hauptsächlich, inwiefern zukünftig mehr Wasser in ihrem ganz persönlichen Lebensumfeld wie Schule und Wohnung eingespart werden kann. Im Zuge des Spielverlaufs nahmen sie sich jedoch mehr und mehr auch den Themen des KLIMZUG-NORD Projektes an, die sie in der Infothek der Spieleplattform lesen konnten. So befassten sich plötzlich Argumentationskarten mit dem Erhalt der Moore, den Vorteilen von Mischwäldern, Artenschutz, Hormon- und Schadstoffbelastungen in Flüssen, Hochwasserschutz, der Aufbereitung von Abwasser, dem Einfluss von Landwirtschaft und Industrie sowie der drohenden Absenkung des Grundwasserspiegels in der Heide.

Während viele der Themen von den Schülerinnen und Schülern vergleichsweise leicht aufgenommen und aus den unterschiedlichen Perspektiven und Kenntnisständen betrachtet werden konnten, traten bei bestimmten Aspekten offensichtlich Irritationen auf. So traf beispielsweise die Verbindung „Schadstoffe in Flüssen – Antibiotikapille“, die ein Spieler in seiner Argumentationskarte herstellte, zunächst auf massives Unverständnis bei den Mitspielerinnen und Mitspieler und wurde erst nach und nach als Problem angenommen. Auch die Möglichkeit, aufbereitetes Abwasser erneut zu nutzen, empfanden zahlreiche Jugendliche als unangenehm. Vorbeugende, bewussteinfördernde Handlungen bzw. Präventionsmaßnahmen hingegen bezeichneten die meisten Schülerinnen und Schülern als gut und sinnvoll.

Bemerkenswert ist indes auch die Ernsthaftigkeit, mit der das Spiel durch die Schülerinnen und Schüler selbst am Leben erhalten wurde. So reagierten sie auf nicht ernst gemeinte oder sogar störende Einträge einiger Mitspielenden mit Verständnislosigkeit – z. B. „So geht das nicht. Du musst uns was zum Argumentieren geben“, „ich möchte gerne, dass du diesen KLIMA-TALK verlässt, wir nehmen das hier sehr ernst. Du verdirbst uns den ganzen Spaß an der Sache“ – und versuchten bis zum Ende des Spiels, gewissenhaft ihre Thesen zu erörtern.

Fazit

Wie der KLIMA-TALK zeigt, ist es durchaus möglich, die Zielgruppe „Jugendliche“ in eine ernsthafte Diskussion komplexer Themen wie Klimawandel und Anpassungsmaßnahmen hineinzuziehen und dafür zu begeistern. Voraussetzung ist jedoch, einen zielgruppengerechten, spielerischen Ansatz zu wählen und über den Verlauf des Spiels selbst Interesse für Aspekte und Zusammenhänge zu wecken, die sich bislang abseits des individuellen Alltags befinden.

So bot ihnen das Spiel zudem die Möglichkeit, ihre Gedanken zu bestimmten Problemstellungen mit Gleichaltrigen unterschiedlicher Regionen auszutauschen, ohne dass diese gleich von Erwachsenen korrigiert wurden. Und so fanden sich die Beteiligten im Verlauf der Diskussion immer häufiger in einer intensiven Auseinandersetzung über bestimmte inhaltliche Zusammenhänge wieder, während der spielerische Anreiz, Punkte zu sammeln, in den Hintergrund trat. Infolgedessen erörterten die Jugendlichen zunehmend auch Teilaspekte, die ihnen zuvor offenkundig nicht geläufig waren.

Das Medium Internet mit seiner zeitlichen und örtlichen Unabhängigkeit ist speziell für diesen Personenkreis eher ein Anreiz als ein Hinderungsgrund – dies lässt sich schon daran erkennen, dass die Mitspielenden zu jeder möglichen Tageszeit und insbesondere in ihrer Freizeit Argumentationskarten und Argumente verfassten. Dass es ihnen Spaß gemacht hat, brachten einige der Schülerinnen und Schüler abschließend auch per Email zum Ausdruck, z. B. „Das Projekt hat viel Spaß gemacht. Es wäre cool, wenn es so etwas öfter geben würde.“ (*LakritzZwerg*)

5 Ergebnisse und abgeleitete Handlungsempfehlungen für das Modellgebiet Lüneburger Heide

Imke Mersch, Wibke Meyer, Diana Rechid, Brigitte Urban

5.1 Was sind die wesentlichen Erkenntnisse der durchgeführten Untersuchungen?

Die potenziellen Folgen der projizierten Klimaänderungen auf den Naturhaushalt lassen im Modellgebiet Lüneburger Heide eine zunehmende Konkurrenz um die Ressource Wasser erwarten. Nur bei genauer Kenntnis der natürlichen und durch menschliche Aktivität initiierten Wasserströme im Modellgebiet kann zukünftig eine effiziente und nachhaltige Verteilung des verfügbaren Wasserdargebotes erfolgen. Die Projektionen der zukünftigen Entwicklung des Wasserhaushalts sind mit erheblichen Unsicherheiten verbunden. Klimasimulationen bilden eine ganze Spannweite möglicher zukünftiger Klimaentwicklungen ab. Die Simulationen zur Grundwasserneubildung zeigen dementsprechend ganz unterschiedliche Ergebnisse, auf deren Basis nach heutigem Kenntnisstand noch keine konkreten Handlungsempfehlungen abgeleitet werden können. Eine Weiterentwicklung der Modelle wird zeitlich und räumlich hochaufgelöste Wasserhaushaltssimulationen verbessern.

Aufgrund der negativen klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode und des geringen Wasserspeichervermögens der in der Region verbreitet vorkommenden sandigen Böden ist die Feldberegnung ein entscheidender Produktionsfaktor für die Landwirtschaft im ländlichen Raum Nordost-Niedersachsens. Diese stellt dort allerdings angesichts der problematischen demografischen und sozioökonomischen Ausgangslage ein wichtiges Fundament der Vitalität der Region dar. Die Bedeutung der landwirtschaftlichen Bewässerung wird künftig bei zunehmender sommerlicher Trockenheit bedingt durch den Klimawandel steigen. Computersimulationen deuten darauf hin, dass die mittlere jährliche Sickerwasserbildung auf sandigen Ackerböden zukünftig sinken könnte. Zugleich ist eine zeitliche Ausdehnung der Beregnungsbedürftigkeit von Feldfrüchten zu erwarten.

Bei optimaler Wasserversorgung der Ackerflächen und Verbleib der Koppelprodukte auf dem Feld ist kaum mit einem Rückgang des Humusgehalts des Bodens zu rechnen. Bei Verzicht auf Feldberegnung ist jedoch von einem Abbau der Humussubstanz auszugehen.

Ackerbauliche Maßnahmen können die Effizienz der Wassernutzung nur in geringem Umfang verbessern. Infrage kommen hier u.a. die konservierende Bodenbearbeitung (Schlitzsaat), Verfahren der Humusanreicherung, in begrenztem Umfang der Anbau trockenresistenter Kulturarten (z.B. Teff), die Diversifizierung des Sortenspektrums oder die Anwendung neuer Verfahren der Düngung (z.B. CULTAN). Alle diese Maßnahmen können eine zusätzliche Bewässerung der Kulturen jedoch nicht ersetzen. Die Verwendung energie- und wassereffizienter Kreis- und Linearberegnungsanlagen hilft, das vorhandene Beregnungswasser verlustärmer und gleichmäßiger auszubringen und gleichzeitig Energie einzusparen. Voraussetzung dafür ist eine Weiterentwicklung der Agrarstruktur unter Einbeziehung naturschutzfachlicher Erfordernisse. EDV-gestützte Beregnungssteuerungsmodelle können ebenfalls die Wassernutzungseffizienz steigern und ein hohes Ertrags- und Qualitätsniveau sichern, indem sie helfen, die Beregnung optimal auf die Ansprüche der jeweiligen Kulturart und Sorte anzupassen und verbesserte Beratungsempfehlungen abzuleiten.

Eine Erhöhung der Entnahmemengen von Beregnungswasser aus dem Grundwasser ist aus Rücksicht auf grundwasserabhängige Biotope künftig nicht mehr überall möglich. Eine Möglichkeit der Substitution von Grundwasser für Bewässerungszwecke stellt die Verwendung von gereinigtem Abwasser dar. Aufgrund mangelnder Akzeptanz seitens der Verbraucher und der Erzeuger ist die direkte Verregnung von gereinigtem Abwasser auf landwirtschaftlichen Produkten und Flächen nicht möglich. Keimversuche zeigen, dass Pharmazeutika-Rückstände im Laborversuch bereits in geringen Konzentrationen wachstumshemmend auf Raps, Weizen und Getreide wirken und von den Pflanzen aufgenommen werden. Gereinigtes Abwasser kann allerdings in grundwasserfernem Wald versickert werden, um so unter Nutzung des Bodenfilters den Grundwasservorrat zu erhöhen.

Die Landwirtschaftsklausel und der Begriff der „guten fachlichen Praxis“ sind mit Blick auf Klimaanpassungsmaßnahmen zu konkretisieren und in der Praxis anwendbar zu gestalten. Dabei sind nicht nur der Status quo des Naturhaushalts, sondern auch langfristige Entwicklungen (Klimawandel und Landnutzungsänderungen) einzubeziehen. Klimaanpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft können die Auswirkungen des Klimawandels aus naturschutzfachlicher Sicht sowohl reduzieren als auch verstärken.

Es wurden Modellstudien zu Wechselwirkungen von Waldumbau mit Boden und Atmosphäre mit einem regionalen Klimamodell durchgeführt. Die Simulationsergebnisse zeigen, dass ein Umbau von Nadelwald in Laubwald im Bereich geeigneter Standorte zu einer Verbesserung des Bodenwasserhaushalts im Jahresverlauf beitragen kann. Die Effekte auf die bodennahe Atmosphäre bewir-

ken in Winter und Frühjahr eine leichte Erwärmung und in warmen und trockenen Sommern eine Kühlung der Umgebung. In einer weiteren Studie wurde Waldumbau in einem Trinkwassergewinnungsgebiet exemplarisch zur Erprobung vermutlich klimarobuster Baumarten und zum Monitoring der Veränderung der Grundwasserneubildung umgesetzt. Zusätzlich erfolgte die Kombination eines forstwirtschaftlichen Wachstumsmodells mit einem Grundwassermengenmodell, es wurden Konzepte zur Umsetzung des grundwasserbetonten Waldumbaus erarbeitet und mit den Fachbehörden sowie Wissenschaftlern erörtert.

Auf den Lebensraum Bach werden im Klimawandel ggf. durch veränderte Abflussspitzen sowie Niedrigwasserabflussmengen Probleme zukommen. Die angestrebte überwiegend steinig-kiesige Sohle in den Bächen der norddeutschen Geest wird durch Sedimentablagerungen bei verringerten Niedrigwasserabflüssen weiter überdeckt und bachtypischer Lebensraum vermehrt bedroht. Auch erhöhte Hochwasserabflüsse können die Sohle infolge verstärkter Erosion zerstören, wenn die Querprofile nicht entsprechend angepasst werden. Andere Anpassungen, wie Anlage von Gewässer- und Ackerrandstreifen, Extensivierung der Landwirtschaft im Talraum oder Entwicklung standorttypischer Bruchwaldvegetation im Auenbereich stellen notwendige Maßnahmen dar, um die Gewässerstruktur zu optimieren und den Lebensraum zu verbessern.

Die in Fließgewässern und Kläranlagenabläufen untersuchten Pharmazeutika Metoprolol, Diclofenac und Carbamazepin konnten alle im Ablauf und unterhalb der Einleitungsstellen durch die jeweiligen Klärwerke im Vorfluter detektiert werden. Der wissenschaftlich basierte Gesundheitliche Orientierungswert (GOW) für Maximalkonzentrationen von Pharmazeutika im Gewässer wurde vorrangig in den Sommermonaten, in Zeiten geringer Abflüsse, erreicht bzw. überschritten.

Moore nehmen eine bedeutende ökologische Rolle als Standorte für seltene und schützenswerte Lebewesen und aufgrund ihres Wasserhaushaltsregulierungs- und vor allem Kohlenstoffspeichungsvermögens ein. Neben der Rekonstruktion der nacheiszeitlichen Entwicklung eines subatlantischen Hochmoores im Süden der Metropolregion wurden die möglichen Auswirkungen der neuzeitlichen Klimaveränderung auf die Vegetation in Feldexperimenten untersucht. Besonders auffällig sind die negativen Aus- und Wechselwirkungen von erhöhter Stickstoffverfügbarkeit und verringertem Niederschlag auf die Ausbreitung der Torfmoose. Insgesamt wurde festgestellt, dass für das Weiterbestehen der Moore der direkte anthropogene Eingriff vor Ort (Entwässerung, Nutzung durch Beweidung, Düngung, u.a.) eine größere Bedeutung hat als frühere klimatische Veränderungen. Nutzungseinflüsse werden durch den Klimawandel (insbesondere Temperaturerhöhung und hydrologische Veränderungen) verstärkt wirksam, sodass Vegetation und Torfkörper irreversibel beeinträchtigt werden, wenn keine erhaltenden Maßnahmen ergriffen werden.

Heideökosysteme gehören zu den ältesten Kulturlandschaften Europas und haben einen hohen Schutzwert, da sie einen Großteil der für nährstoffarme Offenlandschaften typischen Artenvielfalt beherbergen. Um die Auswirkungen erhöhter Stickstoffeinträge und trockenerer Sommer auf Heiden zu untersuchen, wurden entlang eines atlantisch-subkontinentalen Klimagradients Feld- und Gewächshausexperimente mit der Besenheide (*Calluna vulgaris*) durchgeführt. Die Verjüngung der Besenheide reagierte dabei im Vergleich zu älteren Pflanzen besonders sensibel auf Trockenheit. Diese Dürreempfindlichkeit wurde (ähnlich wie bei den Torfmoosen) durch eine erhöhte Stickstoffverfügbarkeit verstärkt. Pflanzen aus den trockeneren Randregionen des europäischen Verbreitungsgebietes reagierten weniger sensibel als die Besenheide aus der Metropolregion. Zusammengefasst weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Heideökosysteme durch den Klimawandel (im Sinne von erhöhter Trocken-

heit) in Kombination mit Stickstoffeinträgen vor allem aufgrund der Empfindlichkeit der jungen Heidepflanzen geschädigt werden können.

Die strukturelle Aufbereitung der Ergebnisse orientiert sich an der „Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ (Regierungskommission Klimaschutz, 2012). Die aus den Untersuchungen abgeleiteten Forschungs-, Kommunikations- und Handlungsbedarfe sowie Anpassungsmöglichkeiten sind Tabelle 5.1 zu entnehmen. Sie sind für die einzelnen Handlungsfelder unter übergeordneten Zielen zusammengefasst und in einer weiteren Spalte mit Anmerkungen zu potenziellen Synergien, Konflikten und sonstigen Erfahrungswerten versehen, die sich aus den Studien ergeben und einer ersten Einschätzung dienen.

Tabelle 5.0.1: Maßnahmenübersicht

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|---|--|--|--|----------------------------|
| Klimaforschung / Grundlagenforschung | | | | |
| 3 | Monitoring der Entwicklung wichtiger klimarelevanter Kennwerte | kontinuierliche Erfassung von Klimaparametern | Messung Klimaänderung | Monitoring |
| 3 | | kontinuierliche Erfassung der Phänologie | Indikator für Klimaschwankungen und Klimatrends | |
| 3 | Erhöhung des Verständnisses von Klima und regionalen Klimaänderungen | Weiterentwicklung von Klimamodellen und Regionalisierungsmethoden | wissenschaftliche Grundlagen für Klimafolgenforschung und Anpassungsprozesse; Synergie: nachhaltige Anpassungsstrategien können frühzeitig entwickelt werden | Forschung |
| 3 | Erhöhung des Verständnisses zu Rückwirkungen möglicher Anpassungsmaßnahmen auf das Klima | Simulationen zu Rückwirkungen von Anpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft mit regionalen Klima- und Klimafolgenmodellen | Synergie: Gibt die Möglichkeit einer Bewertung von Anpassungsmaßnahmen. | Forschung |
| 3 | Zusammenarbeit bei Forschung und Anpassung | Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung zum Klimasystem und angewandten Fragestellungen in regionalen Anpassungsprozessen an den Klimawandel weiterentwickeln und stärken | Schnittstelle beinhaltet praxisorientierte Forschung, bedarfsgerechte Aufbereitung von Informationen und nutzerspezifische Kommunikation und erfordert interdisziplinäre Klimaforschung, transdisziplinären Dialog und Entwicklung neuer Kommunikationsformen; Synergie: Kommunikationswissenschaften | Forschung, Kommunikation |
| Wasserwirtschaft | | | | |
| 4.1.3 | Erhöhung der verfügbaren Grundwassermenge für die Trinkwassergewinnung oder für die Entnahme durch die Feldberegnung | Pilotprojekte zum Waldumbau | Trinkwassergewinnung: Sicherung eines potenziellen Mehrbedarfs; Landwirtschaft: Sicherung der Feldberegnung und damit von Erträgen und Qualitäten der Ernteprodukte | Umsetzung |
| 4.1.4 | | Pilotprojekte zur Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser | | Umsetzung |
| 4.1.4 | Erhöhung der Akzeptanz bei der Wiederverwendung von gereinigtem Abwasser | Forschung und Monitoring zu Inhaltsstoffen, Auswirkungen usw. | evtl. direkte Verwendung von gereinigtem Abwasser unter bestimmten Voraussetzungen, Schließung des regionalen Wasserkreislaufs, Landwirtschaft profitiert durch höhere Entnahmen für Beregnung, keine negativen Auswirkungen auf grundwasserabhängige Ökosysteme | Forschung, Monitoring |
| | | indirekte Wiederverwendung mit Monitoring | | Forschung, Monitoring |
| | | Aufklärung über den Stand des Wissens, Risiken und Chancen | | Information, Kommunikation |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|-------------------------|---|---|--|--------------------------------------|
| Wasserwirtschaft | | | | |
| 4.1.5 | Erhalt naturnaher grundwasser- gespeicherter Heidebäche der norddeutschen Geest | Ermittlung von Abflussmengen und bachtypischer Fauna von Quellbächen nach Waldumbau als Ausgangspunkt für zukünftige Strategien | | Forschung |
| 4.1.5 | | periodisches Monitoring der Sohlenstruktur und bachtypischer Fauna in repräsentativen Bachstrecken | | Monitoring |
| 4.1.5 | | Ermittlung von Abflussmengen und bachtypischer Fauna in repräsentativen Bachstrecken bei erhöhter Grundwasserentnahme | | Forschung |
| 4.1.5 | | Förderung der Beschattung der Bäche zwecks Erreichung bzw. Sicherung naturnaher Jahrestemperatur-Amplituden | | Umsetzung |
| 4.1.5 | | Verringerung des Sedimenteintrages in die Bäche durch Anlage von Gewässer- und Ackerrandstreifen | Synergie: Bodenschutz durch Erosionsminderung und ggf. Nutzungsänderungen; Konflikt: durch Flächenbedarf Verlust von Anbaufläche für die Landwirtschaft | Umsetzung |
| 4.1.5 | | Anpassung des Querprofils an veränderte Abflüsse | Synergie: Sicherung des ökologischen Zustandes und der ökologischen Leistungsfähigkeit | Umsetzung |
| 4.1.5 | | verringerte Entnahme aus Fließgewässern speisenden Grundwasserleitern | Konflikt: Feldberegnung, Ertragsreduzierung | Umsetzung, Kontrolle/ Vorgaben |
| 4.1.5 | | Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung im Talraum bzw. Entwicklung von standorttypischem Erlenwald/ -bruchwald | Synergie: Erhöhung der artenreichen Biodiversität; Konflikt: Ertragsreduzierung durch Extensivierung, Verlust landwirtschaftlicher Nutzfläche durch Auenwaldvegetation | Umsetzung |
| 4.1.5 | | Wasserrückhalt im Gebiet, Erhöhung der Grundwasserneubildung | Synergie: Förderung der Biodiversität, Erhöhung der Ökosystemfunktionsleistung; Konflikt: erhöhter Flächenbedarf durch Vergrößerung des Retentionsraumes reduziert landwirtschaftliche Nutzfläche | Umsetzung |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|----------------------------------|---|---|---|--|
| Wasserwirtschaft | | | | |
| 4.1.6 | optimierter Umgang mit Pharmazeutika in der Umwelt | Untersuchungen zur Wirkung und zum Verbleib von Pharmazeutika in der Umwelt | umfassende Untersuchungen beschreiben das Ausmaß der Problematik und bringen ggf. Handlungsdruck mit sich | Forschung |
| 4.1.6 | | langfristiges Monitoring zur Entwicklung des Vorkommens von Pharmazeutika unter Klimawandelbedingungen | Ein langfristig angelegtes Monitoring für Pharmazeutika könnte mit anderen überwachungswürdigen Parametern gekoppelt werden. | Monitoring |
| 4.1.6 | | Optimierung bzw. Erweiterung der Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung zur Entfernung von Spurenstoffen | Eine Verbesserung der technischen Aufbereitung von Abwasser ist unter Umweltschutzaspekten sinnvoll, die Kostenübernahme ist jedoch bislang nicht geklärt, ebenso herrscht Unklarheit bezüglich des optimalen Verfahrens. | Forschung |
| 4.1.6 | alternative Nutzung von Kläranlagenablauf | Pilotprojekte umsetzen | Die Nutzung von Kläranlagenablauf ist von finanziellen und qualitativen Faktoren abhängig. Zusätzlich fehlt das Wasser ggf. im Vorfluter. | Umsetzung |
| Wald- und Forstwirtschaft | | | | |
| 4.1.3 | Risikosenkung bzw. -streuung in der Forstwirtschaft | Erprobung der Wuchsleistung klimarobuster Baumarten in Pilotprojekten | Alternativen zu herkömmlichen Arten | Forschung, Umsetzung |
| 4.1.3 | Erhöhung der Grundwasserneubildung unter Wald | Anbau bisher wenig genutzter Laubbaumarten in Kiefernmonokulturen | Synergie: Erhöhung der Baumartenvielfalt, Erhöhung der Widerstandsfähigkeit von Forstökosystemen | Umsetzung, Forschung |
| 4.1.3 | | Kombination eines forstwirtschaftlichen Wachstumsmodells mit einem Grundwassermengenmodell | Synergie: Erkenntnisgewinn nutzbar für Forst- und Wasserwirtschaft | Modellierung |
| 4.1.3 | | Monitoring der Grundwasserneubildung und der Wuchsleistung der "neuen Baumarten" | | Monitoring |
| 4.1.3 | | Diskussion der Ergebnisse mit Akteuren aus Wissenschaft und Politik | evtl. Schaffung von Rahmenbedingungen zur großräumigen Umsetzung von Waldumbau | Information, Verwaltungshandeln, Förderung |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|---|-----------------------------|
| Landwirtschaft und Bodenschutz | | | | |
| 4.1.2 4.2.1 4.2.2 | Erhalt der Bodenfruchtbarkeit | Grasuntersaat bei (Energie-) Mais, Zwischenfruchtanbau | Erhalt des Humusspiegels; Erosionsschutz; Schutz benachbarter Biotope vor Staubeintrag und Eutrophierung | Umsetzung |
| 4.2.3 | | Anwendung von konservierender Bodenbearbeitung/strip-till | Synergie: gleichzeitig Erosionsschutz; verminderter Energieeinsatz = verminderter CO ₂ -Ausstoß | Umsetzung |
| 4.2.3 | | optimierte Düngung durch platzierte Stickstoffdüngung, ggf. stabilisiert als CULTAN | Synergie: Verminderung der Auswaschungsgefahr = Grundwasserschutz (ist insbesondere bei erhöhten Winterniederschlägen relevant) | Umsetzung |
| 4.2.3 | | Erprobung organischer Bodenverbesserer in Langzeitversuchen | Synergie: Kohlenstoffanreicherung, Gefügeverbesserung, Erhöhung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers, möglicher Konflikt: substratabhängige Austrags-/ Auswaschungsgefahr | Umsetzung, Begleitforschung |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|---------------------------------------|---|--|--|----------------------|
| Landwirtschaft und Bodenschutz | | | | |
| 4.1.2 4.2.1 4.2.2 | Anpassung der Landwirtschaft an Trockenphasen, Risikostreuung | vermehrter Anbau von Winter- statt Sommergetreide | Schutz des Grundwassers vor Nitratreinträgen | Umsetzung |
| 4.2.3 | | Wassernutzungseffizienz von Kulturarten und Sorten erforschen | | Forschung |
| 4.2.3 | | Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Anbaumaßnahmen und der Wassernutzungseffizienz erforschen | | Forschung |
| 4.2.3 | | Anbau alternativer, trockenoleranter Kulturarten | Synergie: Steigerung der Biodiversität; Konflikt: Wirtschaftlichkeit und damit ökonomische Nachhaltigkeit oft nicht gegeben | Umsetzung |
| 4.2.3 | | Diversifizierung im Sortenspektrum | | Umsetzung |
| 4.2.4 | | Modelle zur Beregnungssteuerung weiterentwickeln und in der Praxis etablieren | Synergie: sparsamer Ressourceneinsatz, mit gleicher Wassermenge mehr Ernteprodukt produzieren, effizienter Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln | Forschung, Umsetzung |
| 4.4.2 | | Einsatz effizienter Feldberegnungstechnik zur Sicherung von Erträgen und Qualitäten auch bei Trockenheit | Synergie: sparsamer Ressourceneinsatz, mit gleicher Wassermenge mehr Ernteprodukt produzieren, Energie einsparen, effizienter Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln; Konflikt: agrarstrukturelle Änderungen mit größeren Flächeneinheiten können Konflikte auslösen, daher Einsatz des entwickelten Kommunikations- und Planungswerkzeugs Kulturlandschaftsplan | Umsetzung |
| Naturschutz | | | | |
| 4.3.1 | Anpassung der Heideökosysteme | Umsiedlung (Assisted migration) | Konflikt: Einbringung nicht autochthoner Genotypen | Forschung |
| 4.3.1 | | neue Mahdverfahren wie Mulch-, Spitzen- oder Hochmahd | Konflikt: Kosten der Managementmaßnahmen sind bisher nicht bekannt | Forschung |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|--------------------|-----------------------------------|--|---|--------------------------|
| Naturschutz | | | | |
| 4.3.2 | Renaturierung von Moorökosystemen | Erhöhung des Verständnisses von Auswirkungen natürlicher und anthropogener Klimaänderungen und anthropogener regionaler/lokaler Eingriffe auf die Hochmoorvegetation | | Forschung, Kommunikation |
| 4.3.2 | | Erhebung der spezifischen Entwicklungsgeschichte der Moore (Hydrologie, Torfbeschaffenheit, Flora, Fauna, klimatische und/oder anthropogene Einwirkungen) | Synergie: Schaffung von grundlegenden Basisdaten für Renaturierung bzw. Pflege und Erhaltung | Umsetzung |
| 4.3.2 | | flächendeckende Identifizierung von Moorflächen, die für Renaturierung geeignet sind | | Forschung |
| 4.3.2 | | Langzeitexperiment (5-10 Jahre) zur Untersuchung von Trockenstress auf Hochmoorvegetation unter besonderer Berücksichtigung von Nutzung bzw. Nutzungsgeschichte und meteorologischen und hydrologischen Gesichtspunkten | | Forschung |
| 4.3.2 | | Experimente zur Wiederansiedlung bestimmter Torfmoosarten, die besonders zur Kohlenstoffspeicherung beitragen | | Forschung |
| 4.3.2 | | Monitoring bestehender Daueruntersuchungsflächen (viele sind zu Zeiten von Renaturierung eingerichtet worden, aber wenige sind betreut) bzw. Einrichtung neuer Dauerflächen, Verschneidung der Ergebnisse mit lokalen klimatischen Bedingungen im Beobachtungszeitraum | | Monitoring |
| 4.3.2 | | Vergrößerung von Moorschutzgebieten und großflächige Wiedervernässung; zur (Wieder-)Herstellung günstiger hydrologischer Bedingungen ist Betrachtung eines Wassereinzugsgebietes und nicht nur einer kleinen Fläche wichtig | Synergie: Wasserspeicherfunktion von Mooren bei Überflutungsereignissen; Klimaschutz durch Wiederherstellung der Kohlenstoffspeicherfunktion von Mooren; Arten- und Biotopschutz; Konflikt: Flächenknappheit, allgemeine Resentiments, urbar gemachte Fläche wieder "rückzubauen" | Umsetzung |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|--------------------|--|---|---|--------------------|
| Naturschutz | | | | |
| 4.3.2 | Renaturierung von Moorökosystemen | möglichst viele Moorstandorte aus der Nutzung nehmen und renaturieren | | Umsetzung |
| 4.3.2 | | Anbau nachwachsender Rohstoffe, Paludikultur (z.B. Schwarzerlenbestockung auf Niedermoorböden und Torfmooskultivierung auf wiedervernässtem Hochmoorgrünland) | Synergie: Klimaschutz durch Verhinderung von CO ₂ -Ausstoß und Verdunstungskühlung; Lebensraum für seltende Arten; Alternativen für fossile Rohstoffe; Perspektiven für Landwirtschaft und Tourismus in schwach entwickelten Regionen | Umsetzung |
| 4.3.3 | Planungsinstrumente und -prozesse anpassen | Konkretisierung der Landwirtschaftsklausel (BNatSchG und BBodenSchG), insbesondere den Begriff "standortangepasst" hinsichtlich zukünftiger klimatischer Veränderungen modifizieren | Synergie: Chancen für die Landwirtschaft und den Naturschutz, die vorhandenen Ressourcen langfristig und nachhaltig nutzen zu können; Konflikt: zwischen Naturschutz und Landwirtschaft bei Rechtsanwendung | Rechtsetzung |
| 4.3.3 | | langfristige Szenarien in Planungsprozesse, insbesondere im Bereich der Naturschutzinstrumente, integrieren | Synergie: Wissensaustausch durch Beteiligung am Szenarioprozess sowohl von Landwirten als auch von Vertretern des Naturschutzes; Konflikt: zwischen Landwirtschaft und Naturschutz aufgrund unterschiedlicher Interessen | Umsetzung, Planung |
| 4.3.3 | | geplante Klimaanpassungsmaßnahmen der Landwirtschaft hinsichtlich der Naturschutzverträglichkeit frühzeitig prüfen und ggf. optimieren | Synergie: Chancen für die Landwirtschaft und den Naturschutz sowohl mit den vorhandenen Ressourcen langfristig und nachhaltig umzugehen als auch sich an die Auswirkungen des Klimawandels langfristig anpassen zu können; Konflikt: Aus Sicht des Naturschutzes können die für die Landwirtschaft notwendigen Maßnahmen negativ bewertet werden, wodurch eine Umsetzung zeitaufwendiger werden kann. | Planung, Beratung |
| 4.4.2 | | gezielte Vernetzung von Biotopen, Schaffung von Trittsteinbiotopen durch Kulturlandschaftsplanung | Synergie: Förderung der Wanderung von Arten; Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel; Zusammenarbeit von Naturschutz und Landwirtschaft | Umsetzung |

| Kap. | Ziel | Maßnahme | Synergie, Konflikt, Bemerkung | Maßnahmentyp |
|---|---|---|--|------------------------|
| Information, Bildung und Kommunikation | | | | |
| 3 | Kommunikationsförderung und Wissenstransfer | Erhöhung des Verständnisses von Auswirkungen des Klimawandels bei allen Akteuren (Behörden, Landwirte, Naturschützer etc.), Ergebnisse der Klimafolgenforschung nachvollziehbar gestalten und in Planungsprozesse integrieren | Multiplikatorenwirkung für die gesamte Bevölkerung | Kommunikation, Bildung |
| 4.4.2 | | Dynamischer Kulturlandschaftsplan, Kulturlandschaftsverband | Synergie: Interessen und Kenntnisse aller Akteure von Beginn an berücksichtigen, Konflikte frühzeitig erkennen und durch Kompromisse lösen; gutes Arbeitsklima in einer Region schaffen (auch für künftige Aufgaben); Effizienzsteigerung und Beschleunigung von Planungsvorhaben | Kommunikation, Planung |
| 4.3.3 | | transdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen lokalen Stakeholdern ermöglichen und fördern und so Nutzungskonflikten vorbeugen bzw. Konflikte lösen | Synergie: Wissensaustausch und Entwicklung gemeinsamer Strategien im Umgang mit dem Klimawandel; Konfliktminimierung | Kommunikation, Planung |
| 4.4.4 | | Zielgruppenspezifische, spielerische Einbeziehung und Sensibilisierung junger Menschen für klimabedingte Folgen und geeignete Anpassungsmaßnahmen über Onlinerollen- und Diskussionsspiel KLIMA-TALK | frühzeitige Sensibilisierung und Aufmerksamkeit für die Problematik und Umgang mit unterschiedlichen Positionen/Interessen; Multiplikatorenwirkung unter Jugendlichen | Kommunikation, Bildung |

5.2 Welche Empfehlungen können wir geben: Ausblick in die Zukunft

Das Klima prägt den Naturhaushalt wesentlich. Bereits unter heutigen Bedingungen stellt es vielfältige Herausforderungen an die Nutzungsformen im exemplarisch untersuchten Modellgebiet Lüneburger Heide. So wird die Wasserverfügbarkeit in den ober- und unterirdischen Wasserspeichern sehr stark von der Niederschlagsverteilung im Jahr und den monatlichen Temperaturverhältnissen sowie den daraus folgenden Verdunstungsflüssen bestimmt. In Wechselwirkung mit lokalen Eigenschaften reagieren die natürlichen und sozioökonomischen Systeme verschieden empfindlich auf Schwankungen des Klimas. Erforderlich ist somit in einigen Sektoren ein jährlich angepasstes Management, zum Beispiel in dem Einsatz der Feldberegnung in der Landbewirtschaftung.

Die für die Zukunft projizierten Klimaänderungen werden ganz neue Herausforderungen mit sich bringen. Wir können die Zukunft zwar nicht vorhersehen, aber aufgrund der trägen Reaktion des Klimasystems wird sich das Klima der nächsten 40 Jahre allein als Resultat unserer bisherigen Lebensweise deutlich verändern. Darüber hinaus werden sich in Abhängigkeit davon, welchen weiteren Entwicklungspfad die Menschheit jetzt wählt, die Veränderungen des Klimas verschieden stark und schnell fortsetzen und zu bislang unbekanntem Lebensbedingungen für die Menschen in der Region führen. Auch wenn Projektionen für die Zukunft eine große Spannbreite von möglichen Klimaentwicklungen und -folgen abbilden, sind klare Trends erkennbar, die Handlungsbedarf aufzeigen. Um diesem frühzeitig nach dem Prinzip der Vorsorge entsprechen zu können, sind Handlungsoptionen bereitzuhalten. Für viele institutionelle und unternehmerische Planungen und Entwicklungen gilt, dass die zu erwartenden Klimaänderungen und daraus resultierende weitere Effekte schon heute überprüft und entsprechend berücksichtigt werden müssen. Bei gleichzeitig kontinuierlichem Monitoring kann die Notwendigkeit zur Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen frühzeitig erkannt werden. Um geeignete Maßnahmen entwickeln und ihre Wirksamkeit in der Region einschätzen zu können, bedarf es aufwendiger wissenschaftlicher Untersuchungen. Im Rahmen von KLIMZUG-NORD und der Arbeiten im Modellgebiet Lüneburger Heide konnte eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien zu den Empfindlichkeiten regionsspezifischer Systeme gegenüber Klimabedingungen und ihren Wechselwirkungen mit nicht-klimatischen Faktoren gemacht werden. Ein gutes Beispiel hierfür sind die Studien zum Management von Heideökosystemen.

Die Ergebnisse der umfangreichen Feldstudien und Modellierungen in KLIMZUG-NORD und dem Modellgebiet Lüneburger Heide bilden eine fachlich fundierte Datenbasis für die im Rahmen dieser Zusammenfassung (Tabelle 5.1) abgeleiteten Zielstellungen und Empfehlungen. Diese können einzelne Elemente einer Anpassungsstrategie für die Region sein, decken aber nur einen Teil der Anpassungsnotwendigkeiten und betroffenen Handlungsfelder ab. Aus der Tabelle lassen sich Bedarfe für weitere Forschungsarbeiten und neuartige Politiken sowie Förderinstrumente identifizieren, die eine Verstärkung und Anwendung des erlangten Wissens ermöglichen. Eine systematische Bewertung und Benennung von Prioritäten der Anpassungsmaßnahmen im Dialog mit den Betroffenen sind weitere notwendige Schritte im Anpassungsprozess. Hierbei ist die solide Datenbasis zu Klimaänderungen und ihren regionalen Auswirkungen in Verbindung mit dem Wissen und den Erfahrungen der lokalen Akteure wesentliche Grundlage zur Bewusstseinsbildung und Akzeptanz von Anpassungsmaßnahmen. Von entscheidender Bedeutung sind geeignete Bildungsmaßnahmen und Kommunikationsstrategien, die den regionalen Akteuren die Bedeutung und Relevanz der wissenschaftlichen Ergebnisse für regionale Prozesse verdeutlichen.

Da die Empfindlichkeiten und Betroffenheiten nur unter heutigen Bedingungen untersucht werden können, ist ein kontinuierliches Monitoring z.B. des Zustandes der Gewässer sowie von Daueruntersuchungsflächen z.B. in Mooren und auf landwirtschaftlichen Nutzflächen notwendig. Dies erfordert langfristig angelegte Förderinstrumente. Damit können Änderungen der natürlichen und sozioökonomischen Systeme sowie auch die Wirksamkeit eingesetzter Anpassungsmaßnahmen fortlaufend überwacht werden und die Erkenntnisse wiederum in die Bewertung der Folgen und Maßnahmen eingehen. Damit ist die Anpassung an den Klimawandel ein fortlaufender und dynamischer Prozess, der zudem Hand in Hand mit Maßnahmen zum Klimaschutz einhergehen muss, um eine Fortsetzung und Beschleunigung der zunehmend unbeherrschbaren Klimaänderungen über die Mitte des 21. Jahrhunderts zu vermeiden.

Glossar

A

Adaptation / Anpassung an den Klimawandel /

Klimaanpassung: (lat. adaptare = anpassen)
Anpassung an den Klimawandel bezeichnet Maßnahmen, mit denen natürliche und menschliche Systeme gewappnet werden, um die Folgen des Klimawandels möglichst unbeschadet zu überstehen. Die Maßnahmen sind vielfältig. Manche sorgen vor, andere reagieren auf bereits eingetretene Veränderungen. Sie betreffen sowohl soziale als auch natürliche Systeme. Umgangssprachlich ist der Begriff „Klimaanpassung“ eingeführt.

Aerosol: Ein Aerosol ist ein Gemisch aus festen oder flüssigen Schwebeteilchen und Gas (hier Luft). Die Schwebeteilchen heißen Aerosolpartikel und stammen zum einen aus natürlichen Quellen (z. B. Vulkanasche, Meersalz), zum anderen können sie durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangen, wie z. B. Ruß und Schwefeldioxid aus der Verbrennung. Die Aerosolpartikel streuen und absorbieren die einfallende Sonnenstrahlung und reduzieren dadurch den Strahlungsfluss an der Erdoberfläche. Die direkte Wirkung von Aerosolen besteht daher in einer Abkühlung der oberflächennahen Luftschicht. Die indirekte Wirkung resultiert aus dem Einfluss der Aerosolpartikel auf die Wolkenbildung und den Niederschlag, diese kann je nach Zustand der Atmosphäre zu einer Abkühlung oder Erwärmung der oberflächennahen Luftschicht führen.

Agrarstruktur: Gesamtheit der Produktionsbedingungen sowie der sozialen Verhältnisse im Agrarraum. Dazu zählen die Eigentums- und Besitzverteilung, die soziale Stellung der Landbevölkerung sowie die Form der Bodennutzung.

Agrarumweltmaßnahmen: Freiwillige Einhaltung von Bewirtschaftungsauflagen zur Förderung des Naturschutzes, v. a. Niedersächsisches/Bremer Agrarumweltprogramm (NAU/BAU, Förderung über das Landwirtschaftsministerium) und Kooperationsnaturschutz (KoopNat, Förderung über das Umweltministerium).

Avifauna: Alle vorkommenden Vogelarten.

B

Bestimmtheitsmaß (R2): Gibt an, welcher Anteil der Varianz einer abhängigen Größe durch eine unabhängige Größe bestimmt wird.

Biotopverbund: Konzept zur Erhaltung und Vernetzung von Lebensräumen (Biotopen) durch Etablierung eines Verbundsystems aus Kernflächen (meist Schutzgebiete), Verbundachsen und Trittsteinen.

Biotopverbundsystem/-vernetzung: Schaffung eines Netzes von Biotopen, das Arten das Wandern und damit das Überleben ermöglicht.

Bodentextur: Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Bodensubstanz.

C

CANDY: CARbon and Nitrogen DYnamics, Modell zur Simulation der Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik in terrestrischen Ackerböden.

CCB: Candy Carbon Balance. Modell zur Berechnung der Humusbilanz von Ackerböden (UFZ, Halle).

C/N-Verhältnis: Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis.

Corg: Organisch gebundener Kohlenstoff im Boden. Er ist wesentlicher Bestandteil des Humus, der gemessene Wert stellt die Basis für die Berechnung der Humusmenge dar.

Cross Compliance: EU-Förderprogramm zur Einhaltung von Auflagen zu Tierschutz, Umweltschutz und Lebensmittelsicherheit.

CULTAN-Düngung: Spezielles Stickstoffdüngungsverfahren, Controlled Long Term Ammonium Nutrition (kontrollierte Pflanzen-Langzeiternährung mit Ammonium).

D

Demeter-Betrieb: Biodynamische Bewirtschaftungsweise nach den Demeter-Richtlinien.

DOC: Dissolved Organic Carbon: in gelösten organischen Verbindungen enthaltener Kohlenstoff, der mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden kann.

E

Eingriffsregelung: Rechtliches Instrument zur Vermeidung negativer Auswirkungen eines Eingriffs (z. B. Bauvorhaben, Ausbau von Gewässern) durch Schaffung von naturschutzfachlich angemessenem Ausgleich oder Ersatz (Renaturierungen, Kompensationszahlungen) auf anderen Flächen.

Eistag: Tag mit einer Höchsttemperatur unter 0 °C.

Elektro-Befischung: Fischerfassung mit kurzzeitiger Betäubung durch Strom.

Emissionen: Austrag von Stoffen oder Strahlung in die Umwelt, hier: Freisetzung von Treibhausgasen oder deren Vorläufersubstanzen in die Atmosphäre über einem bestimmten Gebiet und in einem bestimmten Zeitraum.

Emissionsszenarien: Die im Rahmen von KLIM-ZUG-NORD verwendeten Klimasimulationen basieren auf den im „Special Report on Emission Scenarios“ (SRES) publizierten Szenarien B1, A1B und A2 zur möglichen Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen im 21. Jahrhundert. Den Emissionsszenarien liegen unterschiedliche Annahmen zu plausiblen Pfaden globaler sozioökonomischer und technischer Entwicklungen zugrunde. Das A1B Szenario geht von starkem Wirtschaftswachstum, rascher Entwicklung neuer Technologien sowie einem ausgewogenen Energieverbrauch aus erneuerbaren und fossilen Energiequellen aus. Szenario A1FI nimmt hingegen überwiegend auf fossilen Energieträgern basierende Technologien an. Im B1 Szenario werden rasche Konvergenz der Volkswirtschaften sowie ein schneller Übergang zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft angenommen. Der Ressourcenverbrauch wird reduziert. Die Treibhausgasemissionen sind niedriger als im A1B Szenario. Das A2 Szenario geht von sehr heterogenen Volkswirtschaften und einer stark steigenden Weltbevölkerung aus. Wirtschaftswachstum und technologische Entwicklung sind langsamer als im A1B und B1 Szenario. Die Treibhausgasemissionen sind zur Mitte des 21. Jahrhunderts ähnlich, gegen Ende des 21. Jahrhunderts höher als im A1B Szenario.

Evapotranspiration: Summe der aus dem Boden verdunsteten Wassermenge und der Wassermenge, die von der Vegetation durch Transpiration an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Einheit ist Millimeter (Liter pro Quadratmeter) und wird auf eine Zeiteinheit bezogen. Die potenzielle Evapotranspiration ist die unter gegebenen Umweltbedingungen (Wind, Temperatur, Dampfdruck) von einer freien Wasseroberfläche abgegebene Menge Wasserdampf. Die aktuelle oder tatsächliche Evapotranspiration ist abhängig vom Bodenwassergehalt und von der Wasserleitfähigkeit des Bodens.

Exaktversuch: Exaktversuche dienen in ihrer Form dazu, Versuchsergebnisse zu liefern, die für Zulassungsversuche verwendet werden können. Sie liefern sowohl Bonitur- als auch Ertragsergebnisse, sind trotzdem in ihrer Größe überschaubar und minimieren damit die Einflüsse von Versuchsfehlern wie z. B. Bodenunterschiede.

F

Fallzahl: Kennzahl zur Beurteilung der Backfähigkeit von Mehlen, höhere Werte (über 200-250) kennzeichnen eine gute Backfähigkeit.

Feldaufgang: Anteil der aufgelaufenen (wachsenden) Pflanzen im Verhältnis zur Anzahl der gesäten Körner.

Feldberegnung: Ergänzung der natürlichen Niederschläge durch Zufuhr mit großtechnischen Sprenganlagen (i. e. in der Regel mithilfe von Traktoren aufgestellte Beregnungsmaschinen).

Fließgleichgewicht: Hier in Bezug auf Humusgehalt: Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden, der sich unter bestimmten gleichbleibenden klimatischen und bewirtschaftungsbezogenen Bedingungen als Resultat von Humusaufbau- und Abbauprozessen langfristig einstellt.

Freiwilliger Landtausch: Verfahren nach § 103a ff FlurbG (Flurbereinigungsgesetz) zur schnellen und einfachen Neuregelung ländlicher Grundstücke zur Verbesserung der Agrarstruktur.

Frosttag: Tag, an dem das Minimum der Lufttemperatur unter 0 °C liegt.

G

Gemarkung: Flächeneinheit aus dem Kataster. Mehrere zusammenhängende Grundstücke (Flurstücke) bilden eine Flur, mehrere Fluren bilden eine Gemarkung.

Governance: Bezeichnet Arrangements zur Steuerung und Regelung gesellschaftlicher Belange und Problemstellungen durch das Zusammenwirken staatlicher und nicht-staatlicher Akteure. Instrumente sind unter anderem ökonomische Anreize und Marktmechanismen bis hin zu hoheitlichem, regulativem Handeln. Partizipative Governance und reflexive Governance sind in der Nachhaltigkeits- und Anpassungsforschung bedeutsam.

(Nutzbares) **Grundwasserdargebot:** Als nutzbares Grundwasserdargebot wird die Menge Grundwasser bezeichnet, die in einer definierten Zeitspanne bei gegebener Grundwasserneubildung und mit gegebenen technischen Mitteln ohne unerwünschte Folgen einem Grundwassersystem entnommen werden kann. Erfolgt eine Förderung über das nutzbare Grundwasserdargebot hinaus, werden die Grundwasservorräte allmählich abgebaut.

H

Hektar (ha): Flächeneinheit, 1 ha = 10.000 m².

Hitzetag / heißer Tag: Tag mit einer Maximumtemperatur größer gleich 30 °C.

Hochmahd: Mahd ca. 20-30 cm über dem Erdboden, sodass nur die obersten Triebe der Besenheide abgeschnitten werden.

Holozän: Nacheiszeitlich.

HPLC-MS: Flüssigchromatografie mit Massenspektrometrie-Kopplung.

HTC-Pflanzenkohle: Hydrothermal behandelte pflanzliche Biomasse, z. B. hier: Gärreste von Maissilage aus Biogasanlagen.

I

Intergovernmental Panel on Climate Change

(IPCC): Der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen, oftmals auch als Weltklimarat bezeichnet, wurde 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) ins Leben gerufen. Die Hauptaufgabe des IPCC besteht darin, für politische Entscheidungsträger Forschungsergebnisse zu physikalischen Grundlagen des Klimasystems, den Folgen und Risiken von Klimaänderungen sowie Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zusammenzutragen.

Interzeptionsverdunstung: Verdunstung von Wasser, das auf den Blattoberflächen der Pflanzen aufgefangen wurde.

J

K

Keimversuch: Anzucht von Pflanzen unter standardisierten Bedingungen und vergleichende Bewertung zur Analyse ausgewählter Wirkfaktoren.

Kelvin (K): Basiseinheit der absoluten Temperatur (nach dem Internationalen Einheitensystem SI). Die absolute Temperatur, auch thermodynamische Temperatur, ist eine Temperaturskala, die sich auf den physikalisch begründeten absoluten Nullpunkt bezieht, welcher bei -273.15 °C liegt. Zudem wird Kelvin zur Angabe von Temperaturdifferenzen verwendet. Das Kelvin ist so definiert, dass die Differenz zwischen zwei Temperaturwerten von einem Kelvin und einem Grad Celsius gleich groß sind (eine Temperaturänderung von 4° auf 5° entspricht genau einem Kelvin). Temperaturänderungen werden in Deutschland nach DIN 1345 in Kelvin angegeben, allerdings ist auch die Verwendung von °C erlaubt.

Klarwasser / Kläranlagenablauf: In deutschen Klärwerken gereinigtes Abwasser, welches zur abschließenden Entsorgung in den Vorfluter (z. B. Graben, Bach) abgeleitet wird.

Klima: Klima ist die statistische Beschreibung der physikalischen Zustände der Atmosphäre über einen zur Charakterisierung notwendig hinreichend langen Zeitraum (nach der Weltorganisation für Meteorologie WMO 30 Jahre); es wird charakterisiert durch die statistische Verteilung (z. B. Mittelwerte, Häufigkeitsverteilungen, Extremwerte) meteorologischer Parameter (z. B. Temperatur, Niederschlag, Luftdruck, Strahlung, Wolkenbedeckung, Wind). Im Gegensatz zum Wetter wird das Klima durch physikalische, biologische und chemische Prozesse im gesamten Klimasystem bestimmt.

Klimaänderung: Klimaänderung liegt vor, wenn sich die Lage und/oder die Form der Häufigkeitsverteilung (also Mittelwert und/oder extreme Werte) von Klimaparametern signifikant verändern (siehe Klimavariabilität).

Klimaindizes: Klimaindizes sind aus Klimaparametern wie zum Beispiel Temperatur und Niederschlag abgeleitete Kennwerte, die Zustand und Veränderungen des Klimasystems beschreiben. Ein Klimaindex beschreibt jeweils nur einen Aspekt des Klimas. Es gibt eine Vielzahl von Klimaindizes für verschiedene Fragestellungen (z. B. Sommertag). Teilweise existieren ähnliche oder identische Bezeichnungen für unterschiedliche Definitionen. Deshalb ist die Definition immer mit anzugeben.

Definitionen hier verwendeter Klimaindizes:

- **Sommertage:**
Tagesmaximumtemperatur $> 25\text{ °C}$
- **Hitzetage:**
Tagesmaximumtemperatur $\geq 30\text{ °C}$
- **Tropennächte/-tage:**
Tagesminimumtemperatur $> 20\text{ °C}$
- **Eistage:**
Tagesmaximumtemperatur $< 0\text{ °C}$
- **Frosttage:**
Tagesminimumtemperatur $< 0\text{ °C}$
- **Spätfrosttage:**
Tagesminimumtemperatur $< 0\text{ °C}$
für April-Mai-Juni-Juli
- **Tage $> 5\text{ °C}$:**
Tagesmitteltemperatur $> 5\text{ °C}$
- **Maximum Periode $> 5\text{ °C}$:**
Anzahl maximal zusammenhängender Tage mit Tagesmitteltemperatur $> 5\text{ °C}$

- **Trockentage:**
Tagesniederschlag $< 1\text{ mm}$

- **Niederschlagstage $\geq 20\text{ mm}$:**
Tagesniederschlag $\geq 20\text{ mm}$

Klimamodell: Ein Klimamodell bezeichnet hier eine numerische Abbildung des Klimasystems, die auf den physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen in seinen Komponenten Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Pedosphäre und Biosphäre und ihren Wechselwirkungen basiert. Das Klimasystem kann von Modellen unterschiedlicher Komplexität dargestellt werden, d. h. für jeden Bestandteil oder eine Kombination von Bestandteilen kann ein Modellspektrum oder eine Modellhierarchie bestimmt werden, die sich in Aspekten unterscheidet wie der Anzahl der räumlichen Dimensionen, dem Ausmaß, in welchem physikalische, chemische oder biologische Prozesse explizit dargestellt werden, oder bis zu welchem Grad empirische Parametrisierungen verwendet werden. Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodelle gekoppelt mit Land, Boden und Biosphäre - sogenannte Erdsystemmodelle - bieten die bislang umfassendste Darstellung des Klimasystems. Klimamodelle werden als Forschungsinstrument verwendet, um das Klima zu untersuchen und Klimaprojektionen zu erstellen, aber auch für operationelle Zwecke, einschließlich monatlicher, saisonaler und jahresübergreifender Klimaprognosen (siehe Prognose).

Klimaprojektion : Klimaprojektionen sind Abbildungen möglicher Klimaentwicklungen für die nächsten Jahrzehnte und Jahrhunderte auf der Grundlage verschiedener Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung, der menschlichen Kultur, der Technologie und der Wirtschaft und daraus folgender Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre. Sie basieren meist auf Klimamodellsimulationen, die ausgehend von unterschiedlichen realistischen Ausgangsbedingungen für ein bestimmtes Emissionsszenario mehrere gleich wahrscheinliche Entwicklungen (siehe Realisierung) des Klimas abbilden.

Klimasystem: Das Klimasystem umfasst die Komponenten Atmosphäre, Hydrosphäre, Kryosphäre, Pedosphäre, Litosphäre und Biosphäre sowie die Wechselbeziehungen zwischen diesen. Das Klimasystem verändert sich über die Zeit unter dem Einfluss seiner eigenen inneren Dynamik und durch externe Kräfte wie Vulkanausbrüche, solare Schwankungen sowie menschlich induzierte Einflüsse wie die Änderung der Zusammensetzung der Atmosphäre und der Landnutzung.

Klimavariabilität: Klimavariabilität bezeichnet die zeitlichen und räumlichen Schwankungen des Klimas um einen mittleren Zustand herum. Es werden freie (interne) und erzwungene (externe) Klimaschwankungen unterschieden. Interne Schwankungen im Klimasystem können durch Wechselwirkungen innerhalb eines Subsystems (z. B. Atmosphäre) oder Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Subsystemen (z. B. zwischen Atmosphäre und Ozean) auftreten. Externe Schwankungen können natürliche Ursachen haben, wie z. B. Erdrotation, Neigung der Erdachse, solare Variabilität, Vulkaneruptionen oder auf sehr langen Zeitskalen die Kontinentaldrift. Zum anderen können sie anthropogenen Ursprungs sein, wie durch Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen in die Atmosphäre oder Änderungen von Landnutzung und Landmanagement.

Klimawandel: Das Klima befindet sich in einem ständigen Wandel. Warm- und Kaltzeiten haben sich im Laufe der Erdgeschichte abgelöst und unterschiedliche klimatische Bedingungen auf der Erde geschaffen. Man unterscheidet zwischen dem natürlichen Klimawandel und dem anthropogenen (vom Menschen verursachten) Klimawandel.

Koppelprodukte: Hier auf Landwirtschaft bezogen: Nebenprodukte bei der Ernte, die verschiedener Verwertung zugeführt werden können, z. B. Getreidestroh.

Kreisberegungsanlage: Arbeits- und energiesparende, relativ genaue und pflanzennahe Wasserausbringung mithilfe linear ausgerichteter Beregnungsdüsen, die einen Kreis beschreiben, i. d. R. stationär auf einer Fläche.

Kulturlandschaft: Durch die Bewirtschaftung des Menschen entstandene Landschaft.

L

Limnofauna: Summe aller Tierarten, die zumindest zeitweise im nicht-salzigen Oberflächenwasser leben.

Linearberegungsanlage: Arbeits- und energiesparende, relativ genaue und pflanzennahe Wasserausbringung mithilfe linear angeordneter Beregnungsdüsen, i. d. R. auf andere Flächen versetzbar.

Lipophilie: Eigenschaft einer Substanz, sich gut in Fetten und Ölen lösen zu lassen oder ihrerseits Fette und Öle gut lösen zu können.

M

Mikrobielle Biomasse: Der in lebenden Mikroorganismen enthaltene Anteil organischer Substanz in Böden (mg C/m²/kg Bodentrockensubstanz).

MNQ: Mittlerer Niedrigwasser-Abfluss.

Modellgebiet: Ein Modellgebiet ist ein räumlicher Rahmen, in dem losgelöst von der gewohnten Praxis neue Konzepte, Sach- oder Verfahrenslösungen entwickelt und erprobt werden. Innovation wird dadurch erleichtert, dass die Gebiete als „einmalig“, „befristet“ oder „modellartig“ eingestuft werden. In KLIMZUG-NORD repräsentieren die Modellgebiete unterschiedliche Raumtypen, an denen exemplarisch die Betroffenheit durch den Klimawandel untersucht wird.

Monitoring: Monitoring bezeichnet die systematische und regelmäßige Erfassung von Zustandsgrößen eines Systems. In der Natur gehört neben der Aufzeichnung von Messwerten das Protokollieren von Randbedingungen dazu.

MQ: Mittlerer Abfluss.

MQS: Mittlerer Sommerabfluss (Mai bis Oktober).

MQW: Mittlerer Winterabfluss (November bis April).

Mulchmahd: Mahd unter Einarbeitung des Mahdgutes in den Oberboden.

Mykorrhizierung: Besiedelung von Wurzeln mit Symbiosepilzen, die es der Pflanze erleichtern, Wasser und Nährstoffe aufzunehmen.

N

Nachhaltigkeit: Meint die langfristige und gleichzeitige Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension. Ziel ist eine integrative positive Entwicklung in diesen Dimensionen, damit die heutigen und zukünftigen Generationen gleiche Entwicklungsmöglichkeiten haben.

NN: Normal Null (Höhe über dem Meeresspiegel).

No-Regret-Maßnahme: Als No-Regret-Maßnahmen werden diejenigen Maßnahmen bezeichnet, die unabhängig vom Ausmaß der Klimaänderung auf jeden Fall einen umweltpolitischen und wirtschaftlichen Nutzen für die Gesellschaft mit sich bringen.

NSE-Kennwert: Nash-Sutcliffe-Evaluation: Wert zwischen 0 und 1. Je größer der Wert ist, desto besser ist die Übereinstimmung zwischen den simulierten und den gemessenen Werten.

Nutzbare Feldkapazität (nFK). Pflanzennutzbare Wassermenge, die ein Boden maximal gegen die Schwerkraft zurückhalten kann.

O

Ortolan: Zugvogel, der als Lebensraum trockenwarmer Standorte u. a. Kulturflächen, Trockenrasen mit Gehölzstrukturen nutzt. Der Ortolan steht gemäß §7 Abs. 2, Nr. 13 BNatSchG als besonders geschützte Art und nach § 7, Abs. 2, Nr. 14 BNatSchG als streng geschützte Art national unter Schutz. Der Singvogel wird in der Roten Liste Deutschland als gefährdet und in der Roten Liste Niedersachsen als vom Erlöschen bedroht kategorisiert. Gefährdungsursachen sind Intensivierung und Monotonisierung von Kulturlandschaft, Verlust von Lineargehölzen (u. a. durch Flurbereinigung), Eutrophierung und hoher Pestizideinsatz in der Landwirtschaft.

P

Perzentil: Perzentile dienen dazu, die Verteilung einer großen Anzahl von Datenpunkten zu untersuchen. Der Wert des *i*. Perzentils ist dabei so definiert, dass *i* Prozent der Daten kleiner sind als der Wert des *i*. Perzentils. Beispiele: das 1. Perzentil der Tagesmitteltemperaturen im Winter in Hamburg beträgt ca. -8 °C. Das bedeutet, dass 1 % der Wintertage eine Tagesmitteltemperatur kleiner als -8 °C haben. Das 40. Perzentil der Tagesmitteltemperaturen im Winter beträgt ca. 0 °C. Daher haben 40 % der Wintertage eine Tagesmitteltemperatur kleiner als 0 °C.

pH-Wert: Gibt den Säuregrad eines Mediums an.

Phytosanitär: Die Gesundheit von Pflanzen betreffend.

Plaggen: Hier als Beschreibung eines Arbeitsvorgangs im Sinne des Naturschutzes verwendet: Intensive Naturschutz-Managementmaßnahme bei der die Biomasse, die organische Auflage und Teile des A-Horizontes entfernt werden.

Prognose: Eine Prognose ist eine Vorhersage zukünftiger Ereignisse, Zustände oder Entwicklungen. Wetterprognosen sind möglich, da sich das Wetter hauptsächlich in der Atmosphäre abspielt und der Anfangszustand der Atmosphäre relativ gut bestimmbar ist; Klimaprognosen versuchen Vorhersagen des Klimas auf saisonaler, jahresübergreifender oder dekadischer Zeitskala. Da die Entwicklung des Klimas sehr stark von den Ausgangsbedingungen des Klimasystems abhängt, welche nur teilweise durch Messungen erfasst werden können, ist die Vorhersage der zukünftigen Entwicklung des Klimas nur schwer bis gar nicht möglich. Deshalb können auf der Zeitskala von mehreren Jahrzehnten und Jahrhunderten nur sogenannte Klimaprojektionen erstellt werden, die unter der Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios für unterschiedliche realistische Ausgangsbedingungen des Klimasystems mehrere gleich wahrscheinliche Entwicklungen (siehe Realisierung) des Klimas abbilden.

Q

Q10-Wert: Faktor, um den sich eine biochemische Reaktion bei einer Temperaturerhöhung um 10 °C beschleunigt.

R

Realisierung: Unter der Annahme eines bestimmten Emissionsszenarios können mehrere Klimasimulationen erstellt werden, die sich nur in den Anfangsbedingungen unterscheiden und gleich wahrscheinliche Entwicklungen des Klimas projizieren. Diese werden hier als Realisierung bezeichnet. Die Unterschiede in den zeitlichen Entwicklungen des Klimas beruhen auf interner Klimavariabilität.

Resilienz: Anpassungsfähigkeit.

Restitution: Wiederherstellung.

R2: Bestimmtheitsmaß, gibt an, wie viel Prozent der Varianz einer abhängigen Größe durch eine unabhängige Größe bestimmt wird.

S

Saugkerze: Gerät zur Gewinnung von Bodenlösung.

Schluff: Eine Korngrößenklasse mineralischer Bodenpartikel, mehlartig, kleiner als Sand und größer als Ton.

Schoppern: Intensive Naturschutz-Managementmaßnahme, bei der die Biomasse und die organische Auflage entfernt werden.

Sensitivitätsanalyse: Ermittlung des relativen Einflusses verschiedener unabhängiger Größen auf die Ergebnisse von Computersimulationen anhand einer Rechenvorschrift.

Sommertag: Tag mit einer Höchsttemperatur größer / gleich 25 °C.

Spätfrosttag: Tag in den Monaten April, Mai, Juni und Juli, an dem das Minimum der Lufttemperatur unter 0 °C liegt.

Spitzenmahd: Mahd der (einjährigen) Triebe der Besenheide.

SRES-Szenarien: (siehe Emissionsszenarien)

Stakeholder: Personen oder Personengruppen, die von den betrachteten Auswirkungen betroffen sind. Sie haben ein begründetes Interesse der Verbesserung ihrer Situation.

Starkniederschlag: Hier verwendeter Klimaindex als Tag mit einer Niederschlagshöhe größer gleich 20 mm (bzw. einer Niederschlagsmenge größer gleich 20 l/m²).

SWAP: Soil-Water-Atmosphere-Plant, Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und der Grundwasserneubildung.

Szenarien: (Anpassungs-, Entwicklungs-, Handlungs-) Szenarien sind plausible und begründbare Zukunftsbilder, die aus der gegenwärtigen Situation heraus systematisch entwickelt werden. Dazu werden alternative Entwicklungsmöglichkeiten der wesentlichen Einflussfaktoren erarbeitet, so dass sich schließlich durch deren Kombinationen verschiedene mögliche Zukunftsbeschreibungen ergeben.

T

Tachymetrisch: Lage- und höhenmäßige Erfassung von Punkten an der Erdoberfläche.

Tensiometer: Gerät zur kontinuierlichen Messung der Bodenfeuchte.

Textur: Korngrößenzusammensetzung der mineralischen Bodensubstanz.

Transpiration: Verdunstung von Wasser über die Spaltöffnungen der Pflanzen.

Treibhausgase: Gase in der Atmosphäre (natürlichen und anthropogenen Ursprungs), die einen Teil der langwelligen Ausstrahlung der Erdoberfläche absorbieren und entsprechend ihrer Temperatur langwellige Strahlung emittieren. Der zur Erdoberfläche gerichtete Anteil erwärmt als atmosphärische Gegenstrahlung die Erdoberfläche. Diese Eigenschaft verursacht den Treibhauseffekt. Wasserdampf, Kohlendioxid, Lachgas, Methan und Ozon sind die Haupttreibhausgase in der Erdatmosphäre. Außerdem gibt es eine Anzahl von ausschließlich vom Menschen produzierte Treibhausgase in der Atmosphäre, wie die Halogenkohlenwasserstoffe und andere chlor- und bromhaltige Substanzen. Die von Menschen in die Atmosphäre emittierten Treibhausgase verursachen den zusätzlichen sogenannten anthropogenen Treibhauseffekt.

Trommelberechnung: Herkömmliche Berechnungstechnik: Wasser wird mit hohem Druck mit einer „Kanone“ verteilt, der daran befestigte Schlauch wird nach und nach auf eine Trommel aufgerollt, arbeits- und energieintensiv, eher ungenaue Wasserausbringung.

Tropennacht bzw. Tropentag: Hier verwendeter Klimaindex als Tag (bzw. Nacht), an dem (bzw. in der) die bodennahe Lufttemperatur 20 °C nicht unterschreitet.

U

Unsicherheit: Bezeichnet Unklarheit über einen gegenwärtigen oder zukünftigen Sachverhalt. Unsicheres Wissen kann in Nicht-Wissen und umstrittenes Wissen unterteilt werden und kann viele Ursachen haben, unter anderem fehlerhafte Daten, mehrdeutig formulierte Konzepte und Terminologien, unterschiedliche Interpretationen und Bewertungen von Fakten. Die Vorhersage des Verhaltens von komplexen Systemen (z. B. Klimasystem oder Menschen) ist prinzipiell immer mit Unsicherheit verbunden.

V

Vegetationszeit: (auch Vegetationsperiode oder Wachstumszeit) Zeitabschnitt des Jahres, in dem die Pflanzen photosynthetisch aktiv sind.

Verwundbarkeit, Verletzlichkeit, Vulnerabilität: Bezeichnet die Anfälligkeit eines Systems für Schädigungen durch den Klimawandel. Faktoren sind u. a. Empfindlichkeit und Anpassungskapazität des jeweiligen Systems.

VDLUFA: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten.

Vollfaktorielle Experimente: Alle Kombinationsmöglichkeiten der unterschiedlichen Behandlungen werden berücksichtigt.

W

(Klimatische) Wasserbilanz: Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration (maximal mögliche Summe der Verdunstung aus Tier- und Pflanzenwelt sowie der Bodenoberfläche).

Wasserdargebot: Die für einen bestimmten Zeitraum ermittelte oder zu erwartende nutzbare Wassermenge aus Grundwasser und Oberflächenwasser. Diese repräsentiert eine mehr oder weniger limitierte Wasserressource, die als Wasserdargebotspotenzial ausgewiesen wird (meint hier die für eine Entnahme durch die Feldberegnung zur Verfügung stehende Teilmenge).

Wassernutzungseffizienz: Erzeugte Biomasse (oder Ertrag) je Flächeneinheit pro insgesamt verbrauchter Wassereinheit (kg/l), in Bezug auf Bewässerung: Mehrertrag pro Einheit Zusatzwasser gegenüber fehlender Bewässerung (kg/mm).

Wasserrahmenrichtlinie: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik mit dem Schwerpunkt auf Gewässergüte und mengenmäßiger Überwachung.

Wetter: Das Wetter ist der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort und wird charakterisiert durch messbare Parameter wie z. B. Lufttemperatur, Luftdruck und Niederschlag.

(Effektiver) Wurzelraum: Rechnerisch bestimmte Tiefe, in der das pflanzenverfügbare Bodenwasser von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen ausgeschöpft werden kann; abhängig von physikalischen Bodeneigenschaften, Klima und Bodennutzung.

XYZ

Quellen- und Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe-Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 Seiten.
- BAL – Büro für angewandte Limnologie und Landschaftsökologie (2012): Teilprojekt „Prognosen zur Veränderung aquatischer Fließgewässerbiozöosen durch verringerten Oberflächenabfluss nach erhöhter Grundwasserentnahme auf der Basis von hydraulisch-gewässermorphologischen Simulationen“. Gutachten im Auftrage der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen, 64 Seiten + 7 Anlagen.
- Battermann, H. W.; Theuvsen, L. (2007): Auswirkungen differenzierter Wasserentnahmemengen auf Ackerbaubetriebe in Nord-Ost-Niedersachsen - Eine Szenarioanalyse. Arbeitsbericht 12/07. Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen.
- Bauernfeind, E.; Soldán, T. (2012): The Mayflies of Europe (Ephemeroptera). – Ollerup / DK, 781 Seiten.
- BBodSchG – Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG). Zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 30 G v. 24.2.2012 I 212; URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bbodschg/gesamt.pdf> [28.01.2014]
- Behre, K.-E. (2008): Landschaftsgeschichte Norddeutschlands – Umwelt und Siedlung von der Steinzeit bis zur Gegenwart, Wachholtz Verlag, Neumünster.
- Berg, P.; Moseley, C.; Haerter, J.O. (2013): Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geoscience*, 6, 181 - 185. doi: 10.1038/ngeo1731
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & BfN – Bundesamt für Naturschutz (2010): Naturbewusstsein 2009. Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt. Berlin und Bonn.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & UBA – Umweltbundesamt (2010): Umweltbewusstsein in Deutschland 2010. Berlin und Dessau.
- BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz (Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege) Artikel 1 des Gesetzes vom 29.07.2009 (BGBl. I S. 2542), in Kraft getreten am 01.03.2010 zuletzt geändert durch Gesetz vom 21.01.2013 (BGBl. I S. 95) m.W.v. 29.01.2013.
- Brinkmann, R.; Reusch, H. (1998): Zur Verbreitung der aus dem norddeutschen Tiefland bekannten Ephemeroptera- und Plecoptera-Arten in verschiedenen Biotoptypen. *Braunschweiger Naturkundliche Schriften* 5(3): 531 - 540.
- Bruns, M.; van Straaten, L.; Radmann, K.; Thiem, H. (2012): Gebietswasserhaushalt. In Projektbericht „AQUARIUS- Dem Wasser kluge Wege ebnen!“. Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen.
- Buffagni, A.; Cazzola, M.; López, Rodríguez, M.J.; Alba-Tercedor, J.; Armanini, D.G. (2009): Ephemeroptera. – In: Schmidt-Kloiber, A.; Hering, D. (Hrsg.): *Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms*, Volume 3. Sofia/Moscow.
- Chmielewski, F.-M. (2007): Folgen des Klimawandels für Land- und Forstwirtschaft. In: *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Endlicher, W.; Gerstengarbe F.-W. (Hrsg.). S. 75 - 85.
- Davidson, E. A. (2000): Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. *Biogeochemistry*, 48, 53 - 69.
- Döll, S. und Kowalewski, J. (2012): Kreisportrait Landwirtschaft und Klimawandel. HWWI, Hamburg (Hrsg.), Handouts für die Landkreise Harburg, Lüneburg, Uelzen, Heidekreis, Lüchow-Dannenberg.
- Drews, S. (2014): Risikowahrnehmung und -kommunikation des Klimawandels. Framing, Werte und Emotionen. In: Beese, K.; Fekkek, M.; Katz, C.; Körner, C.; Molitor, H. (Hrsg.): *Anpassung an regionale Klimafolgen kommunizieren. Konzepte, Herausforderungen und Perspektiven*. Oekom Verlag, München, S. 67 – 81.
- DWD – Deutscher Wetterdienst: Abteilung Hydrometeorologie (2011): REGNIE (REGionalisierte NIEderschläge): Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung, interner Bericht im DWD, Offenbach.
- DWD – Deutscher Wetterdienst (2009): WebWerdis (Web Weather Request and Distribution System) URL: <https://werdis.dwd.de/werdis/> [28.01.2014]
- Engel, N.; Müller, U.; Schäfer, W. (2012): BOWAB - Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. *GeoBerichte - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie*, 20, 85 - 98.
- Etscheid, M. (2008): Wie ticken Jugendliche? Die Sinus-Milieustudie U27. *BDKJ-Journal*, 2, 4 - 13.

- Franko, U. (2011): Anwenderhandbuch. Modell CCB – Ein Modell zur Berechnung der Humusdynamik. UFZ, Halle.
- Franko, U.; Oelschlägel, B. (1995): Einfluss von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. Arch. Acker- Pfl. Boden., 39, 155 - 163.
- Franko, U.; Oelschlägel, B.; Schenk, S. (1995): Simulation of temperature-, water- and nitrogen dynamics using the model CANDY. Ecological modelling, 81, 213 - 222.
- Franko, U.; Thiel, E.; Kolbe, H. (2011): Modellierung der Kohlenstoffdynamik mit dem Modell CCB. In: Leithold, G.; Becker, K.; Brock, C.; Fischinger, S.; Spiegel, A.-K.; Spory, K.; Wilbois, K.-P.; Williges, U. (Hrsg.). Es geht ums Ganze: Forschen im Dialog von Wissenschaft und Praxis, Band 1, S. 155 - 158.
- Frewer, L. J.; Miles, S.; Marsh, R. (2002): The media and genetically modified foods: Evidence in support of social amplification of risk. Risk Analysis, 22(4), 701 - 711.
- Fricke, E. (2008): Organisation der Beregnung, ihre landwirtschaftliche Bedeutung und zukünftiger Wasserbedarf. In: Projektbericht „NoRegret – Genug Wasser für die Landwirtschaft?!“, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen.
- Fricke, E. (2011): Produktionsfaktor Wasser - Herausforderungen für die Zukunft. Vortrag im Rahmen des Getreidehandelstags am 21. und 22. Juni 2011, Burg Warberg.
- Gajic, A.; Koch, H.-J.; Märländer, B. (2011): HTC-Bio- kohle als Bodenverbesserer – Erste Ergebnisse aus einem Versuch mit Zuckerrüben. Sugar Industry 136, Sonderheft 10. Göttinger Zuckerrüben- tagung, 55 - 63.
- Gimingham, C. H. (1972): Ecology of heathlands, London, Chapman and Hall.
- Gordon, C.; Woodin, S. J.; Alexander, I. J.; Mullins, C. E. (1999): Effects of increased temperature, drought and nitrogen supply on two upland perennials of contrasting functional type: *Calluna vulgaris* and *Pteridium aquilinum*. New Phytol., 142, 243 - 258.
- Graf, W.; Lorenz, A.W.; Tierno de Figueroa, J.M.; Lücke, S.; López-Rodríguez, M.J.; Davies, C. (2009): Plecoptera. In: Schmidt-Kloiber, A.; Hering, D. (Hrsg.). Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms, Volume 2. Sofia/Moscow.
- Graf, W.; Murphy, J.; Dahl, J.; Zamora-Muñoz, C.; López Rodríguez, M.J. (2008): Trichoptera. In: Schmidt-Kloiber, A.; Hering, D. (Hrsg.). Distribution and Ecological Preferences of European Freshwater Organisms, Volume 1. Sofia/Moscow.
- Grocholl, J.; Riedel, A. (2012): Wasserbedarf verschiedener Arten und Sorten, In: Aquarius - Dem Wasser kluge Wege ebnen! Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen, S. 89 - 99.
- Grothmann, T. (2005): Klimawandel, Wetterextreme und private Schadensprävention. Berlin.
- Guckelberger, A. (2011): §13-15 Allgemeiner Schutz von Natur und Landschaft. In: Frenz, W.; Müggendorf, H.-J. (Hrsg.). BNatSchG Kommentar. Berlin.
- Hansen, S. (2009): Die Genese eines ombrogenen Moores in Nordostniedersachsen. Bachelorarbeit, unveröff. Univ. Köln.
- Härdtle, W.; von Oheimb, G.; Niemeyer, M.; Niemeyer, T.; Assmann, T.; Meyer, H. (2007): Nutrient leaching in dry heathland ecosystems: effects of atmospheric deposition and management. Biogeochemistry, 86, 201 - 215.
- Herrmann, F.; Chen, S.; Heidt, L.; Elbracht, J.; Engel, N.; Kunkel, R.; Müller, U.; Röhm, H.; Wendland, F. (2013): Zeitlich und räumlich hochaufgelöste flächendifferenzierte Simulation des Landschaftswasserhaushalts in Niedersachsen mit dem Model mGROWA. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. 5(57).
- Hofland-Zijlstra, J. D.; Berendse, F. (2009): The effect of nutrient supply and light intensity on tannins and mycorrhizal colonisation in Dutch heathland ecosystems. Plant Ecol., 201, 661 - 675.
- Hohberg, B.; Lührs, R. (2013): Dokumentation des Onlinediskurses „Elmshorn und Umland im Klimawandel - wie wollen wir uns schützen?“. Hamburg: TuTech Innovation GmbH. URL: <http://klimzug-nord.de/file.php/2013-12-03-Hohberg-Birgit-Luehrs-Rolf-2013-Dokumentation-des-Onl>
- Hohberg, B.; Lührs, R. (2013): Dokumentation der Onlinediskussion „Prima Klima entlang der Wandse? Klimawandel und Anpassungsmaßnahmen“. Hamburg: TuTech Innovation GmbH. URL: <http://klimzug-nord.de/file.php/2013-12-03-Hohberg-Birgit-Luehrs-Rolf-2013-Dokumentation-der-Onl>
- Hohberg, B.; Feil, B. (2011): Onlinebeteiligung als Mittel der Klimawandel-Anpassung im Rahmen von KLIM-ZUG-NORD. In: Cormont, P.; Franck, S. (Hrsg.): Governance in der Klimaanpassung - Strukturen, Prozesse, Interaktionen. dynaklim-Publikation Nr. 20, Dortmund, S. 145 - 157

- Hohberg, B.; Lührs, R. (2011): Dokumentation der Onlinediskussion „Hochwasserschutz – wat tut Not?“ Hamburg: TuTech Innovation GmbH. URL: <http://klimzug-nord.de/file.php/2011-09-20-Hohberg-Birgit-Luehrs-Rolf-2011-Dokumentation-der-Onl>
- 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. M & D Technical Report 3.
- Höper, H.; Kleefisch, B. (2001): Untersuchung bodenbiologischer Parameter im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen. Bodenbiologische Referenzwerte und Zeitreihen. Arbeitshefte Boden 2001/4, 94 Seiten.
- Hübener, R. (1999): 50 Jahre Geschichte und Entwicklung von Rohrtrommel-Berechnungsmaschinen (RTBM) von Schlebusch bis Beinlich. Auszug aus der Dissertation von Dipl. Ing. Dr. agr. Rolf Hübener. Beinlich, Ulmen. URL: <http://www.beinlich-berechnung.de/dokumente/Geschichte.pdf> [28.01.2014]
- IAWR – Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (2011): Memorandum zum Schutz von Fließgewässern und Talsperren und zur Sicherung der Trinkwasserversorgung. Düsseldorf.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S.; D. Qin; M. Manning; Z. Chen; M. Marquis; K.B. Averyt; M.Tignor; H.L. Miller (Hrsg.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin.
- Jacob, D.; Bülow, K.; Kotova, L.; Moseley, C.; Petersen, J.; Rechid, D. (2012): Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland: Ensemble Simulationen für die Klimafolgenforschung. CSC Report 6, Climate Service Center Hamburg.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski, S.; Lorenz, P.; Sieck, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland mit dem Klimamodell REMO. Forschungsbericht 204 41 138 Teil 2, i.A. des UBA Dessau.
- Jacob, D.; Nilson, E.; Tomassini, L.; Bülow, K. (2009): REMO climate of the 20th century run, BfG project, 0.088° resolution, World Data Center for Climate.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski, S.; Lorenz, P. und Sieck, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138.
- Jacob, D.; Podzun, R. (1997): Sensitivity Studies with the Regional Climate Model REMO. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 63: 119 - 129.
- Joosten, H. (2006): Moore in der Regionalentwicklung (BUND Landesverband Niedersachsen, 35 Seiten).
- Kammann, C.; Ha, M.; Schimmelpfennig, S.; Kurtz, M.; Bai, M.; Breuer, L.; Bach, M.; Qayyum, M.; Wilske, B.; Weber, B.; Steffens, D.; Schubert, S.; Müller, C. (2011): Chancen und Risiken von Biokohle – Forschungsstand an der Justus-Liebig-Universität Gießen. In: Wallmann, R. (Hrsg.). ANS-Tagungsband, ORBIT e.V., Weimar, S. 155 - 165.
- Karger, C.R.; Wiedemann, P. (1998): Kognitive und affektive Komponenten der Bewertung von Umwelttrisiken. *Z. Exp. Psych.*, 45(4), 334 - 344.
- Kasperson, J.X.; Kasperson, R.E. (2003): The social amplification of risk: Assessing fifteen years of research and theory. In: Pidgeon, N.; Kasperson, R.E.; Slovic, P. (Hrsg.): *The social amplification of risk*. Cambridge University Press, Cambridge: S. 13 - 46.
- Kasperson, R.E.; Renn, O. (2004): The social amplification of risk: A conceptual Framework. In: Slovic, P. (Hrsg.). *The Perception of risk*. Earthscan, London: S. 232 - 245.
- Katz, C.; Molitor, H. (2014): Klimaanpassung – (k)ein Thema in umweltrelevanten Bildungsorganisationen? In: Beese, K.; Fekkak, M.; Katz, C.; Körner, C.; Molitor, H. (Hrsg.). *Anpassung an regionale klimafolgen kommunizieren. Konzepte, Herausforderungen und Perspektiven*. München, oekom Verlag.
- Katz, C.; Marwege, R. (2010): Bildungsangebote im Bereich Klimawandel(anpassung) – Eine Recherche mit besonderem Bezug zur Metropolregion HH im Rahmen von KLIMZUG-NORD, Teilprojekt Q 5.1 „Kommunikation und Bildung“. URL: <http://klimzug-nord.de/index.php/page/2009-05-25-Publikationen> [28.01.2014]

- Katz, C.; Kleinhüchelkotten, S. (2011): Wie sehen Schülerinnen und Schüler den Klimawandel? Ergebnisse des Seminars 'Quantitative Befragung zur Wahrnehmung des Klimawandels und seiner Folgen' an der Leuphana Universität Lüneburg. Unveröffentlichter Arbeitsbericht, Hannover und Lüneburg.
- Katz, C.; Molitor, H.; Urban, B. (2014): Zielgruppenorientierte Kommunikation und Bildungsangebote zum Thema Klimafolgen (in Vorbereitung).
- Keuler, K.; Lautenschlager, M.; Wunram, C.; Keup-Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Boehm, U. (2009a): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.2, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDC/CLM_C20_2_D2.
- Keuler, K.; Lautenschlager, M.; Wunram, C.; Keup-Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Boehm, U. (2009b): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.1, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDC/CLM_A1B_1_D2.
- Keuler, K.; Lautenschlager, M.; Wunram, C.; Keup-Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Boehm, U. (2009c): Climate Simulation with CLM, Scenario A1B run no.2, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDC/CLM_A1B_2_D2.
- Keuler, K.; Lautenschlager, M.; Wunram, C.; Keup-Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Boehm, U. (2009d): Climate Simulation with CLM, Scenario B1 run no.1, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDC/CLM_B1_1_D2.
- Keuler, K.; Lautenschlager, M.; Wunram, C.; Keup-Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Boehm, U. (2009e): Climate Simulation with CLM, Scenario B1 run no.2, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI: 10.1594/WDC/CLM_B1_2_D2.
- Kirschbaum, M.U.F. (1995): The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem.* 27(6), 753 - 760.
- Kleinhüchelkotten, S. (2012): Zielgruppengerechte Kommunikation zu Klimawandel und Klimaschutz. Kommunikationshandbuch. Ausarbeitung für Klimzug-Nord, erstellt unter Mitwirkung von S. Michalik, H.-P. Neitzke, H. Seifferth. ECOLOG-Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung, Hannover.
- Kleiß, K. (2011): Einfluss von Niederschlag und hydrologischer Konnektivität auf Vegetation und Standortfaktoren von Mooren. Masterarbeit, unveröff. Universität Hamburg.
- Kolbe, H. (2004): Überprüfung und Anpassung von Bilanzierungsmodellen für Humus anhand von Langzeitversuchen des Ackerlandes. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig.
- Kolbe, H. (2007): Einfache Methode zur standortangepassten Humusbilanzierung von Ackerland unterschiedlicher Anbauintensität. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. URL: <http://orgprints.org/view/projects/wissenschaftstagung-2007.html> [28.01.2014]
- Körschens, M.; Rogasik, J.; Schulz, E.; Bönig, H.; Eich, D.; Ellerbrock, R.; Franko, U.; Hülsbergen, K.-J.; Köppen, D.; Kolbe, H.; Leithold, G.; Merbach, I.; Peschke, H.; Prystav, W.; Reinhold, J.; Zimmer, J. (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt. VDLUFA, Bonn.
- Kroes, J.G.; Van Dam, J.C.; Groenendijk, P.; Hendriks, R.F.A.; Jacobs, C.M.J. (2008): SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Alterra-Report 1649, Wageningen, NL.
- Lamprecht & Wellmann GbR (2012): Dynamischer Kulturlandschaftsplan „Obere Wipperau“ - Naturschutzfachlicher Teil, Uelzen.
- LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2012): Potenzielle Erosionsgefährdung durch Wind (nur für Ackerflächen). URL: http://www.lbeg.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=837&article_id=781&psmand=4 [05.04.2013]
- Lautenschlager, M.; Keuler, K.; Wunram, C.; Keup-Thiel, E.; Schubert, M.; Will, A.; Rockel, B.; Boehm, U. (2009): Climate Simulation with CLM, Climate of the 20th Century run no.1, Data Stream 2: European region MPI-M/MaD. World Data Center for Climate. DOI:10.1594/WDC/CLM_C20_1_D2.
- LGLN – Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (2013): Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung.
- Liebig, M. (2005): Untersuchungen zu Umweltrisikobeschätzungen von Humanpharmaka und Inhaltsstoffen von Körperpflegeprodukten vor dem Hintergrund europäischer Bewertungskonzepte. Dissertation, Frankfurt Johann Wolfgang Goethe Universität: Fachbereich Biologie und Informatik.

- Litt, T.; Brauer, A.; Goslar, T.; Merkt, J.; Balaga, K.; Müller, H. (2009): Vegetation and climate history in the Westeifel Volcanic Field (Germany) during the past 11 000 years based on annually laminated lacustrine maar sediments. *Boreas*, 38, 679 - 690.
- McCuen, R.H.; Snyder, W.M. (1986): *Hydrologic Modelling: Statistical Methods and Applications*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Moseley C., O. Panferov, C. Döring, J. Dietrich, U. Haberlandt, V. Ebermann, D. Rechid, F. Beese, D. Jacob (2012) Klimaentwicklung und Klimaszenarien. In: Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Regierungskommission Klimaschutz (Hrsg.).
- Moser, S. (2007): More bad news: the risk of neglecting emotional responses to climate change information. In: Moser, S.; Dilling, L. (Hrsg.). *Creating a Climate for Change. Communicating Climate Change and Facilitating Social Change*. Cambridge University Press, Cambridge: S. 64 - 80.
- MPI-M – Max-Planck-Institut für Meteorologie (2006): *Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert*. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Bundesstrasse 53, D-20146 Hamburg.
- MU – Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (2007): *Runderlass des Niedersächsischen Umweltministeriums vom 25.06.2007 (VORIS 2820) zur „Mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers“*. URL: <http://www.umwelt.niedersachsen.de/grundwasser/bewirtschaftung/mengenmaeige-bewirtschaftung-des-grundwassers-8270.html> [28.01.2014]
- Müller, J. (2009): Forestry and water budget of the lowlands in northeast Germany – consequences for the choice of tree species and for forest management, *J. Water Land Dev.*, 13a, 133 - 148.
- Müller, J. (2010): *Das blaue Gold*, In: *Deutscher Waldbesitzer*, Ausg. 1.
- Müller, P. (2011): Einfluss von Trockenstress und Stickstoffverfügbarkeit auf Photosynthese und Respiration von *Sphagnum cuspidatum*. Bachelorarbeit, unveröff. Univ. Hamburg.
- Nakicenovic, N.; Swart, R. (Hrsg.) (2000): *Emission Scenarios*. Cambridge University Press, UK 570 Seiten.
- Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models part I: A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3), 282 - 290.
- Ostermann, U. (1998): Grundwasserentnahme für landwirtschaftliche Beregnung aus Sicht einer Unteren Wasserbehörde. *Mitteilungen aus der NNA*, 3/98 47 - 50.
- Overbeck, F. (1975): *Botanisch-geologische Moorkunde unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte*, Karl Wachholtz Verlag, Neumünster.
- Parkin, T.B.; Kaspar, T.C. (2003): Temperature Controls on Diurnal Carbon Dioxide Flux: Implications for Estimating Soil Carbon Loss. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1763 - 1772.
- Peter, H.; Moegling, K.; Overwien, B. (Hrsg.) (2011): *Politische Bildung für nachhaltige Entwicklung. Bildung im Spannungsfeld von Ökonomie, sozialer Gerechtigkeit und Ökologie*. Prolog-Verlag, Immenhausen.
- Petersen, J. (2012): *Rückwirkungen von Landnutzung und Bewässerung auf das simulierte lokale und regionale Klima der Metropolregion Hamburg*. CSC Report 7.
- Plachter, H.; Bernotat, D.; Müssner, R.; Riecken, U. (2002): *Entwicklung und Festlegung von Methodenstandards im Naturschutz*. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 70. Bonn, 566 Seiten.
- Pöhler, H.; Schultze, B.; Wendel, S.; Rust, S.; Scherzer, J. (2012): *Auswirkungen von Klimawandel und Waldbaustrategien auf das Grundwasserdargebot im Privatwald der Niedersächsischen Ostheide*, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen.
- Pöhler, H.; Schultze, B.; Wendel, S.; Rust, S.; Scherzer, J. (2013): *Untersuchung der zeitlichen Auflösung des Grundwassermehrertrages durch Waldumbau*, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen.
- Rechid, D.; Petersen, J.; Schoetter, R.; Jacob, D. (2014): *Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg*. *Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten*, Band 1, TuTech Verlag, Hamburg.
- Regierungskommission Klimaschutz (RK) des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz, (Hrsg.), (2012): *Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels*, Hannover.

- Reusch, H. (1995): Planungsrelevante Aufbereitung und Bewertung faunistisch-ökologischer Daten vom Makrozoobenthon in Fließgewässern. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 43. Bonn, S. 31 - 43.
- Reusch, H. (2003): Erfolgskontrollen an ökologisch begründeten Ausbaumaßnahmen in Fließgewässern des Niedersächsischen Tieflandes. GWF Wasser – Abwasser 144(12), 812 - 824, München.
- Reusch, H.; Brinkmann, R. (1998): Zur Kenntnis der Präsenz norddeutscher Trichoptera-Arten in limnischen Biotoptypen. Lauterbornia 34, 91 - 103, Dinkelscherben.
- Reusch, H.; Heuer-Jungemann, H.; Urban, B. (in Vorb.): Leitfaden für die Erprobung eines Verfahrens zur praxisnahen Bestimmung wasserbaulicher Maßnahmen zur Sicherung des ökologisch notwendigen Mindestabflusses kleiner Fließgewässer. In: Knieling, J.; Müller, B. (Hrsg.): Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalplanung. Publikationsreihe der KLIMZUG-Verbünde. oekom Verlag.
- Rohweder, U. (2003): Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Freie und Hansestadt Hamburg: Behörde für Umwelt und Gesundheit, Institut für Hygiene und Umwelt im Auftrag des Bund/Länderausschusses für Chemikaliensicherheit (BLAC), Hamburg.
- Ropeik, D. (2004): The consequences of fear. EMBO reports, 5, 56 - 60.
- Rosenhagen, G.; Schatzmann, M. (2011): Das Klima der Metropolregion auf Grundlage meteorologischer Messungen und Beobachtungen. In: von Storch, H.; Claussen, M. (Hrsg.): Klimabericht für die Metropolregion Hamburg, Springer Verlag. doi 10.1007/978-3-642-16035-6
- Roßknecht, H.; Hetzenauer, H.; Ternes, T. A. (2001): Arzneimittel im Bodensee?. Nachrichten aus der Chemie, 49, 145 - 149.
- Runge, K.; Wachter, T. (2010): Umweltfolgenprüfung und Klimaanpassungsmaßnahmen - Ansätze zur Berücksichtigung in SUP, UVP und Eingriffsregelung. Naturschutz und Landschaftsplanung, 42(5), 141 - 147.
- Runge, K.; Wachter, T.; Rottgardt, E. (2010): Klimaanpassung, Climate Proofing und Umweltprüfung – Untersuchungsnotwendigkeiten und Integrationspotenziale. UVP-report, 24(4), 165 -1 69.
- Rust, S.; Scherzer, J.; Hillmann, M. (2008): Ausgesuchte Waldumbauvarianten zur Erhöhung der Grundwasserneubildung in der Ostheide. In: Projektbericht „NoRegret – Genug Wasser für die Landwirtschaft?!“, Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen.
- Sala, O. E.; Chapinlii, F. S.; Armesto, J. J.; Berlow, E.; Bloomfield, J.; Dirzo, R.; Huber-Sanwald, E.; Hueneke, L. F. (2000): Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. Science, 287, 1770 - 1774.
- Schlünzen, K.H.; Hoffmann, P.; Rosenhagen, G.; Riecke, W. (2010): Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. International Journal of Climatology, 30, 1121-1136. DOI: 10.1002/joc.1968
- Schmelmer, K.; Urban, B. (2011): Humusgehalte ackerbaulich genutzter Sandböden im Klimawandel – Experimente und Modellierung. Abstract DBG Tagung 2011 Berlin.
- Schmelmer, K.; Urban, B.; Feistkorn, D.; Grocholl, J. (2012): Zur Wirkung organischer Bodenverbesserer auf Boden und Nutzpflanzen. In: Wallmann, R. (Hrsg.): ANS-Tagungsband, ORBIT e.V., Weimar, S. 48.
- Schmidt, S.; Urban, B.; Hölzer, A.; Hansen, Tucci (in Vorb.): Peat characteristics and adaptation pattern of ombrotrophic peatland vegetation to future climate changes from field experiments in Northern Germany.
- Scholz, H.; Schwabe, U. (2005): Taschenbuch der Arzneibehandlung, Angewandte Pharmakologie. 13. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Scholz, H.; Schwabe, U. (2005): Taschenbuch der Arzneibehandlung, Angewandte Pharmakologie. 13. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Schulz, E. (2012): Landwirtschaftliche Verwertung von Abwässern aus Sicht der Landwirtschaft, Vortragsreihe Siedlungswasserwirtschaft und Kreislaufwirtschaft, Thema: Wiederverwendung von Abwasser in der Landwirtschaft, Ostfalia Campus Suderburg, 21.11.2012.
- Selle, W. (1936): Die nacheiszeitliche Wald- und Moorentwicklung im südöstlichen Randgebiet der Lüneburger Heide.
- Siegrist, M. (1999): A causal model explaining the perception and acceptance of gene technology. J. Appl. Soc. Psychol., 29(10), 2093 - 2106.

- Sjöberg, L. (2002): The allegedly simple structure of experts' risk perception: An urban legend in risk research. *Sci. Technol. Human Values*, 27(4), 443 - 459.
- Spekat, A.; Enke, W. und Kreienkamp, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- Spellmann, H.; Albert, M.; Schmidt, M.; Suttmöller, J.; Overbeck, M. (2011): Baumarten im Klimawandel, AFZ – Der Wald, 11.
- Steinbeiss, S.; Gleixner, G.; Antonietti, M. (2009): Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 1301 - 1310.
- Stöfen, H.; Schneider, W. (2011): Vortragspräsentation KLIMZUG-NORD, Suderburg, unveröffentlicht.
- Thimm, C. (1979): Humusgehalte und -mengen in den Ap-Horizonten ostniedersächsischer Sandbodentypen in Abhängigkeit von Standortfaktoren und Nutzungsbedingungen, Diplomarbeit, Universität Göttingen.
- UBA – Umweltbundesamt (2003): Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht, Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz*, 3, 249 - 251.
- Urban, B.; Grocholl, J.; Feistkorn, D.; Schmelmer, K.; Palmu, K. (2012): Zur Wirkung organischer Bodenverbesserer auf Boden und Nutzpflanzen. 72. ANS-Tagung Berlin (Posterbeitrag).
- Urban, B.; Hölzer, A.; Schmidt, S.; Hansen, S.; Tucci, M. (in Vorb.): Resilience of ombrotrophic peatland vegetation to past climate changes, studies from Northern Germany.
- Urban, B.; Kunz, A.; Gehrt, E. (2011): Genesis and dating of Late Pleistocene-Holocene soil sediment sequences from the Lüneburg Heath, Northern Germany. *Eiszeitalter und Gegenwart (E&G), Quaternary Science Journal*, 60(1), 6 - 26.
- Urban, B.; Shaban, M.; Grocholl, J. (2008): Verwendung von Kompost zur Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit von Böden in Nordost-Niedersachsen: Landwirtschaftskammer Niedersachsen. In: *No Regret – Genug Wasser für die Landwirtschaft?! Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Projektbericht, Uelzen*, S. 200 - 213.
- Vohland, K.; Schoenberg, W.; Jensen, K.; Doyle, U.; Ellwanger, G.; Lüttger, A.; Rottgardt, E.; Runge, K.; Schröder, E.; Strasdas, W.; Zeppenfeld, R. (2012): Anpassung und Mitigation - Zielkonflikte und Synergien mit Biodiversität und Naturschutzzielen. In: *Mosbrugger, V.; Brasseur, G.; Schaller, M.; Stribny, B. (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität – Folgen für Deutschland. Darmstadt*. S. 343 - 371.
- von Haaren, M.; Eiben, E. (2012): Entwicklung von Kriterien zur Bewertung landwirtschaftlicher Flächen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Landwirtschaft am Beispiel einer Region in der Gemeinde Suhlen-dorf (LK Uelzen). *Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hrsg.), Uelzen*.
- von Oheimb, G.; Power, S. A.; Falk, K.; Friedrich, U.; Mohamed, A.; Krug, A.; Boschatzke, N.; Härdtle, W. (2010): N:P ratio and the nature of nutrient limitation in Calluna-dominated heathlands. *Ecosystems*, 13, 317 - 327.
- WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (2011): *Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*. Berlin.
- Wendland M. (2009): Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. *LfL-Informationen*, 1(4).
- Wippermann, C.; Calmbach, M. (2008): *Wie ticken Jugendliche? Bund der Deutschen Katholischen Jugend & Misereor (Hrsg.). Verlag Haus Altenberg, Düsseldorf*.
- WRRL – Europäische Wasser-Rahmenrichtlinie (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Reihe L 327. Luxemburg*, 72 Seiten.

Beteiligte Autorinnen und Autoren und Institutionen

Büro für Angewandte Limnologie und Landschaftsökologie (BAL) Suhlendorf

Leitung:

Dr. Herbert Reusch

Mitarbeit:

Dipl.-Ing. Helmut Heuer-Jungemann

Forschungszentrum Jülich GmbH Institut für Bio- und Geowissenschaften

Leitung:

Dr. Frank Wendland

Mitarbeit:

Shaoning Chen

Dr.-Ing. Frank Herrmann

Dr. Ralf Kunkel



Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) Hannover

Dipl.-Geow. Lena Hübsch

Dr. Udo Müller



Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Bezirksstelle Uelzen

Leitung:

Dr. Jürgen Grocholl

Mitarbeit:

Dipl.-Ing. agr. Alix Mensching-Buhr

Dipl.-Geogr. Imke Mersch

Dipl.-Ing. agr. Elisabeth Schulz

Dipl.-Geogr. Monika von Haaren



Geschäftsbereich Landwirtschaft, Hannover

Dipl.-Ing. agr. Regina Asendorf

Dipl.-Ing. agr. Ekkehard Fricke

Dipl.-Ing. agr. Angela Riedel

Leuphana Universität Lüneburg

Fakultät Nachhaltigkeit, Institut für Ökologie, Abteilung Landschaftswandel

Leitung:

Prof. Dr. Brigitte Urban

Mitarbeit:

M.Sc. Sabine Hansen

Dr. rer. nat. Karin Schmelmer

M.Sc. Mario Tucci



Fakultät Nachhaltigkeit, Institut für Ökologie, Abteilung Landschaftsökologie

Leitung:

Prof. Dr. Werner Härdtle

Mitarbeit:

Dipl.-Umweltwiss. Maren Meyer-Grünefeldt

Fakultät Nachhaltigkeit,
Institut für Nachhaltigkeitssteuerung

Leitung:

apl. Prof. Dr.-Ing. Karsten Runge

Mitarbeit:

Dipl.-Geogr. Elena Rottgardt

Zentrum für Angewandte Gesundheitswissenschaften (ZAG),
Sektion Umwelt, Nachhaltigkeit und Gesundheit

Leitung:

Prof. Dr. Brigitte Urban

Mitarbeit:

Dr. Christine Katz

Max-Planck-Institut für Meteorologie und Climate Service Center Hamburg

Leitung:

Dr. Daniela Jacob

Mitarbeit:

Dipl. Geogr. Juliane Petersen

Dr. Diana Rechid



Max-Planck-Institut
für Meteorologie

Naturkundemuseum Karlsruhe

Ehemaliger Referatsleiter Botanik:

Dr. Adam Hölzer

Technische Universität Hamburg-Harburg (TUHH)

Institut für Abwasserwirtschaft und Gewässerschutz

Leitung:

Prof. Dr.-Ing. Ralf Otterpohl

Mitarbeit:

Dipl.-Ing. Wibke Meyer



TuTech Innovation GmbH

Jürgen Becker

Dipl.-Soz. Birgit Hohberg

Tobias Kirschner



Universität Hamburg

FB Biologie, Biozentrum Klein Flottbek und Botanischer Garten

Leitung:

Prof. Dr. Kai Jensen

Mitarbeit:

Dr. Sebastian Schmidt

Dipl.-Geogr. Wiebke Schoenberg

FB Geowissenschaften, Meteorologisches Institut

Leitung:

Prof. Dr. K. Heinke Schlünzen

Mitarbeit:

Dr. Robert Schoetter



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

KLIMZUG-NORD Kursbuch und Berichte aus den Modellgebieten

Im „Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg“ sind die wesentlichen Ergebnisse des fünfjährigen Verbundvorhabens KLIMZUG-NORD zusammengefasst. Das Kursbuch wird begleitet und ergänzt von sechs Berichten aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, die vertiefende Informationen liefern.

KLIMZUG-NORD Verbund (Hrsg.) (2014): Kursbuch Klimaanpassung. Handlungsoptionen für die Metropolregion Hamburg, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-66-0

Rechid, Diana; Petersen, Juliane; Schoetter, Robert; Jacob, Daniela (2014): Klimaprojektionen für die Metropolregion Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 1, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-67-7

Kruse, Elke; Zimmermann, Thomas; Kittel, Anne; Dickhaut, Wolfgang; Knieling, Jörg; Sörensen, Christiane (Hrsg.) (2014): Stadtentwicklung und Klimaanpassung: Klimafolgen, Anpassungskonzepte und Bewusstseinsbildung beispielhaft dargestellt am Einzugsgebiet der Wandse, Hamburg. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 2, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-68-4

Nehlsen, Edgar; Kunert, Lisa; Fröhle, Peter; Knieling, Jörg (Hrsg.) (2014): Wenn das Wasser von beiden Seiten kommt – Bausteine eines Leitbildes zur Klimaanpassung für Elmshorn und Umland. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 3, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-69-1

Schlünzen, K. Heinke; Linde, Marita (Hrsg.) (2014): Wilhelmsburg im Klimawandel. Ist-Situation und mögliche Veränderungen. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 4, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-70-7

Prüter, Johannes; Keienburg, Tobias; Schreck, Christiane (Hrsg.) (2014): Klimafolgenanpassung im Biosphärenreservat Niedersächsische Elbtalaue – Modellregion für nachhaltige Entwicklung. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 5, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-71-4

Urban, Brigitte; Becker, Jürgen; Mersch, Imke; Meyer, Wibke; Rechid, Diana; Rottgardt, Elena (Hrsg.) (2014): Klimawandel in der Lüneburger Heide – Kulturlandschaften zukunftsfähig gestalten. Berichte aus den KLIMZUG-NORD Modellgebieten, Band 6, TuTech Verlag, Hamburg.

ISBN: 978-3-941492-72-1

Klimawandel in der Lüneburger Heide – welche Veränderungen kommen auf uns zu? Wie können wir uns darauf einstellen? Die durchgeführten Klimaprojektionen für das Modellgebiet der Lüneburger Heide haben zum Ergebnis, dass zur Mitte des 21. Jahrhunderts für alle Jahreszeiten höhere Mitteltemperaturen zu erwarten sind. Im Winter steigen die Temperaturen jeweils am stärksten, im Frühjahr am geringsten. Eis- und Frosttage treten deutlich seltener auf, während im Sommer Tage mit extremen Temperaturen häufiger vorkommen und starke Niederschläge noch an Intensität zunehmen. Dies alles wird Auswirkungen haben auf Ökosysteme und Stoffkreisläufe, auf Flora, Fauna und die Menschen in der Region.

Auf den überwiegend sandigen Böden des Kulturlandschaftsraumes Lüneburger Heide befinden sich ökologisch besonders wertvolle Nieder- und Hochmoore, Heideflächen und zahlreiche grundwassergespeiste Heidebäche. Das Gebiet ist andererseits durch großflächige land- und forstwirtschaftliche Nutzungen geprägt. Im Rahmen von KLIMZUG-NORD wurden im Modellgebiet Lüneburger Heide im Wesentlichen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Handlungsfelder Wasserwirtschaft, Land- und Bodennutzung, Naturschutz und Kommunikation beforscht und Anpassungsmaßnahmen entwickelt. Dabei bleiben eine umweltschonende Landbewirtschaftung und ein leistungsfähiger Naturhaushalt unter Klimawandelaspekten eine gültige Zielvorstellung – gerade auch angesichts der zu erwartenden zunehmenden Konkurrenz um die Ressource Wasser. Mit diesem Beitrag wollen wir unser gängiges Handeln kritisch hinterfragen, über erzielte Ergebnisse aus den Klimaanpassungsprojekten berichten und Handlungsoptionen aufzeigen.

Das Verbundprojekt KLIMZUG-NORD wird gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die Freie und Hansestadt Hamburg und die Metropolregion Hamburg.

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



ISBN: 978-3-941492-72-1