



Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens





GeoBerichte 13

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens

LENA HEIDT

Hannover 2009

Hinweis

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

Impressum

Herausgeber: © Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Stilleweg 2
30655 Hannover
Tel. (0511) 643-0
Fax (0511) 643-2304

Download unter www.lbeg.niedersachsen.de

1. Auflage.

Version: 19.01.2021

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

Titelbild: Feldberegnung in Niedersachsen, Foto: H. Röhm (LBEG).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_13_2009

GeoBer.	13	S. 1 – 109	66 Abb.	14 Tab.	Anh.	5 Kt.	Hannover 2009
---------	-----------	------------	---------	---------	------	-------	---------------

Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens

LENA HEIDT

Kurzfassung

Im Nordosten Niedersachsens ist die natürliche Wasserversorgung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen oft nicht ausreichend. Eine zusätzliche Feldberegnung ist auf vielen Ackerflächen notwendig, um den Ertrag und die Qualität zu sichern und gegebenenfalls zu erhöhen.

Mit dem Klimawandel werden steigende Temperaturen und eine Veränderung in der Verteilung der Niederschlagsmengen erwartet. Um die Auswirkungen eines möglichen Klimawandels auf die landwirtschaftlichen Ackerflächen abschätzen zu können, ist die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit bis zum Jahr 2100 berechnet worden. Bis zum Ende des Jahrhunderts ist mit einer stetig abnehmenden Klimatischen Wasserbilanz in der Hauptvegetationsperiode zu rechnen. In der Folge nimmt die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit zu. Zusätzlich ist eine Prognose der zukünftigen potenziellen Beregnungswassermenge erstellt worden, die ergeben hat, dass die potenzielle Beregnungswassermenge bis zum Jahr 2100 im Mittel um etwa 30 % zunimmt.

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Aktueller Forschungsstand	5
1.2	Ziele	6
2	Untersuchungsgebiet	7
2.1	Abgrenzung und Auswahl	8
2.2	Naturräumliche Gliederung	10
2.3	Geologie	12
2.4	Hydrogeologie	14
2.5	Landnutzung	16
2.6	Böden	16
2.7	Klima	20
3	Klimawandel	22
3.1	Globale Klimamodelle	22
3.2	Klimaszenarien	22
3.3	Regionale Klimamodelle	24
4	Klimaprognosen für das Untersuchungsgebiet	25
4.1	Klimatische Verhältnisse der Referenzperiode	25
4.2	Beschreibung der Klimaprognosen	27
4.3	Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode	35
5	Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit	41
5.1	Definitionen und Begriffe	41
6	Berechnung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit	41
6.1	Verfahren Renger & Strebel	41
6.2	Berechnung mit MeMaS®	42
6.3	Anpassung des Verfahrens	43
7	Ergebnisse	47
7.1	Beregnungsbedürftigkeit – mittlere Jahre	47
7.2	Beregnungsbedürftigkeit – trockene Jahre	58
7.3	Einfluss des Bodens	61
7.4	Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit	64
7.5	Potenzielle Beregnungswassermenge	67
7.6	Grundwasserneubildung	72
7.7	Vergleichsberechnungen der Evapotranspiration	74
7.8	Vergleichsberechnungen mit DWD- und Szenario-Daten für 1961–1990	80
8	Diskussion und Fehlerbetrachtung	85
9	Ausblick	86
10	Literatur	88
11	Abkürzungen	93
12	Anhang	94
13	Karten	97

1 Einleitung

Der Klimawandel ist zurzeit ein viel diskutiertes Thema. Ob aus natürlichem oder anthropogenem Anlass, es ist in Zukunft mit Veränderungen des Klimas zu rechnen. Für Deutschland bedeutet das steigende Temperaturen und Niederschläge, die sich vom Sommer in den Winter verschieben (UBA 2006, 2008a). Dies führt zu einer stetig abnehmenden klimatischen Wasserbilanz in der Hauptvegetationsperiode (KWBv). In der Folge ist eine Zunahme der Beregnungsbedürftigkeit zu erwarten. Diese Veränderungen können je nach Lage und Eigenschaften eines Gebietes weitreichende Folgen haben. Der Nordosten Niedersachsens gilt als besonders anfällig gegenüber Auswirkungen des Klimawandels (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007, LWK 2008, UBA 2007). Aus diesem Grund ist dieses Gebiet für die Untersuchungen gewählt worden.

Die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturen ist im natürlichen System oft nicht ausreichend, um einen optimalen Ertrag zu erwirtschaften (RENGER & STREBEL 1981a, RENGHER & STREBEL 1981b, RENGHER & WESSOLEK 1993, WESSOLEK et al. 1988). Um die Qualität und den Ertrag zu sichern und gegebenenfalls zu erhöhen, greift die Landwirtschaft auf die zusätzliche Feldberegnung zurück (FRICKE 2006, FRICKE & HEIDORN 2003, WESSOLEK et al. 1988). Im Untersuchungsgebiet Nordost-Niedersachsen wird die Feldberegnung schon heute vielfach eingesetzt, eine Prognose für die zukünftige Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit ist daher von großer Bedeutung (LWK 2008).

1.1 Aktueller Forschungsstand

Mit dem Klimawandel haben sich bereits viele Forschungseinrichtungen auseinandergesetzt. Die meisten sind sich darin einig, dass zumindest ein Teil der Veränderungen des Klimas anthropogen induziert ist (IPCC 2007). Ob global, für Europa oder für Deutschland, die prognostizierten Temperaturen werden demnach zukünftig zunehmen (IPCC 2007). Die globalen Auswirkungen des Klimawandels variieren. Beispielsweise ist China ein Land mit einer sehr hohen Agrarproduktion. Aber auch hier kann die Produktion nur durch Feldberegnung aufrecht erhalten werden (THOMAS 2007). In

Texas ist schon 1994 eine abnehmende Bodenfeuchte durch steigende Temperaturen und abnehmende Niederschläge nachgewiesen worden (VALDÉS, SEOANE & NORTH 1994). Für andere Länder gibt es ähnliche Studien.

Auch in Europa beschäftigen sich viele Länder damit, wie die Landwirtschaft auf den Klimawandel reagieren kann. In Italien sind schon bis zum Jahr 2004 abnehmende Niederschläge und eine gleich bleibende bis zunehmende Temperatur festgestellt worden (TODISCO & VERGNI 2007). Deshalb wurden auch dort Modelle entwickelt, die den Wasserverbrauch für die Feldberegnung optimieren sollen (MINACAPILLI, IOVINO & D'URSO 2007). Spanien hat in einer regionalen Studie für das Zentrum des Landes untersucht, ob der vorhandene Grundwasserkörper „Mancha Occidental“ genug Wasser führt, da die Grundwasserressourcen der Region sehr stark für die Feldberegnung genutzt werden (MARTÍNEZ-SANTOS, LLAMAS & MARTÍNEZ-ALFARO 2008). Des Weiteren wird in Spanien auf die bessere Schulung der Landwirte im Umgang mit Wasser und den Übergang zu effizienteren Fruchtfolgen gesetzt (GARCÍA-VILA et al. 2008). Für Großbritannien schlagen GIBBONS & RAMSDEN (2008) vor, verstärkt Sonnenblumen für Bioenergie anzubauen, da diese sich besser an den Klimawandel anpassen können.

In Deutschland gibt es bereits einige Studien, die sich mit einer regionalen Betrachtung des Klimawandels und dessen Auswirkungen befassen. An dieser Stelle sollte z. B. die Arbeit für das Land Brandenburg von GERSTENGARBE et al. (2003) „Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven“ erwähnt werden. Für Mecklenburg-Vorpommern hat das MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS (2007) die Studie „Klimaschutz und Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern“ herausgegeben. Das WISSENSCHAFTLICHE ZENTRUM FÜR UMWELTSYSTEMFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT KASSEL hat 2005 den Bericht „Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge“ veröffentlicht. Auch in anderen Bundesländern gibt es ähnliche Untersuchungen zum Klimawandel.

Für Niedersachsen existiert ebenfalls eine Studie zum Klimawandel (KRAUSE 2008). Für einen Teil Niedersachsens (Bereich um Uelzen) ist 2008 der Projektbericht „No Regret – Genug Wasser für die Landwirtschaft?!“ von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) herausgegeben worden. Eine weitere Arbeit, die sich mit den Auswirkungen des Klimawandels in Niedersachsen befasst, ist der Bericht „Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen“ von WIXWAT (2009).

In den 1970er Jahren wurde zum Zusammenhang zwischen Bodenwasserhaushalt und Beregnung ackerbaulich genutzter Flächen Niedersachsens viel geforscht. Diese Untersuchungen führten zur Erstellung eines numerischen Simulationsmodells durch RINGER & STREBEL (1982). Dieses Modell dient als Grundlage für die Berechnung der Beregnungsbedürftigkeit in diesem Bericht.

Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen führt bereits seit etwa zehn Jahren Feldberegnungsversuche durch, um die Feldberegnung zu optimieren. Dabei geht es aber eher um die Frage, wie die Feldberegnung effizienter gestaltet werden kann und welche Fruchtarten besonders beregnet werden sollten (FRICKE & RIEDEL 2008).

Für die zukünftige Entwicklung der Beregnungsbedürftigkeit Niedersachsens gibt es noch keine Prognose.

Es ergeben sich folgende Zielstellungen:

- Analyse der naturräumlichen Gegebenheiten,
- Analyse der Klimadaten des Referenzzeitraums 1961–1990,
- Analyse der für die Zukunft prognostizierten Klimadaten,
- Berechnung der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode,
- Berechnung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit,
- Berechnung der potenziellen Beregnungswassermenge,
- Vergleich der potenziellen Beregnungswassermenge mit der Grundwasserneubildungsmenge.

1.2 Ziele

Das Ziel dieses Berichtes ist es, die Auswirkungen eines möglichen Klimawandels in Bezug auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit in Nordost-Niedersachsen zu untersuchen und einen Ausblick auf den zukünftigen Wasserbedarf ackerbaulich genutzter Flächen zu geben. Es soll im Hinblick auf das Klima, den Bodenwasserhaushalt, die Klimatische Wasserbilanz und die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Flächen ein Überblick über das Gebiet Nordost-Niedersachsen erstellt werden. Daraus soll eine Prognose für die zukünftige potenzielle Beregnungswassermenge resultieren. Um abschätzen zu können, ob der potenzielle Wasserbedarf gedeckt werden kann, soll ein Vergleich mit der Grundwasserneubildungsmenge angestellt werden.

2 Untersuchungsgebiet

Bei der Betrachtung der Beregnungsbedürftigkeit müssen in erster Linie die regionalen klimatischen Verhältnisse und die vorliegenden Bodeneigenschaften berücksichtigt werden. Das Untersuchungsgebiet ist daher nach diesen Aspekten gewählt und analysiert worden.

Abbildung 1 zeigt eine Karte von Niedersachsen mit dem Untersuchungsgebiet (rot umrandet).

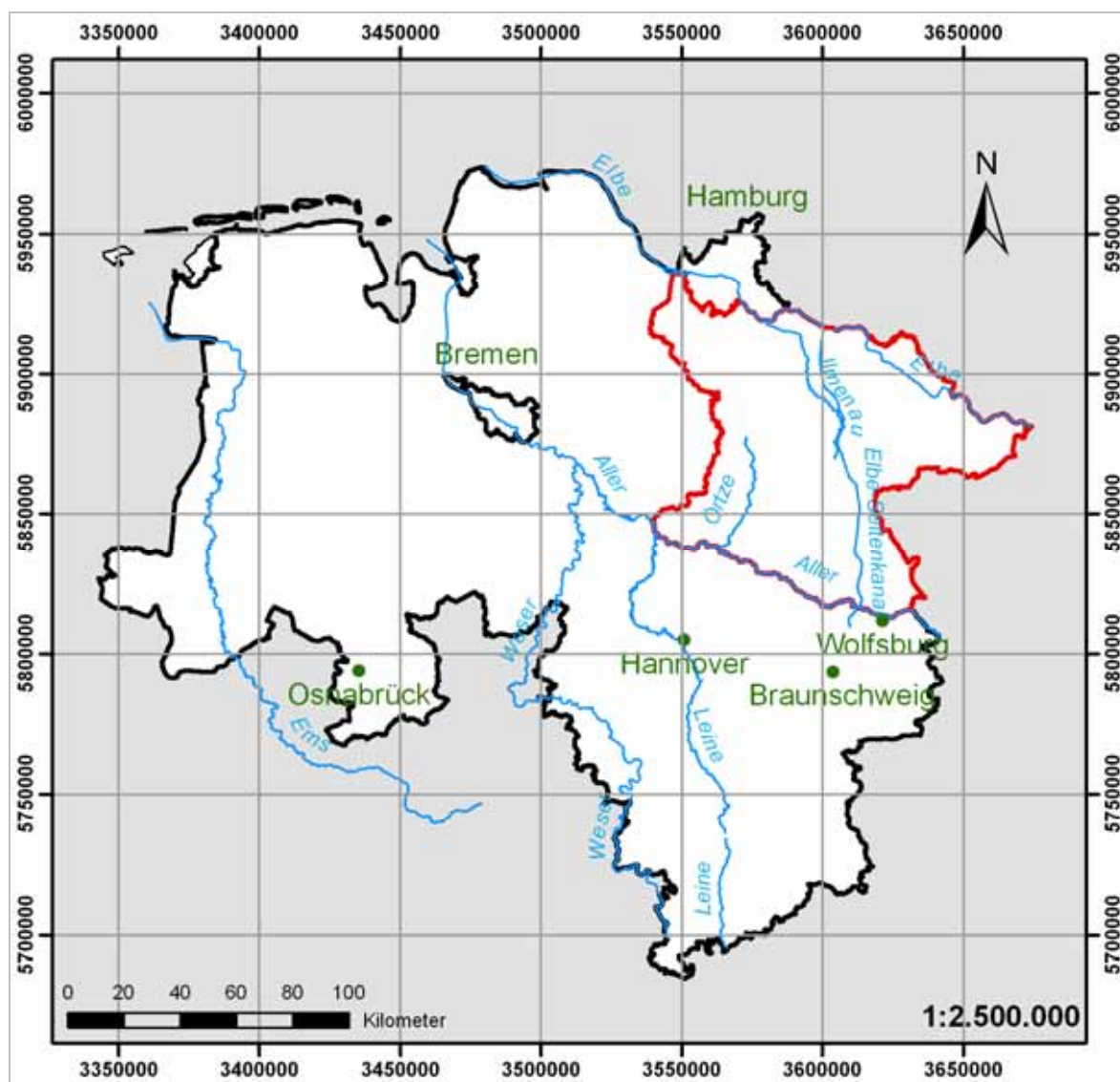


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.

2.1 Abgrenzung und Auswahl

Das untersuchte Gebiet befindet sich vollständig in Niedersachsen (s. Abb. 1). Es verläuft im Norden und Osten entlang der Landesgrenze. Die südliche Begrenzung ergibt sich durch die Aller. Die westliche Gebietsgrenze folgt den Grundwasserkörpergrenzen der Grundwasserkörper Este-Seeve, Ilmenau links und Örtze rechts. Die Grundwasserkörper sind in Abbildung 6 dargestellt. Das gesamte Gebiet umfasst knapp 8400 km². Die größten Städte im Untersuchungsgebiet sind Lüneburg (72 300 Einwohner), Uelzen (34 700 Einwohner) und Winsen an der Luhe (33 700 Einwohner, LSKN 2008). Die Geländehöhen betragen zwischen 0 und knapp 170 m ü. NN. Mit 169 m ü. NN ist der Wilseder Berg die höchste Erhebung im Gebiet (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007). Die größten natürlichen Fließgewässer sind Elbe, Aller und Ilmenau. Eine künstliche Wasserstraße ist der Elbe-Seitenkanal, der das Gebiet in Nord-Süd-Richtung durchzieht. Abbildung 2 zeigt die wichtigsten Fließgewässer im Untersuchungsgebiet.

Es wurde ein Untersuchungsgebiet gewählt, welches für einen möglichen Klimawandel und dessen Auswirkungen besonders empfindlich ist. Nach Umweltbundesamt werden für das ohnehin schon trockene norddeutsche Tiefland bis zu 50 % weniger Niederschläge erwartet (UBA 2007). In ELBRACHT, MEYER & REUTTER (2007) wird die Geest, die im Untersuchungsgebiet ungefähr dem Gebiet der Lüneburger Heide entspricht und somit ca. 70 % an der be-

trachteten Fläche aufweist, als „[...] eine höher gelegene, trockene, teilweise unfruchtbare Altmoränenlandschaft mit vorwiegend sandigen Böden [...]“ beschrieben. Der Begriff Geest bedeutet „unfruchtbares Land“ oder „hoch gelegener, trockener, sandiger Boden“ (SEEDORF & MEYER 1992). Laut dem Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK 1984) zählt Nordost-Niedersachsen, bedingt durch „Örtliche Niederschlagsverhältnisse und ausgedehnte leichte Böden“, [...] zu den „Hauptgebieten der Beregnung in der Bundesrepublik Deutschland“. Das gewählte Gebiet ist aus landwirtschaftlicher Sicht sehr wichtig, da viele Flächen intensiv ackerbaulich genutzt werden, obwohl sich deren Eignung dafür teilweise in Grenzen hält. „Neue Düngungs- Landbautechniken, Züchtungserfolge beim Getreide und Vieh haben zu erheblichen Ertragssteigerungen geführt, so dass heute die Geest zu den größten Überschussgebieten an landwirtschaftlichen Produkten gehört“ (SEEDORF & MEYER 1992). Für zukünftige Klimaentwicklungen ist dieser Bereich Niedersachsens sehr interessant, da viele der Ackerflächen während der Vegetationsperiode bereits heute zusätzlich beregnet werden müssen. „Die Region Nordost-Niedersachsen bildet das größte zusammenhängende Beregnungsgebiet Deutschlands“ (LWK 2008). So werden z. B. in den Landkreisen Uelzen und Gifhorn, die den zentralen und südöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes ausmachen, ca. 85 % der Ackerflächen zusätzlich beregnet (LWK 2008).

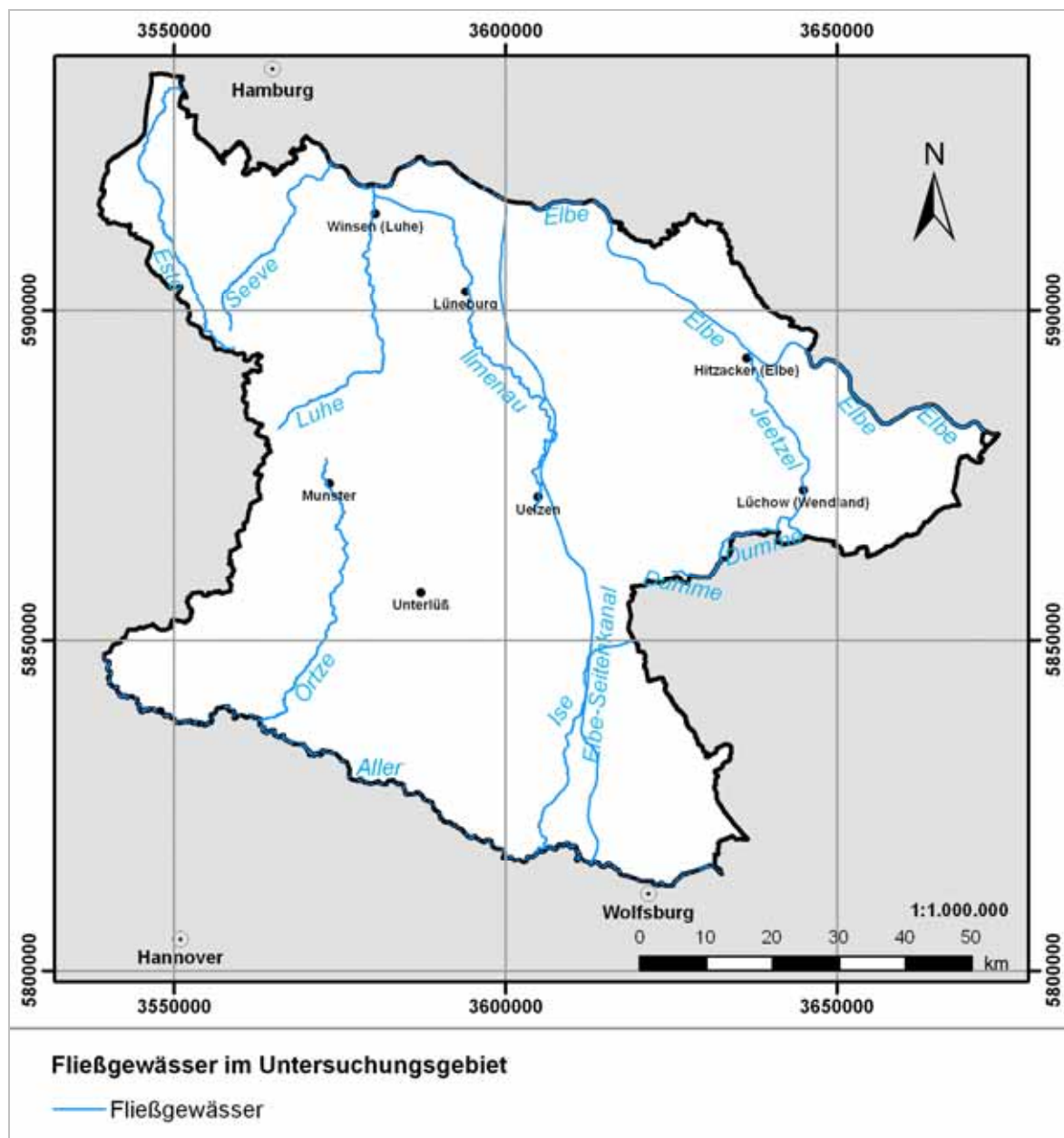


Abb. 2: Fließgewässer (nach NLWKN 2008, verändert).

2.2 Naturräumliche Gliederung

Naturräumlich ist das Untersuchungsgebiet in Hydrogeologische Großräume, Räume und Teilräume gegliedert. „Hydrogeologische Großräume sind große Bereiche der Erdkruste mit ähnlichen hydrogeologischen Eigenschaften und ähnlichen Grundwasserverhältnissen, die auf derselben geologischen Entstehungsgeschichte und einem einheitlichen tektonischen Baumuster beruhen“ (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007). Der Hydrogeologische Großraum ist in diesem Fall das „Nord- und mitteldeutsche Lockergesteinsgebiet“ (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007).

Die nächste Untereinheit sind die Hydrogeologischen Räume. „Hydrogeologische Räume sind Bereiche der Erdkruste, deren hydrogeologische Eigenschaften, hydraulische Verhältnisse und Grundwasserbeschaffenheit aufgrund ähnlichen Schichtenaufbaus, ähnlicher geologischer Struktur und ähnlicher Morphologie im Rahmen einer festgelegten Bandbreite einheitlich sind. Die Grenzziehung berücksichtigt, wo hydrogeologisch sinnvoll, die naturräumliche Gliederung der Physischen Geographie“ (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007). Die hydrogeologischen Räume des Untersuchungsgebietes sind das „Nord- und mitteldeutsche Mittelpleistozän“ und die „Niederungen im nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsgebiet“ (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007).

Die Hydrogeologischen Räume werden wiederum in Hydrogeologische Teilräume gegliedert. „Hydrogeologische Teilräume sind einzelne oder mehrere Hydrogeologische Einheiten, die einen regional einheitlichen Bau aufweisen. Die Grenzziehung berücksichtigt, wo hydrogeologisch sinnvoll, die naturräumliche Gliederung der physischen Geographie“ (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007). In Abbildung 3 sind die hydrogeologischen Teilräume des Untersuchungsgebietes dargestellt.

Die hydrogeologischen Räume und Teilräume sind gegliedert in:

- Nord- und mitteldeutsches Mittelpleistozän;
 - Altmark mit Colbitz-Letzlinger Heide,
 - Hühbecker, (sic)
 - Langendorfer Geest,
 - Lüneburger Heide Ost,
 - Lüneburger Heide West,
 - Zevenener Geest.
- Niederungen im nord- und mitteldeutschen Lockergesteinsgebiet;
 - Drömling und Ohre-Niederung,
 - Elbe-Niederung,
 - Elbmarsch,
 - Mittelweser-Aller-Leine-Niederung.

In Niedersachsen entstand die Geest während des Mittelpleistozäns (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007); im Folgenden wird daher der Begriff Geest verwendet, wenn es sich um mittelpleistozäne Ablagerungen handelt.

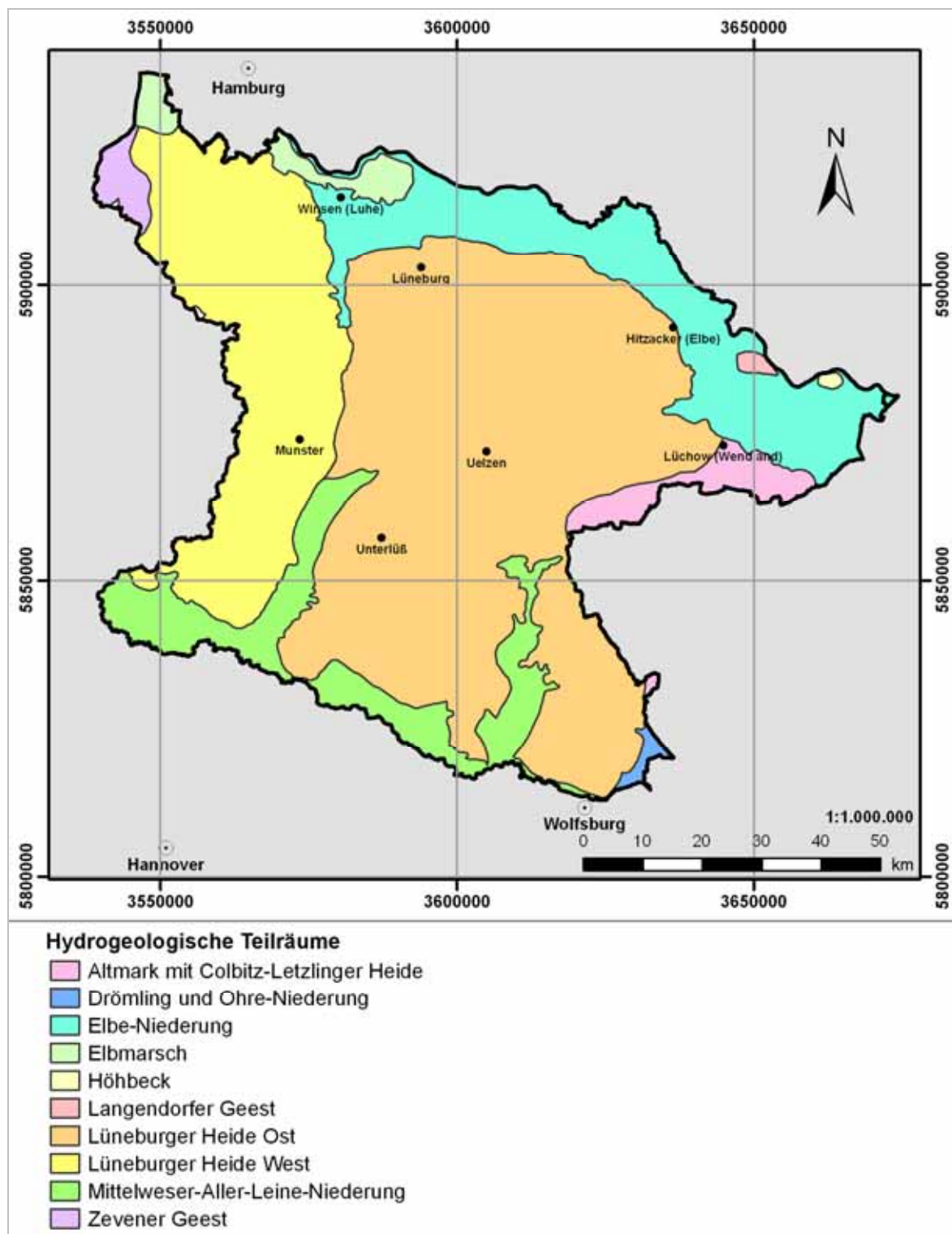


Abb. 3: Hydrogeologische Teilräume (nach ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007, verändert).

2.3 Geologie

Das Gebiet der Geest ist durch die Eisvorstöße der Elster- und der Saale-Kaltzeit stark geprägt worden. Die aufgeschütteten sedimentären Ablagerungen sind dementsprechend glazialer Natur und bilden im Vergleich zu den Marschen und Niederungen die typischen morphologischen Erhöhungen der Geestlandschaft. Die Abgrenzung zwischen den Niederungen und der Geest ergibt sich, neben morphologischen Merkmalen, aus dem Materialwechsel ihrer Sedimente. Die Niederungen der Elbe und der Aller entsprechen im Wesentlichen den weichselzeitlichen Entwässerungsrinnen (Urstromtälern). In ihnen sind vorwiegend fluviatile Ablagerungen zu finden. Auch die Marsch grenzt sich, wie schon beschrieben, morphologisch gegen die Geest ab. Sie liegt meist im

Höhenbereich um NN und damit deutlich tiefer als die Geest. Es herrschen marine bis brackische Sedimente vor. Die Marschen unterscheiden sich von den Niederungen durch marin entstandene Sedimente, die dort nicht vorkommen (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007). In Abbildung 5 sind die geologischen Einheiten des Untersuchungsgebietes dargestellt.

Das Niedersächsische Tiefland ist ein Gebiet mit meist nur geringen Reliefunterschieden. Lokal können jedoch Hügel aus der sonst flachen Landschaft heraustreten. Die Hügel sind Reste von Endmoränen, die während der Eiszeiten aufgeschoben und abgelagert worden sind (HEUNISCH et al. 2007). Dazu gehört z. B. im Untersuchungsgebiet der Wilseder Berg mit 169 m ü. NN (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007, SEEDORF & MEYER 1992).



Abb. 4: Legende zur Geologischen Übersichtskarte 1 : 500 000 (nach GÜK 500, verändert).

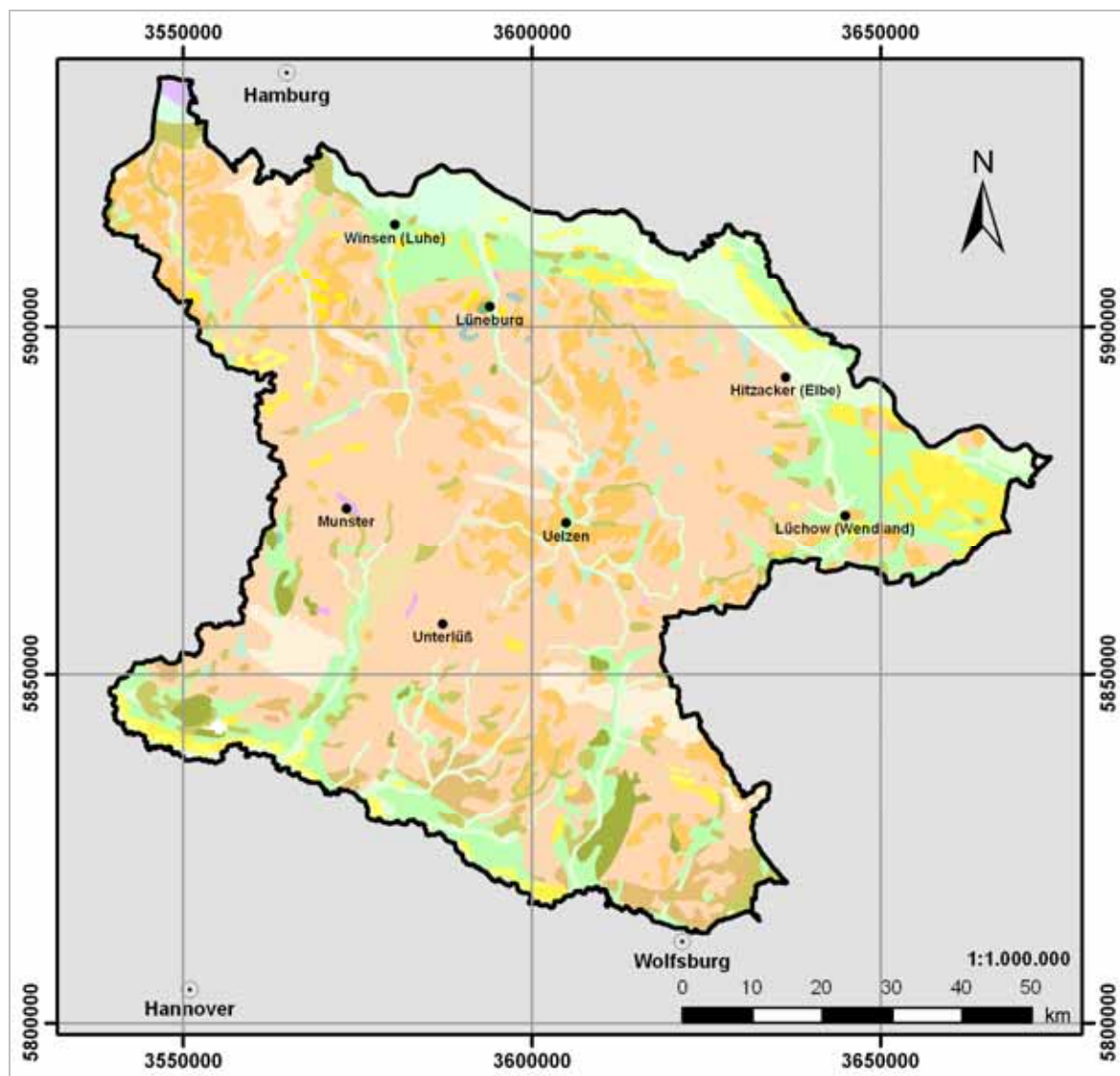


Abb. 5: Geologische Übersichtskarte im Maßstab 1 : 500 000 (nach GÜK 500, verändert).

2.4 Hydrogeologie

In den Niederungen liegt der Grundwasserleiter oberflächennah und offen eingebettet in quartäre Sande und Kiese. Eine schützende Deckschicht ist nur lokal in Form von Auenlehm vorhanden. Ein tieferer Grundwasserleiter ist nur regional verbreitet.

Die Geest verfügt über zwei Grundwasserleiter: Das obere Stockwerk bilden pleistozäne Schmelzwasserablagerungen der Elster- und Saale-Kaltzeit, der tiefere Grundwasserleiter liegt (im Untersuchungsgebiet) in miozänen Braunkohlesanden. In der Lüneburger Heide kommen noch weitere, zum Teil schwebende Aquifere hinzu. Der Flurabstand kann im Bereich der Geest im Nordosten Niedersachsens sogar bis zu 50 m betragen. Die Lüneburger Heide ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht ein sehr wichtiges Gebiet, da das Grundwasser als Trinkwasser sehr gut geeignet ist und auch die Entnahmebedingungen günstig sind (ELBRACHT, MEYER & REUTTER 2007).

Laut EG-WRRL (2005) werden Grundwasserkörper wie folgt beschrieben: „Als hydraulische Grenzen wurden die oberirdischen Wasserscheiden als oberstromige und die relevanten Vorfluter als unterstromige Begrenzung herangezogen. Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Wasserscheiden der oberirdischen Gewässer großräumig auch die unterirdischen Wasserscheiden widerspiegeln.“

Das Untersuchungsgebiet umfasst die nach EG-WRRL (2005) eingeteilten Grundwasserkörper

- Ilmenau Lockergestein rechts,
- Ilmenau Lockergestein links,
- Ise Lockergestein rechts,
- Ise Lockergestein links,
- Örtze Lockergestein rechts,
- Örtze Lockergestein links

sowie den niedersächsischen Teil überregionaler Grundwasserkörper

- Elbe Amt Neuhaus,
- Este-Seeve-Lockergestein,
- Jeetzel Lockergestein rechts,
- Jeetzel Lockergestein links,
- Ohre-Tanger,
- Zehrengaben.

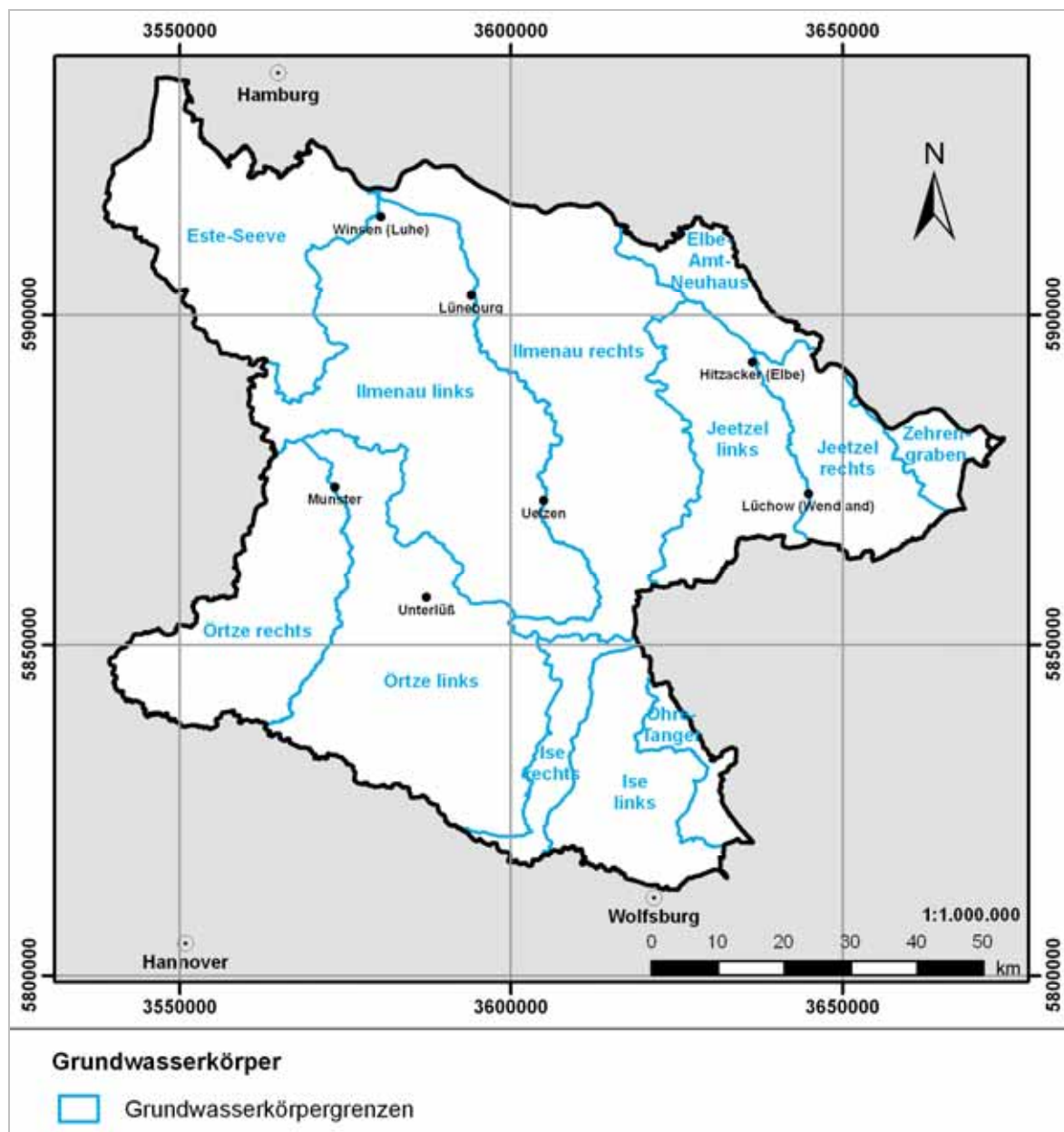


Abb. 6: Grundwasserkörper (nach EG-WRRL 2005, verändert).

2.5 Landnutzung

Die Landnutzung ist geprägt durch Wald (38 %), Acker (38 %), Grünland (23 %) und Gewässer (1 %, BÜK 50n). Von den insgesamt 8362 km² nehmen Ackerflächen 3178 km² ein. In Abbildung 7 ist die Verteilung der Nutzungsarten dargestellt.

Grünlandflächen liegen häufig in Niederungsbereichen, auf grundwasserbeeinflussten Bodentypen wie Gleyen, Auenböden oder Mooren. Die Gebiete, in denen Moore verstärkt vertreten sind, weisen häufig Grünlandstandorte mit Milchviehhaltung auf (LWK 2008). In den einstigen Urstromtälern von Elbe und Aller können neben Wiesen und Weiden auch wertvolle Ackerflächen auftreten (SEEDORF & MEYER 1992).

Wald- und Ackerflächen machen den größten Teil der Geest aus. Die Waldflächen befinden sich hauptsächlich auf podsoligen Böden. „Reine Podsole sind [...] vorwiegend mit Kiefern aufgeforstet“ (LWK 2008). Diese Areale decken sich mit den ehemaligen Sanderflächen aus der Elster- und Saale-Kaltzeit (SEEDORF & MEYER 1992). Die Endmoränenzüge des Gebietes sind ebenfalls mit Kiefern bewaldet (SEEDORF & MEYER 1992).

Ackerflächen wurden oftmals auf Braunerden oder Parabraunerden angelegt, wobei die Parabraunerden ein höheres Ertragspotenzial als die Braunerden aufweisen (LWK 2008). Die meisten Ackerflächen gründen auf ehemaligen Grundmoränenflächen (SEEDORF & MEYER 1992).

2.6 Böden

Die Böden der Geest sind stark eiszeitlich geprägt und liegen daher in dieser Bodenregion zumeist als Lockersedimente (KUES & OELKERS 1996) vor. Sand und Lehm sind die häufigsten Bodenarten der Geest (SEEDORF & MEYER 1992). Die Grundmoränen der Elster- und Saale-Kaltzeit hinterließen lehmige Böden und große Steine (Findlinge). In den Endmoränen wurden Sand und Kies aufgeschüttet, und die Sander hinterließen weite Sandflächen. Im Gebiet der Geest fehlen den Böden meist feinere Gemengteile, die sich positiv auf den

Nährstoff- und Wasserhaushalt auswirken würden. Der mittlere Bodenwert der Geest liegt nur bei 30 von 100 Punkten (SEEDORF & MEYER 1992).

Podsol, Braunerde und Parabraunerde sind die häufigsten Bodentypen in der Geest. Sie nehmen fast den gesamten zentralen Teil des Untersuchungsgebietes ein. In den Niederungen sind verstärkt die Bodentypen Gley, Pseudogley, Auenböden sowie Erd-Hochmoor und Erd-Niedermoor vertreten. In den Marschen herrschen Kleimarsch, Dwogmarsch und Organomarsch vor.

Podsol

Podsole sind zumeist sekundäre Bildungen aus Braunerden oder Parabraunerden. In Nordwestdeutschland überlagern sie sandige Sedimente. In der Lüneburger Heide wurde die Podsolierung durch die Verdrängung des Waldbestandes infolge verstärkter landwirtschaftlicher Nutzung der Flächen und durch Plaggenwirtschaft begünstigt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Podsole gelten allgemein als beregnungsbedürftig, weisen eine geringe Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität und ein geringes Ertragspotenzial auf (NLFB 1997). Durch hohe Dünger- und Wassergaben können jedoch hohe landwirtschaftliche Erträge erzielt werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Braunerde

Ausgangsgesteine der Braunerden in Norddeutschland sind pleistozäne und holozäne Sande. Die Körnung der Braunerde umfasst Sand, Schluff und Lehm. Der Anteil an Grobporen ist relativ hoch, woraus eine hohe Wasserleitfähigkeit resultiert (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Braunerden können gute ackerbauliche Standorte abgeben, wenn sie zusätzlich mit Dünger und genügend Wasser versorgt werden (SEEDORF & MEYER 1992). Eine Weiterentwicklung von Braunerden erfolgt oft in Richtung Podsol, aber auch zum Gley und Pseudogley (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

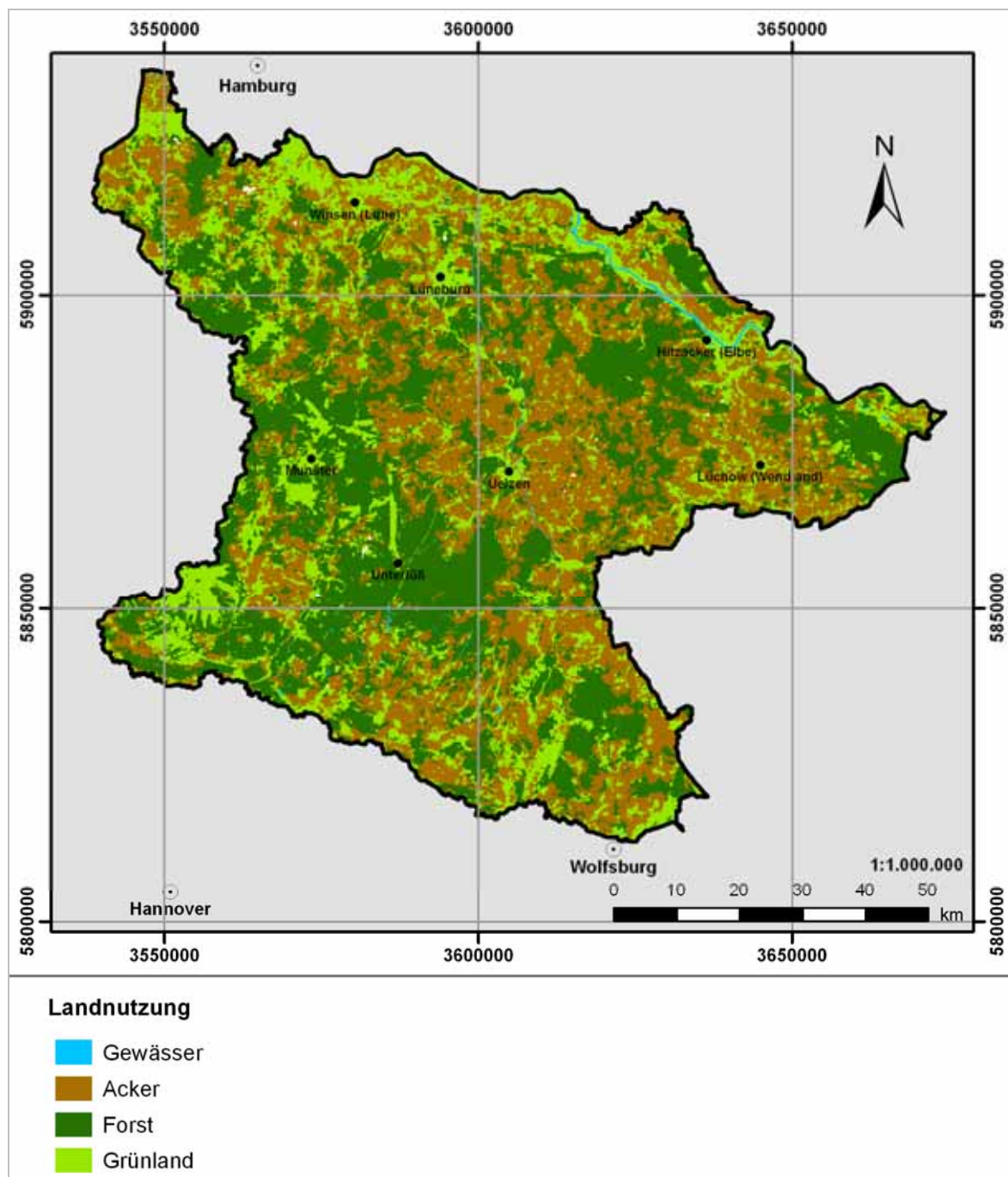


Abb. 7: Landnutzungsarten (nach BÜK 50n, verändert).

Parabraunerde

Parabraunerden entwickeln sich zumeist aus mergeligen Lockergesteinen, carbonatfreien Lehmen oder lehmigen Sanden. Sie treten in Mitteleuropa vor allem in Löss- und Moränenlandschaften auf. Parabraunerden weisen eine Tonverlagerung vom Al- in den Bt-Horizont auf. Als Folge starker Versauerung können sich Parabraunerden zu Podsol-Parabraunerden und Podsolon weiterentwickeln. Generell gelten Parabraunerden als gute Ackerstandorte (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). In der Geest müssen Parabraunerden zusätzlich beregnet und gedüngt werden (SEEDORF & MEYER 1992).

Gley

Der zu den Grundwasserböden gehörende Gley ist für die landwirtschaftliche Nutzung ungeeignet. Um Gleye ackerbaulich bewirtschaften zu können, muss zuvor eine Grundwasserabsenkung (Dränung) durchgeführt werden. Werden sie landwirtschaftlich genutzt, sind besonders wasserbedürftige Kulturen wie z. B. Mais zu empfehlen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Pseudogley

Mergelige bis tonreiche Gesteine mit geringer Wasserleitfähigkeit sind das Ausgangsgestein der primären Pseudogleye. Sekundäre Pseudogleye entstehen oft aus Parabraunerden. Pseudogley gehört zu den Stauwasserböden. Ein periodischer Wechsel von Stauwasser und Austrocknung ist typisch. Durch die besonders im Frühjahr einsetzende Vernässung entsteht Sauerstoffmangel, welcher eine frühzeitige landwirtschaftliche Nutzung verhindert (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). In der Vegetationsperiode hingegen ist zusätzliche Beregnung nötig, um Landwirtschaft zu betreiben. Nährstoff- und Wasserspeicherkapazität sowie Ertragspotenzial befinden sich im mittleren Bereich (NLFB 1997).

Braunauenboden

Auenböden treten in Flusstälern auf und entstehen aus den Sedimenten der Fluss- und Bachauen. Im norddeutschen Raum sind besonders sandige Auenböden vertreten. Sie sind gekennzeichnet durch periodische Überflutung. Die meisten Auenböden sind sauerstoff- und nährstoffreich, da sie mit dem Grundwasser in Kontakt stehen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Sie werden in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt als Grünland oder Ackerflächen genutzt (SEEDORF & MEYER 1992).

Erd-Niedermoor und Erd-Hochmoor

Niedermoore entstehen im subhydrischen Bereich. Hochmoore entwickeln sich unabhängig vom Grundwasser. Erd-Niedermoore und Erd-Hochmoore sind durch Entwässerung und Sackung vererdete Moore (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). In Niedersachsen werden 96 % der Niedermoore für die Land- und Forstwirtschaft genutzt. Die Hochmoore werden zu rund 65 % landwirtschaftlich genutzt (SEEDORF & MEYER 1992).

Plaggenesch

Plaggenesche gehören zu den anthropogenen Böden. Bis vor ca. 50–100 Jahren wurde die Plaggenwirtschaft noch durchgeführt. Dabei wurden mit dem Spaten rechteckige Stücke des mit Heide oder Gras bewachsenen Oberbodens abgetragen und in den Stallungen der Tiere ausgelegt. Angereichert mit dem Mist der Tiere wurden die Soden auf die Böden (meist Podsole und Braunerden) in der Nähe der Ortschaften aufgebracht. So konnte sowohl die Wasser- als auch die Nährstoffbindungskapazität erhöht werden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002).

Die Hauptbodentypen im Untersuchungsgebiet sind in Abbildung 8 dargestellt. Wie erwartet, treten die blauen Farben, die Marschen, Gleye und Auenböden kennzeichnen, besonders in den Gebieten auf, die um die Fließgewässer liegen. In den Geestgebieten dominieren Podsol, Braunerde und Parabraunerde.

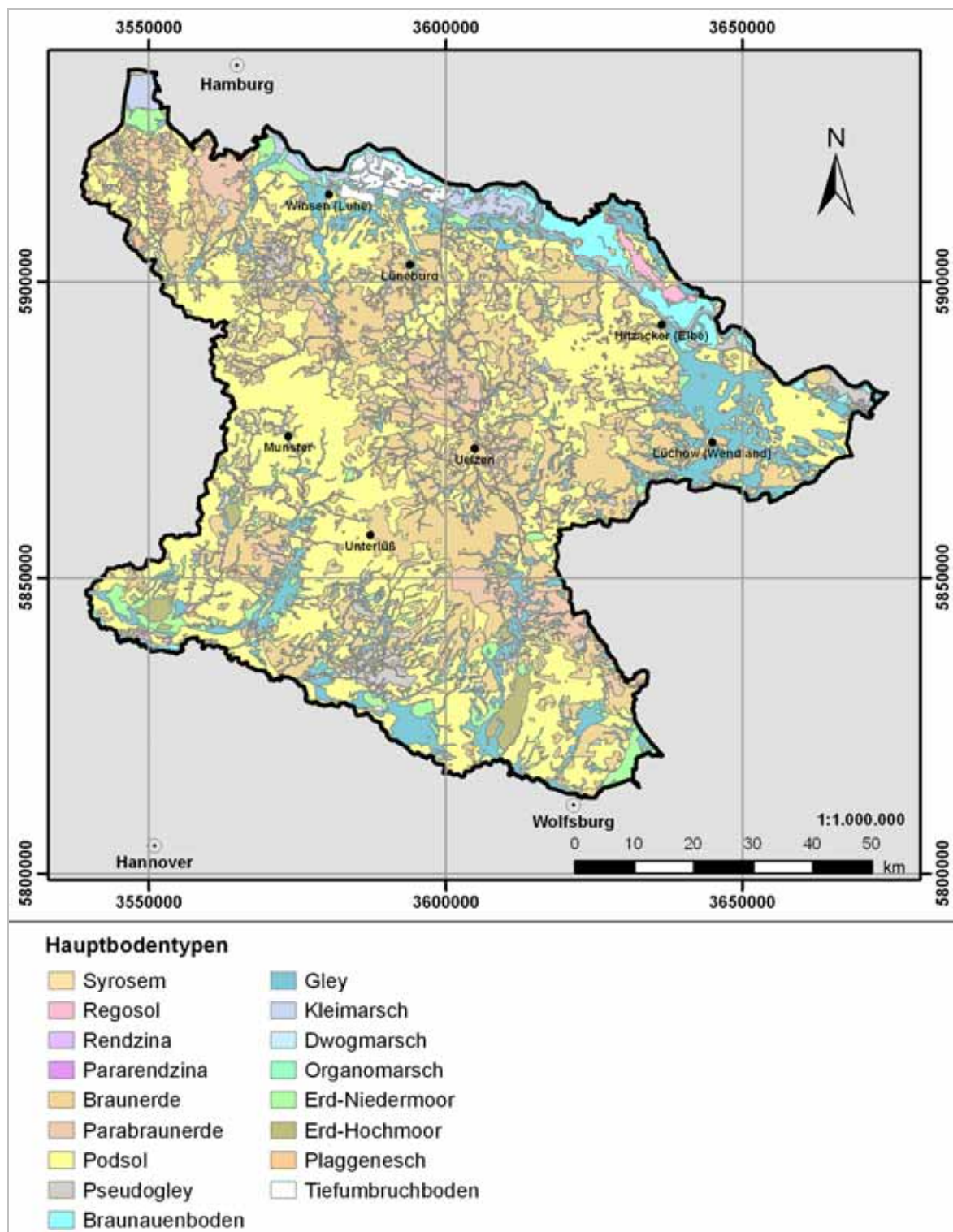


Abb. 8: Hauptbodentypen (nach BÜK 50n, verändert).

2.7 Klima

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Norddeutschen Tiefebene und ist durch maritimes Klima geprägt. Nach Osten beginnt der Übergang zu kontinentalen Verhältnissen (LWK 2008). Der maritime Einfluss aus Nordwesten bringt milde Winter und niederschlagsreiche Sommer mit sich. Im Sommer kann der kontinentale Klimateinfluss aus dem Osten zu Hitze und Trockenheit führen (SEEDORF & MEYER 1992).

Die mittlere Jahrestemperatur liegt im Untersuchungsgebiet bei ca. 8,6 °C. Die mittlere Tem-

peratur im Sommer beträgt ca. 14 °C, im Winter sind es etwa 3,5 °C. Der mittlere Niederschlag schwankt im Untersuchungsgebiet zwischen 500 und 700 mm/a. Die Monatsmittel variieren zwischen ca. 30 und 70 mm.

In den folgenden Abbildungen sind die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) erhobenen Klimadaten für 1961–1990 benutzt worden.

In Abbildung 9 ist der mittlere Jahresgang der Temperatur für den Zeitraum 1961–1990 für drei repräsentative Klimastationen dargestellt. Die drei Klimastationen Uelzen, Lüneburg und Lüchow zeigen sehr ähnliche Temperaturkurven.

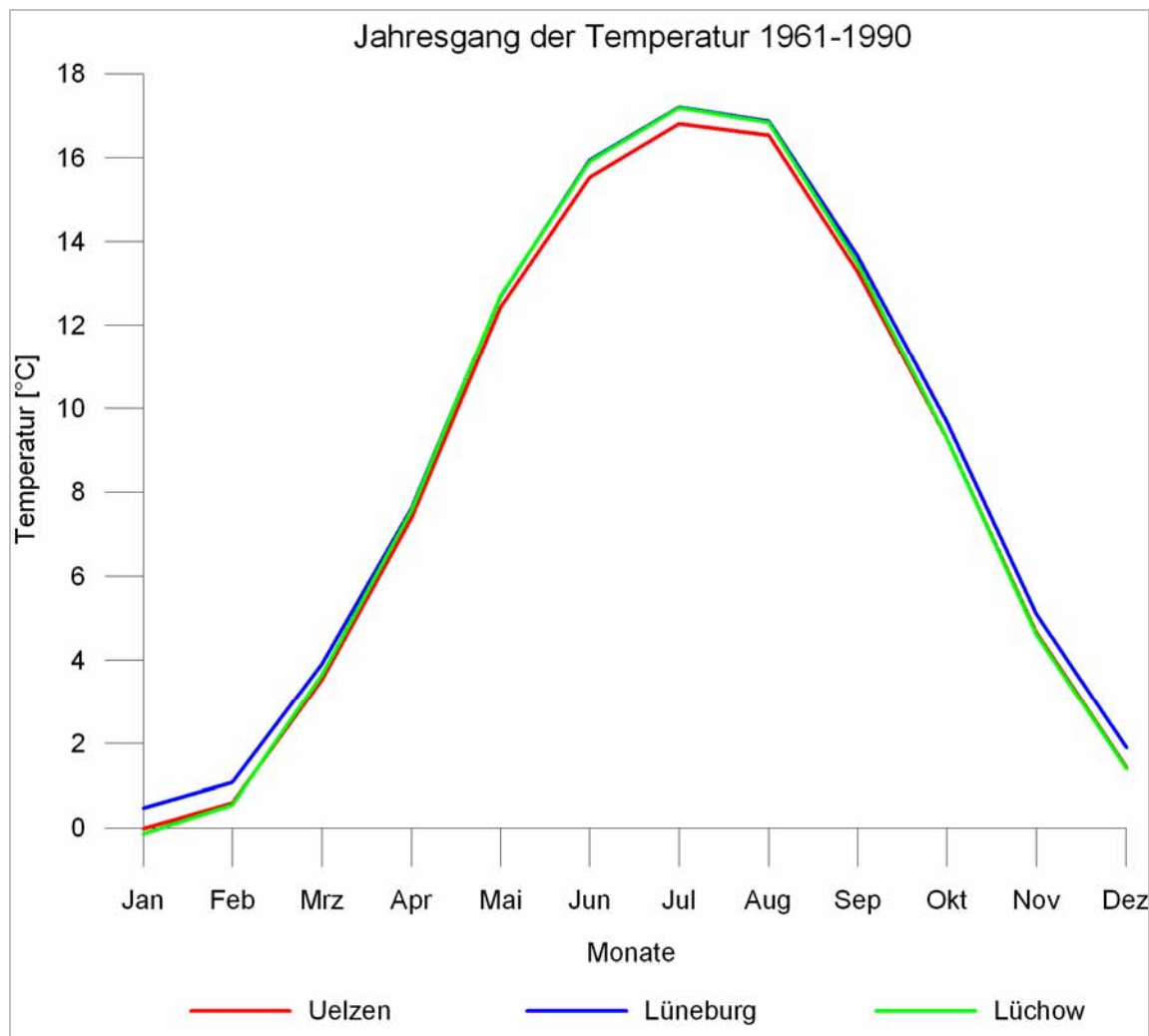


Abb. 9: Mittlerer Jahresgang der Temperatur (1961–1990) für die Klimastationen Uelzen, Lüneburg und Lüchow.

Abbildung 10 informiert über den mittleren Jahresgang des Niederschlags von 1961–1990 für die Klimastationen Uelzen, Lüneburg und Lüchow. Daraus ist ersichtlich, dass die Monate Juni, Juli und August die niederschlagsreichsten Monate des Jahres sind. Februar und Oktober weisen die geringsten Niederschläge auf.

Die Monate November, Dezember und Januar liegen auf einem mittleren Niveau. Aus der Abbildung geht hervor, dass die Klimastation Uelzen die höchsten und die Station Lüchow die geringsten Niederschläge aufweist. Die Niederschlagsmenge nimmt mit zunehmend kontinentalerem Klima von Westen nach Osten ab.

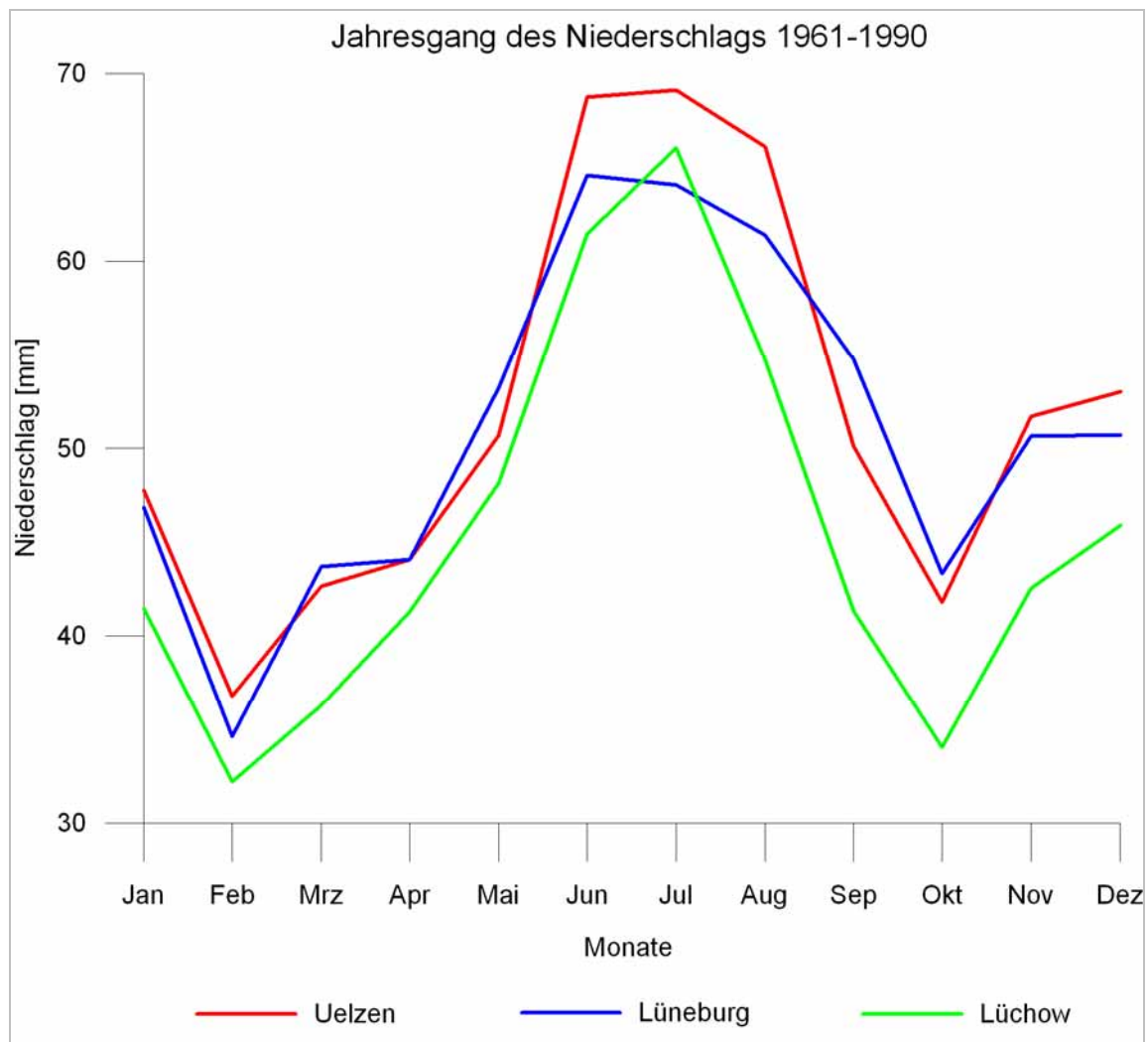


Abb. 10: Mittlerer Jahresgang des Niederschlags (1961–1990) für die Klimastationen Uelzen, Lüneburg und Lüchow.

Eine detaillierte Beschreibung des aktuellen Klimas erfolgt in Kapitel 4.1.

3 Klimawandel

In den letzten 100 Jahren ist die globale Mitteltemperatur um $0,7 \pm 0,2$ °C angestiegen. In Europa ist die Erwärmung sogar noch stärker gewesen, hier hat sich die Mitteltemperatur um 0,95 °C erhöht. Die Temperaturen sind dabei im Winter stärker angestiegen als im Sommer. Für die kommenden 100 Jahre bis 2100 wird ein globaler Temperaturanstieg von 1,4–5,8 °C je nach Breitenlage erwartet. Für Europa liegt die prognostizierte Zunahme bei 2,0–6,3 °C (EEA 2004). Das Umweltbundesamt (UBA 2006) rechnet für Deutschland bis zum Jahr 2100 mit einem Temperaturanstieg zwischen 2,5 und 3,5 °C.

Allgemein bedeuten höhere Temperaturen für die Landwirtschaft, neben der zunehmenden Beregnungsbedürftigkeit, einen früheren Beginn der phänologischen Phasen sowie eine längere Vegetationsperiode (UBA 2005, IPCC 2007). Dies kann, je nach Fruchtart, sowohl positive als auch negative Folgen haben.

3.1 Globale Klimamodelle

Mit der Veröffentlichung des vierten Sachstandsberichts zu Klimaänderungen 2007 des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wurde die Grundlage zur Berechnung der globalen Klimaänderungen geschaffen. Für die deutschen IPCC-Berechnungen wurden globale Klimamodelle des Max-Planck-Instituts für Meteorologie (MPI-M) genutzt. Das sogenannte IPCC-Klimamodell ist das Basismodell, das sich aus dem Atmosphären- und Landoberflächenmodell ECHAM5 und dem Ozeanmodell MPI-OM zusammensetzt (ROECKNER et al. 2006). Im ECHAM5-Modell ist zusätzlich ein Abflussmodell (HD) enthalten. Das Ozeanmodell schließt auch die Meereisbedeckung mit ein. In Abbildung 11 ist der Aufbau schematisch dargestellt. Das globale Klimamodell ECHAM5 basiert auf dem „spectral weather prediction model“ des European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) und wurde am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelt (ROECKNER et al. 2003). Das Atmosphären- und Landoberflächenmodell findet Anwendung in der Untersuchung von Auswirkungen in horizontaler und vertikaler Auflösung saisonal durchschnittlichen Klimas (ROECKNER et al.

2004). Das Atmosphärenmodell ECHAM5 besitzt einen Gitterabstand von etwa 200 km am Äquator, das entspricht einer horizontalen Auflösung von $1,875^\circ$. Beim Ozeanmodell MPI-OM entspricht der Gitterabstand etwa 160 km am Äquator und einer Auflösung von $1,5^\circ$ (ROECKNER et al. 2006). In dem Modell können die anthropogenen sowie die natürlichen klimarelevanten Einflüsse, wie z. B. Vulkaneruptionen oder Variationen der Sonneneinstrahlung, berücksichtigt werden (ROECKNER et al. 2006).

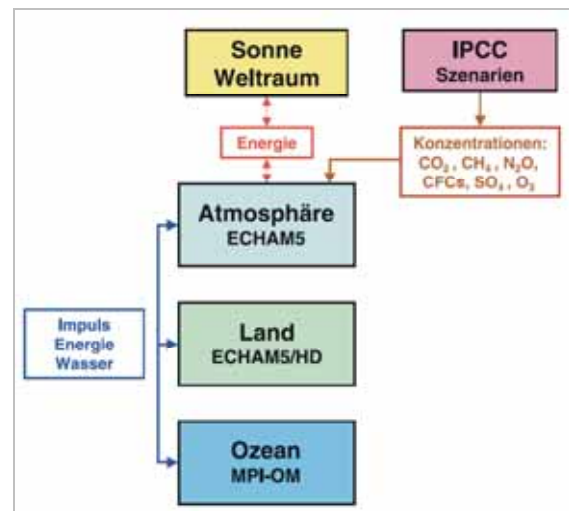


Abb. 11: Schematische Darstellung des ECHAM5-MPI-OM-Modells (ROECKNER et al. 2006).

Seit 2005 sind die Rechnungen der SRES-Szenarien (Special Report on Emissions Scenarios) A1B, A2 und B1 des Modells ECHAM5/MPI-OM T63L31 für den Zeitraum 1961–2100 (bis 2000 als control run) verfügbar (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

3.2 Klimaszenarien

Die Zukunftsprognosen des IPCC sind in vier SRES-Szenarien (Special Report on Emissions Scenarios) unterteilt, die sich in der zukünftigen Entwicklung der ausgestoßenen Emissionen, der demographischen Entwicklung, dem Wirtschaftswachstum, der Entwicklung der Technologien und des Energiesystems unterscheiden. Von diesen vier Szenario-„Familien“ (A1, A2, B1, B2) wird das A1-Szenario in drei Gruppen differenziert (A1FI, A1T, A1B; IPCC 2000).

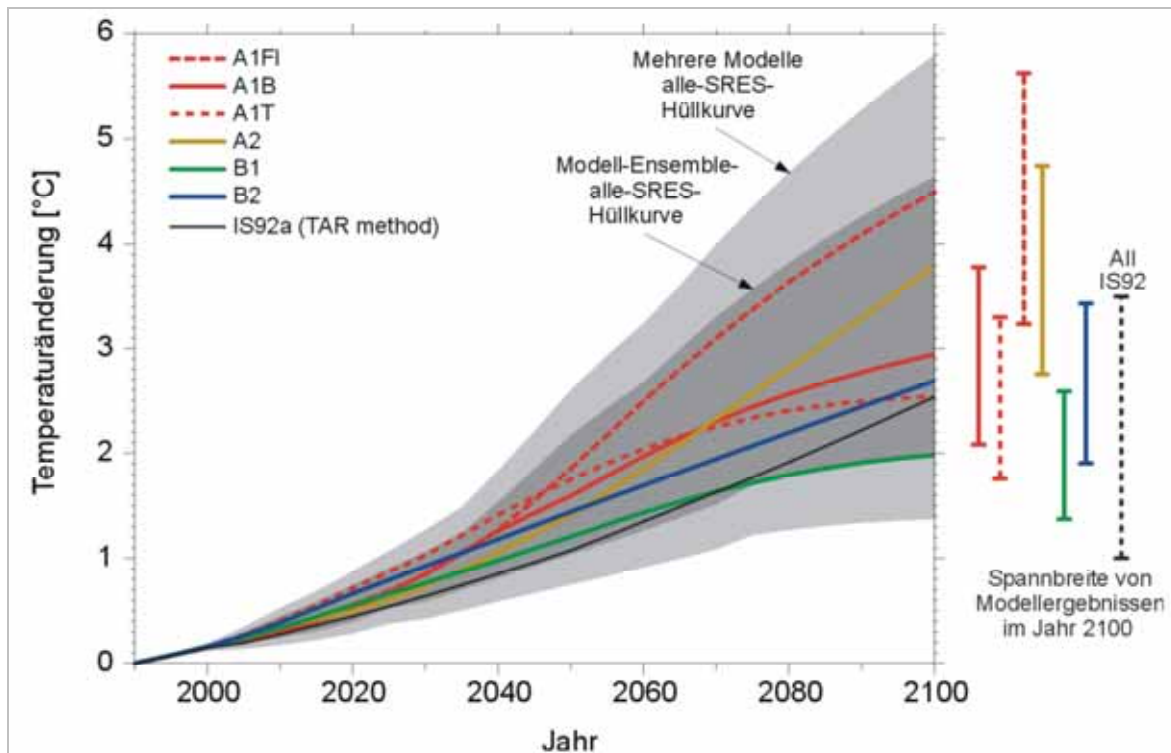


Abb. 12: Bandbreite der möglichen mittleren globalen Temperaturänderungen im 21. Jahrhundert (GERSTENGARBE et al. 2003).

Für den vorliegenden Bericht ist das A1B-Szenario gewählt worden, da dieses einen mittleren Verlauf zeigt. Bei der Betrachtung ganz Deutschlands steigt die mittlere Temperatur bis zum Ende des Jahrhunderts im B1-Szenario um ca. 2,5 °C, im A1B-Szenario um etwa 3,7 °C und im A2-Szenario um ca. 4,1 °C im Vergleich zu 1961–1990 an (ROECKNER et al. 2006).

A1-Szenario

Es wird ein bis zur Mitte des Jahrhunderts ansteigendes und danach abnehmendes Weltbevölkerungswachstum, einhergehend mit einem sehr schnellen Wirtschaftswachstum und der zügigen Einführung neuer und effizienterer Technologien erwartet. Wichtige Annahmen sind die Annäherung von Regionen und der Rückgang regionaler Unterschiede des Pro-Kopf-Einkommens. Das A1-Szenario wird nach unterschiedlichen Technologien im Energiesystem in drei Gruppen differenziert:

- fossilintensiv (A1FI),
- nichtfossile Energiequellen (A1T),

- ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B).

„Wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotentials für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien“ (IPCC 2000).

Für das A1B-Szenario wird damit gerechnet, dass die CO₂-Emissionen bis Mitte des Jahrhunderts zunehmen und bis zum Jahr 2100 leicht abnehmen (UBA 2007).

A2-Szenario

Das A2-Szenario beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Augenmerk liegt auf Autarkie und der Erhaltung lokaler Identitäten. Die Unterschiede in der Geburtenrate der einzelnen Regionen nähern sich nur sehr langsam an, daraus resultiert eine stetige Zunahme der Weltbevölkerung. Die wirtschaftliche Entwicklung findet hauptsächlich regional statt. Wirtschaftswachstum und technologischer Wandel

stellen sich nur sehr langsam ein. Auch das Pro-Kopf-Einkommen steigt nur wenig an.

B1-Szenario

Beschrieben wird eine sich annähernde Welt, deren demographische Entwicklung der des A1-Szenarios entspricht, also ein Bevölkerungswachstum mit Maximum in der Mitte des Jahrhunderts und danach rückläufigem Trend. Aus wirtschaftlicher Sicht erfolgt ein schneller Wandel zu einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, die den Materialverbrauch herabsetzt. Es findet die Einführung sauberer und ressourceneffizienter Technologien statt. Das Hauptthema sind „globale[n] Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen“ (IPCC 2000).

B2-Szenario

Im B2-Szenario liegt der „Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, sozial und umweltgerechte Nachhaltigkeit“ (IPCC 2000). Die demographische Entwicklung ist stetig, aber weniger stark ansteigend, als im A2-Szenario.

3.3 Regionale Klimamodelle

Regionale Klimamodelle dienen dazu, auf Grundlage der globalen Modelle kleinere Gebiete genauer erfassen zu können. Die Auflösung der regionalen Modelle ist wesentlich größer als die der globalen Modelle. Für regionale Modelle gibt es verschiedene Methoden der Regionalisierung.

Dynamische Modelle

Zu den dynamischen Modellen zählen z. B. REMO und CLM. REMO (Regional Modell) ist ein „[...] atmosphärisches Zirkulationsmodell, das die relevanten physikalischen Prozesse dynamisch berechnet“ (UBA 2008a). Es ist ein Gitterpunktmodell, das die Ergebnisse für ein Raster berechnet (JACOB & PODZUN 1997, UBA 2008a). Ein weiteres dynamisches Modell ist das CLM (Climate Limited Area Model; CLM COMMUNITY 2008, HOLLWEG et al. 2008).

Statistische Modelle

WETTREG ist eine wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode (CEC 2007; SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Es ist ein statistisches Regionalisierungsverfahren, basierend auf dem globalen Klimamodell ECHAM5/MPI-OM. Entwickelt wurde das Modell von Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH (CEC Potsdam GmbH). Die Anwendung beschränkt sich für Deutschland auf den Zeitraum 1961–2100. Räumlich ist die Auflösung so hoch, wie Messreihen an den meteorologischen Stationen vorhanden sind (UBA 2007). Ausgabedaten sind Tageswerte (KOMPASS 2008). Damit können genauere und regionalere Prognosen für kleinere Gebiete angestellt werden, als mit den globalen Klimamodellen (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Es erfolgt eine Einteilung der Wetterlagen in ein Temperatur- und ein Feuchteregime. Für die Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst und Winter werden verschiedene Wetterlagen (Klassen) eingeteilt. Das Temperaturregime gliedert sich in zehn Klassen von sehr extrem kalt zu extrem warm, das Feuchteregime wird in acht Klassen von sehr trocken bis sehr starker Niederschlag unterteilt (CEC 2007, SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Für die Gliederung in die verschiedenen Wetterlagen wird die Temperatur herangezogen. Es handelt sich dabei um die „[...] jahrgangsbereinigte zeitlich geglättete Tagesmitteltemperatur (über alle betrachteten Stationen gemittelt)“ (CEC 2007). Mit Hilfe dieser Temperatur werden Witterungsabschnitte, z. B. überdurchschnittlich warme bzw. kalte Abschnitte, hergestellt. Diese Witterungsabschnitte werden vom Zufallsgenerator zu einer simulierten Zeitreihe neu kombiniert. Die Bedingung dafür ist die bestmögliche Annäherung an die Häufigkeitsverteilung der Wetterlagen des Temperaturregimes. Die simulierten aneinander gereihten Wetterlagen müssen miteinander kombinierbar sein und deshalb eine Übergangswahrscheinlichkeit von mindestens 10 % aufweisen. Der nächste Schritt ist die Aufprägung der Abweichung vom stationsspezifischen Jahresgang auf die simulierte Zeitreihe (CEC 2007).

4 Klimaprognosen für das Untersuchungsgebiet

„Das Wetter bezeichnet den augenblicklichen Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort“ (SEEDORF & MEYER 1992). „Das Klima ist dagegen nur durch statistisch errechnete Mittel- und Extremwerte fassbar, die auf langjährigen Wetterbeobachtungen beruhen“ (SEEDORF & MEYER 1992). Klima ist die „Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen, die den mittleren Zustand eines Ortes oder Gebietes während eines längeren Zeitraums charakterisieren“ (ADAM, GLÄSSER & HÖLTING 2000).

In Deutschland erhebt der DWD seit 1952 täglich Klimadaten wie z. B. Temperatur, Niederschlag, Windstärke und Sonnenscheindauer.

Für diesen Bericht sind die Daten von folgenden Klimastationen benutzt worden:

- Bremervörde-Niederrochtenhausen,
- Celle-Wietzenbruch,
- Hannover Flughafen,
- Jork,
- Lüchow,
- Lüneburg,
- Rotenburg,
- Soltau,
- Uelzen,
- Unterlüß.

Jeder Klimastation wird eine Fläche zugeordnet, über welche die gemessenen Daten gemittelt werden. Die für das Untersuchungsgebiet relevanten Klimastationen mit den zugehörigen Klimastationsflächen sind in Abbildung 13 dargestellt. In der Karte ist zu erkennen, dass Unterlüß, Uelzen, Lüchow und Lüneburg die weitestwichtigen Klimastationen im Untersuchungsgebiet sind, da deren Klimastationsflächen den größten Teil des Gebietes ausmachen. Im Folgenden werden daher nicht immer alle Klimastationen erwähnt oder dargestellt. Für die Szenario-Daten, die ebenfalls stationsbezogen vorliegen, wurde genauso verfahren.

4.1 Klimatische Verhältnisse der Referenzperiode

Die Jahresmitteltemperatur (Mittelwert der Klimastationen Uelzen, Lüneburg, Lüchow, Unterlüß, Jork und Soltau) für 1961–1990 liegt im Untersuchungsgebiet bei 8,6 °C. Der mittlere Jahresniederschlag für die gleichen Klimastationen liegt für den Zeitraum 1961–1990 bei 687 mm. Innerhalb der einzelnen Klimastationen gibt es Unterschiede bei der Jahresmitteltemperatur und auch beim mittleren Jahresniederschlag für den Zeitraum 1961–1990. Die Klimastation Unterlüß weist mit 8,2 °C die niedrigste mittlere Jahrestemperatur im Untersuchungsgebiet auf. Für Soltau und Uelzen liegt die Jahresmitteltemperatur bei 8,5 °C, für Lüchow bei 8,6 °C, für Jork bei 8,7 °C und für die Station Lüneburg sogar bei 8,9 °C. Die Unterschiede zwischen den Klimastationen sind in Abbildung 14 zu sehen. Die Abbildung zeigt die Jahresmitteltemperatur für sieben Klimastationen.

Der mittlere Jahresniederschlag für 1961–1990 beträgt für die Klimastation Lüchow 545 mm/a. Damit ermittelt der Raum Lüchow die geringsten Niederschläge im Untersuchungsgebiet. Die Station Lüneburg erhält 612 mm/a. Für Uelzen liegt der mittlere Jahresniederschlag bei 622 mm/a, für Jork bei 733 mm/a, für Unterlüß 801 mm/a und für Soltau bei 811 mm/a. Es ist eine deutliche Abnahme der Niederschläge von Westen nach Osten auf Grund zunehmender Entfernung zum Meer zu erkennen. In Abbildung 15 ist der mittlere Jahresniederschlag für sieben Klimastationen dargestellt. Innerhalb des Untersuchungsgebietes treten somit Unterschiede von bis zu 0,7 °C und über 250 mm/a je nach Klimastation in einem Zeitraum von 30 Jahren auf.



Abb. 13: Klimastationen (nach DWD, verändert) und zugehörige Klimastationsflächen.

4.2 Beschreibung der Klimaprognosen

Im Folgenden werden die für das A1B-Szenario prognostizierten Klimaparameter Niederschlag und Temperatur beschrieben.

Die Jahresmitteltemperatur steigt im Untersuchungsgebiet von 1961–1990 bis 2071–2100 um ungefähr 2,5 °C an. Dieser Trend ist in Abbildung 14 dargestellt. Es ist mit einem Anstieg von ca. 8,6 °C für den Zeitraum 1961–1990 auf etwa 11,1 °C für die Jahre 2071–2100 zu rechnen.

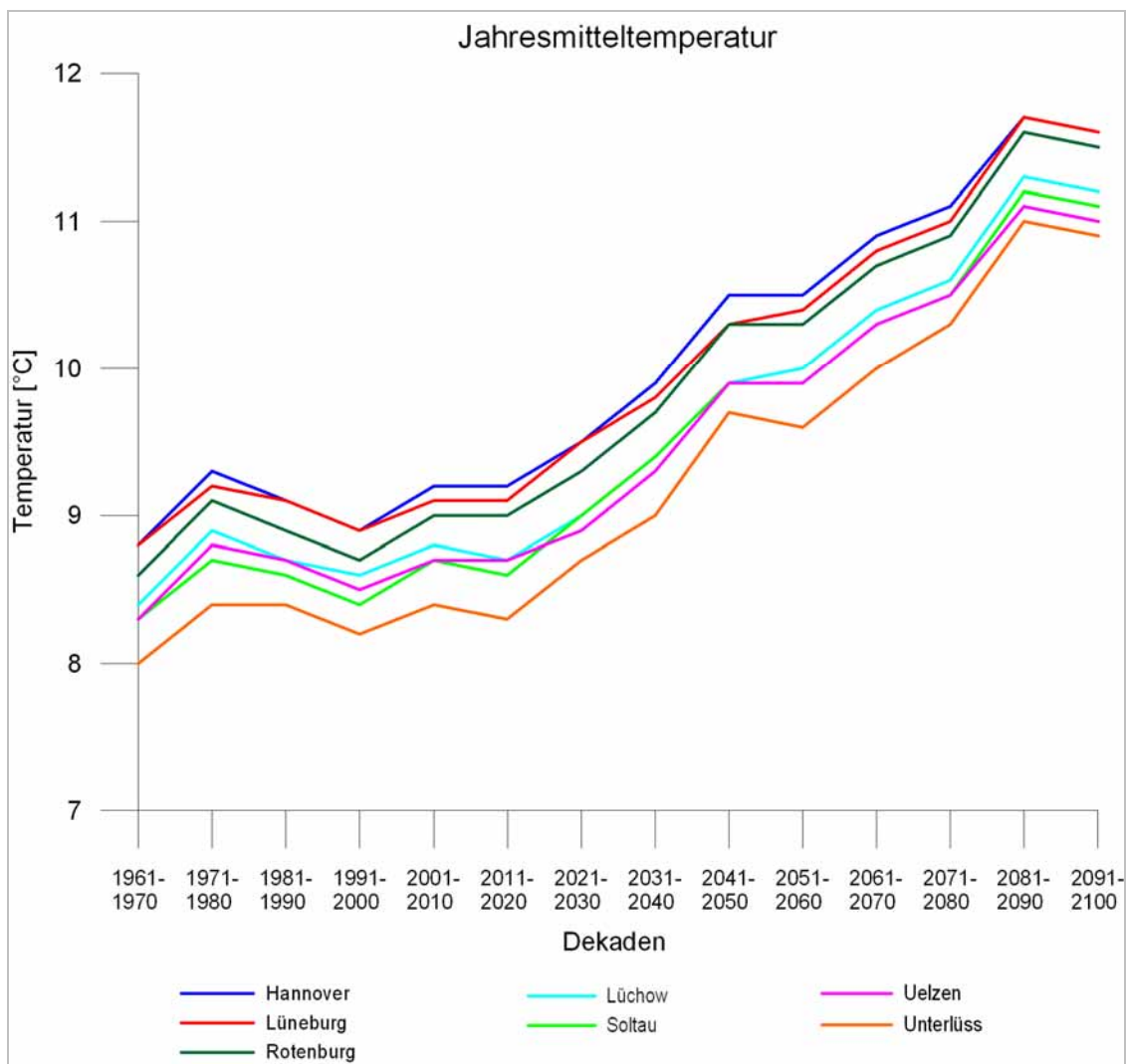


Abb. 14: Jahresmitteltemperatur für ausgewählte Klimastationen (Szenario A1B).

Während alle dargestellten Klimastationen in einem sehr ähnlichen Temperaturbereich liegen, variieren die Werte bei den mittleren Jahresniederschlägen etwas stärker. In Abbildung 15 ist der mittlere Jahresniederschlag ausgewählter Klimastationen des Untersuchungsgebietes dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich der mittlere Jahresniederschlag der Szenario-Daten bis zum Jahr 2100 im Mittel kaum verändert. In der Abbildung ist außerdem die Varianz des Jahresnieder-

schlags zwischen den einzelnen Klimastationen zu erkennen. So liegt Lüchow deutlich unterhalb der anderen Stationen. Hannover, Uelzen und Lüneburg befinden sich im mittleren Bereich und Unterlüß, Rotenburg und Soltau erhalten von den dargestellten Klimastationen den meisten Niederschlag. Hier wird der Übergang vom maritimen zum kontinentalen Klimabereich deutlich, da die Niederschläge von Westen nach Osten abnehmen.

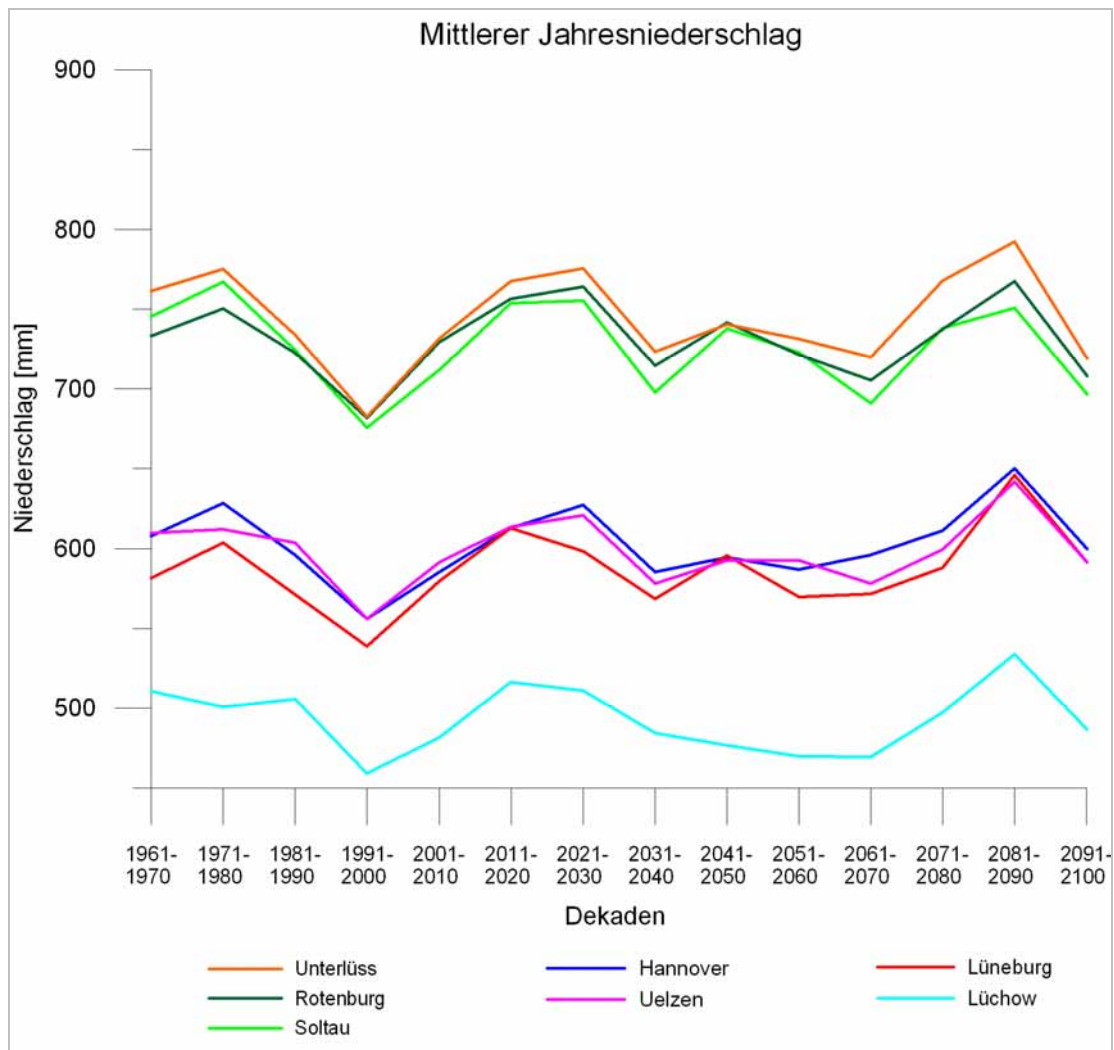


Abb. 15: Mittlerer Jahresniederschlag für ausgewählte Klimastationen (Szenario A1B).

Der mittlere Jahresniederschlag nimmt bis zum Ende des Jahrhunderts nur leicht ab und stellt somit scheinbar zukünftig kein Problem dar. In Abbildung 16 bis Abbildung 18 ist die Verteilung der Niederschläge in Sommer- und Winter-

terniederschlag getrennt dargestellt. Zum Vergleich ist auch der Jahresniederschlag abgebildet. Um die Aussage der Grafik zu verdeutlichen, sind Trendlinien hinzugefügt worden. Es ist ersichtlich, dass sich der mittlere Jahresnie-

derschlag im Verlauf der Zeit kaum verändert. Das Niederschlagsmaximum verschiebt sich jedoch vom Sommer in den Winter. Waren bisher Juni, Juli und August die niederschlagsreichsten Monate, so werden das in Zukunft die Monate Dezember und Januar sein (s. Abb. 19). Der gleiche Trend wird auch vom UBA (2007) für ganz Deutschland beschrieben.

In Abbildung 16 ist der mittlere Jahresniederschlag sowie der Sommer- und der Winter-niederschlag dargestellt. Dazu sind die Daten

aus dem A1B-Szenario verwendet worden. Der Jahresniederschlag zeigt einen zum Ende des Jahrhunderts sehr leicht abnehmenden Trend. Die Sommerniederschläge nehmen etwa um 45 mm/a ab, während die Winterniederschläge um ca. 35 mm/a zunehmen. Die Trendlinien der Sommer- und Winterniederschläge kreuzen sich etwa um 2051–2060. Lüchow ist mit weniger als 500 mm/a die Klimastation mit dem niedrigsten mittleren Jahresniederschlag im Untersuchungsgebiet.

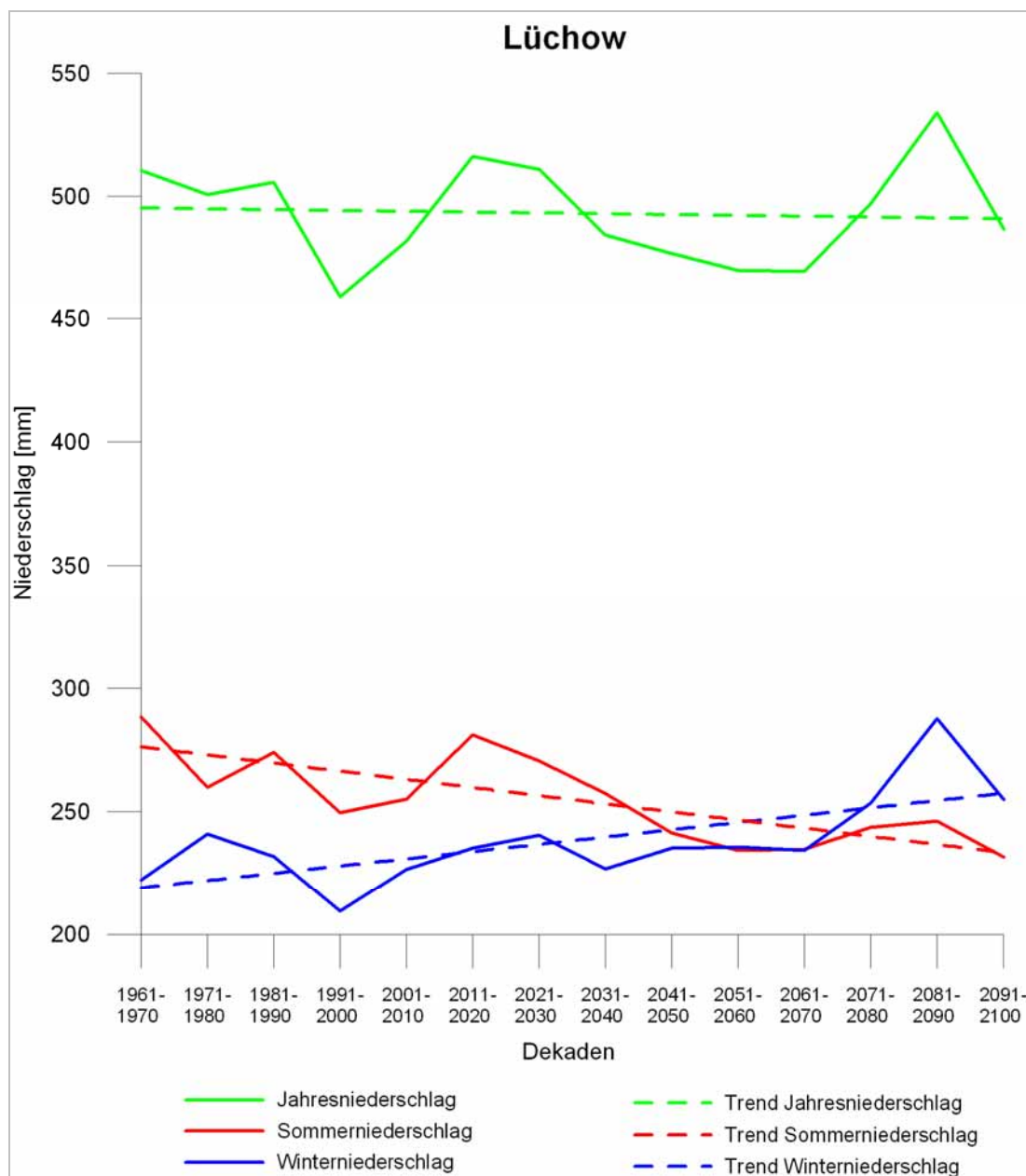


Abb. 16: Niederschlag der Klimastation Lüchow.

Abbildung 17 zeigt die Niederschläge für die Klimastation Lüneburg. Der Jahresniederschlag nimmt im Mittel leicht zu und steigt etwa von 575 mm/a auf ca. 600 mm/a an. Die Sommer- und Winterniederschläge zeigen den gleichen gegenläufigen Trend wie in Abbildung 16. Die Sommerniederschläge sinken um ungefähr

45 mm/a von knapp 320 mm/a auf etwa 275 mm/a. Die Winterniederschläge nehmen um etwa 65 mm/a von ca. 260 mm/a auf ca. 325 mm/a zu. Etwa zur Dekade 2031–2040 kreuzen sich die Trendlinien der Sommer- und Winterniederschläge.

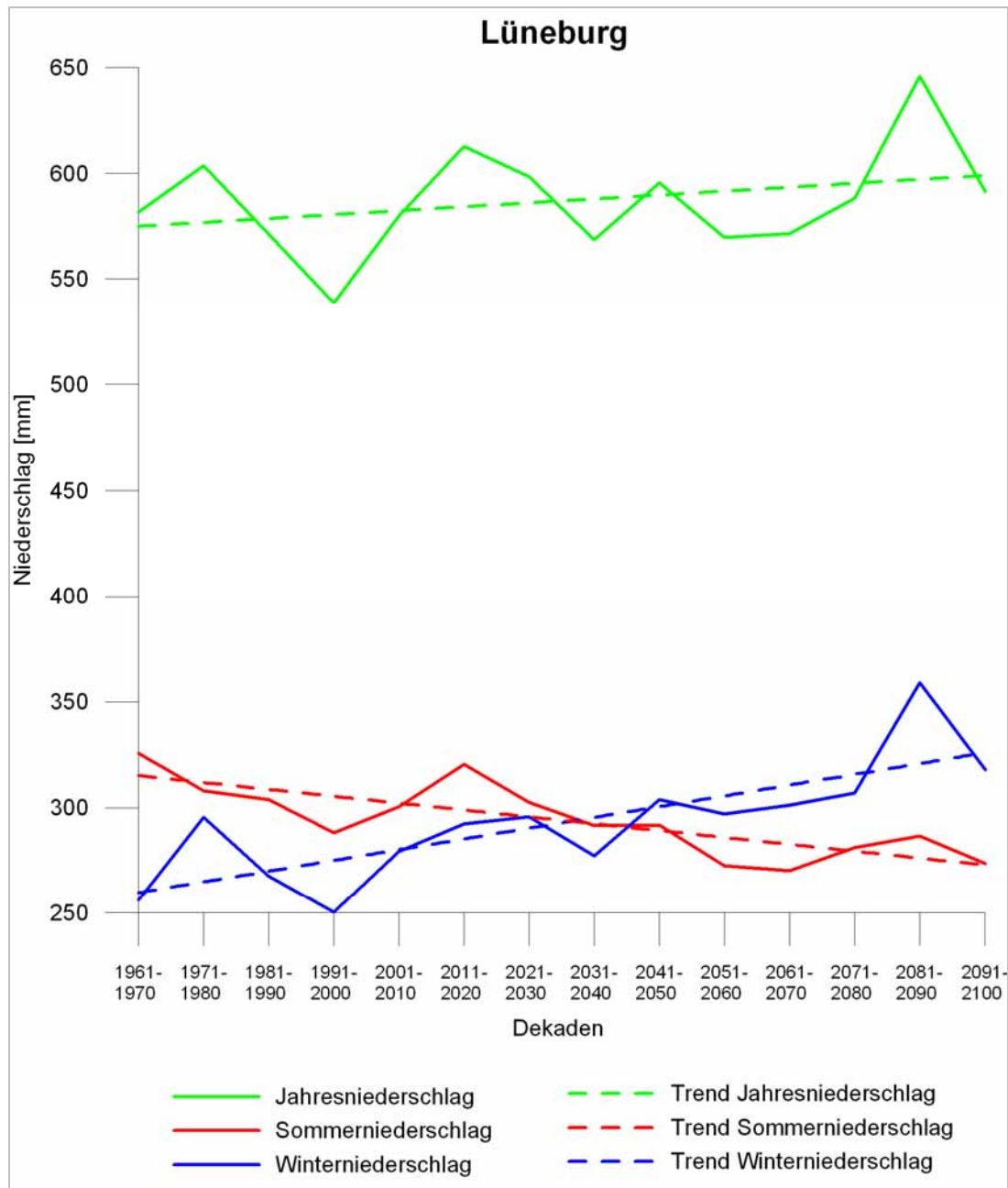


Abb. 17: Niederschlag der Klimastation Lüneburg.

An der Klimastation Unterlüß sind ähnliche Trends zu beobachten, wie in Abbildung 16 und Abbildung 17. Der mittlere Jahresniederschlag bleibt im Mittel auf annähernd gleichem Niveau. Die Sommerniederschläge nehmen ab, während die Winterniederschläge steigen. Auffällig ist jedoch, dass die Veränderungen an dieser Klimastation deutlicher sind, als an den anderen beiden. So sinkt der Sommernieder-

schlag von etwa 390 mm/a auf ca. 300 mm/a. Im Winter nehmen die Niederschläge im Mittel von 350 mm/a um knapp 100 mm/a zu. Die Trendlinien der Sommer- und Winterniederschläge überschneiden sich laut Grafik schon in der Vergangenheit (1991–2000). Die Klimastation Unterlüß weist die höchsten Niederschläge im Untersuchungsgebiet auf.

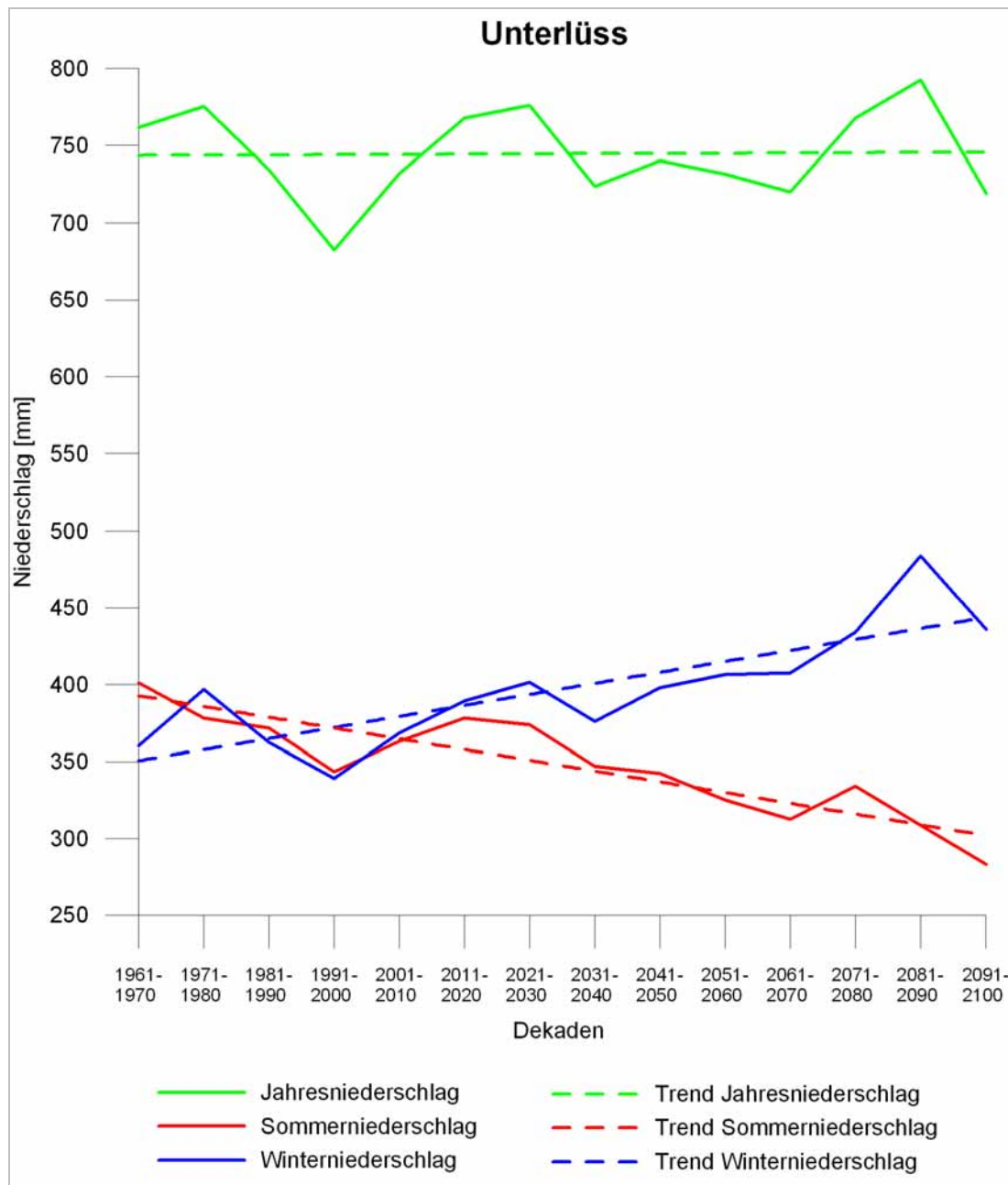


Abb. 18: Niederschlag der Klimastation Unterlüß.

Abbildung 19 zeigt die monatliche Verteilung der Niederschläge für die Klimastation Uelzen für verschiedene Zeiträume. Zu beachten ist, dass die Grafik mit dem Monat April beginnt und im März endet. Dies dient der Verdeutlichung der Sommer- und Winterverteilung der Niederschläge. Für den Zeitraum 1961–1990

sind die gemessenen Monatsmittelwerte dargestellt. Alle weiteren Zeiträume sind mit dem A1B-Szenario berechnet worden. Die Abnahme der Sommerniederschläge innerhalb der dargestellten Zeiträume und die einhergehende Zunahme der Niederschläge im Winter sind deutlich zu erkennen.

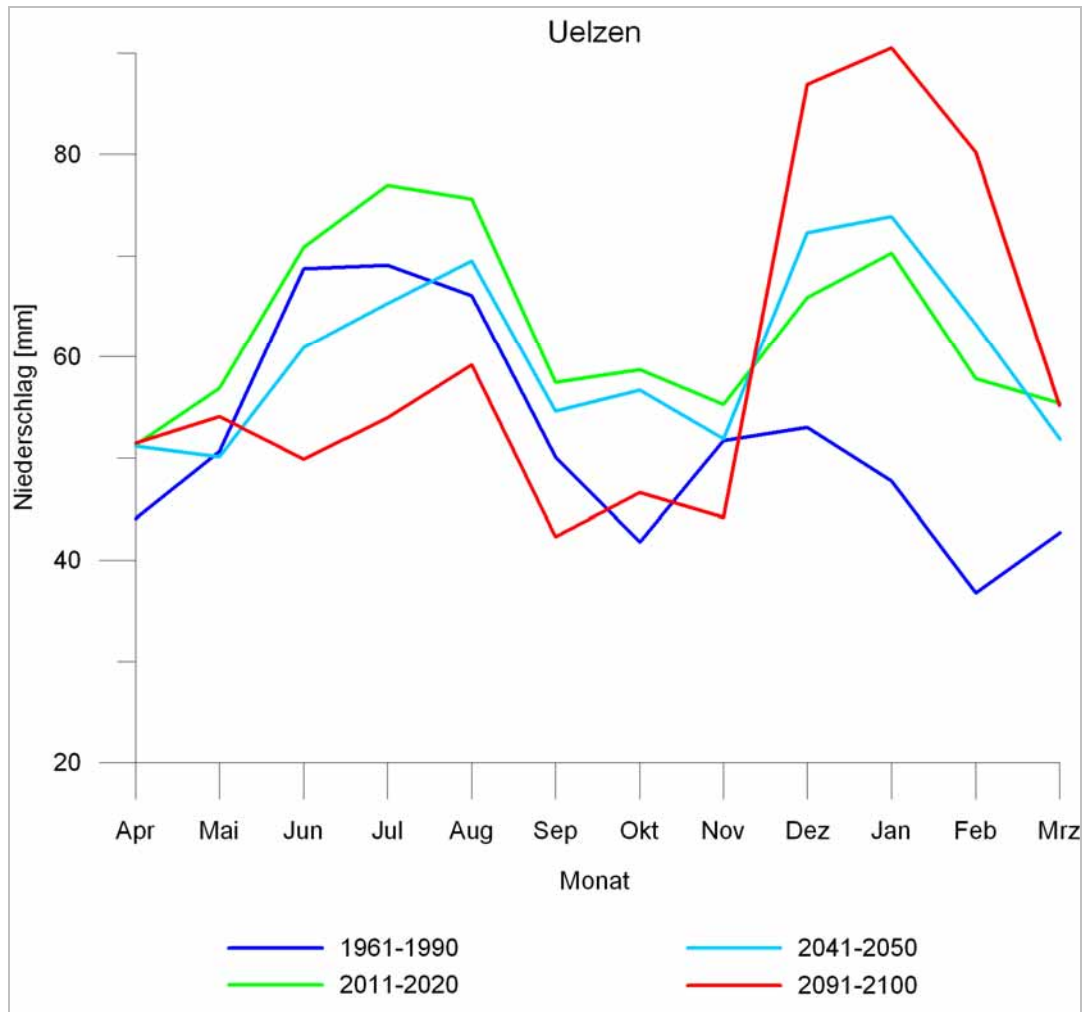


Abb. 19: Verteilung der Monatsniederschläge von April bis März für die Klimastation Uelzen.

Für die Klimastation Lüneburg ist dieser Trend ebenfalls zu beobachten. In Abbildung 20 zeigen sich der sukzessive Rückgang der Sommerniederschläge und die starke Zunahme der Winterniederschläge im Verlauf der Zeit.

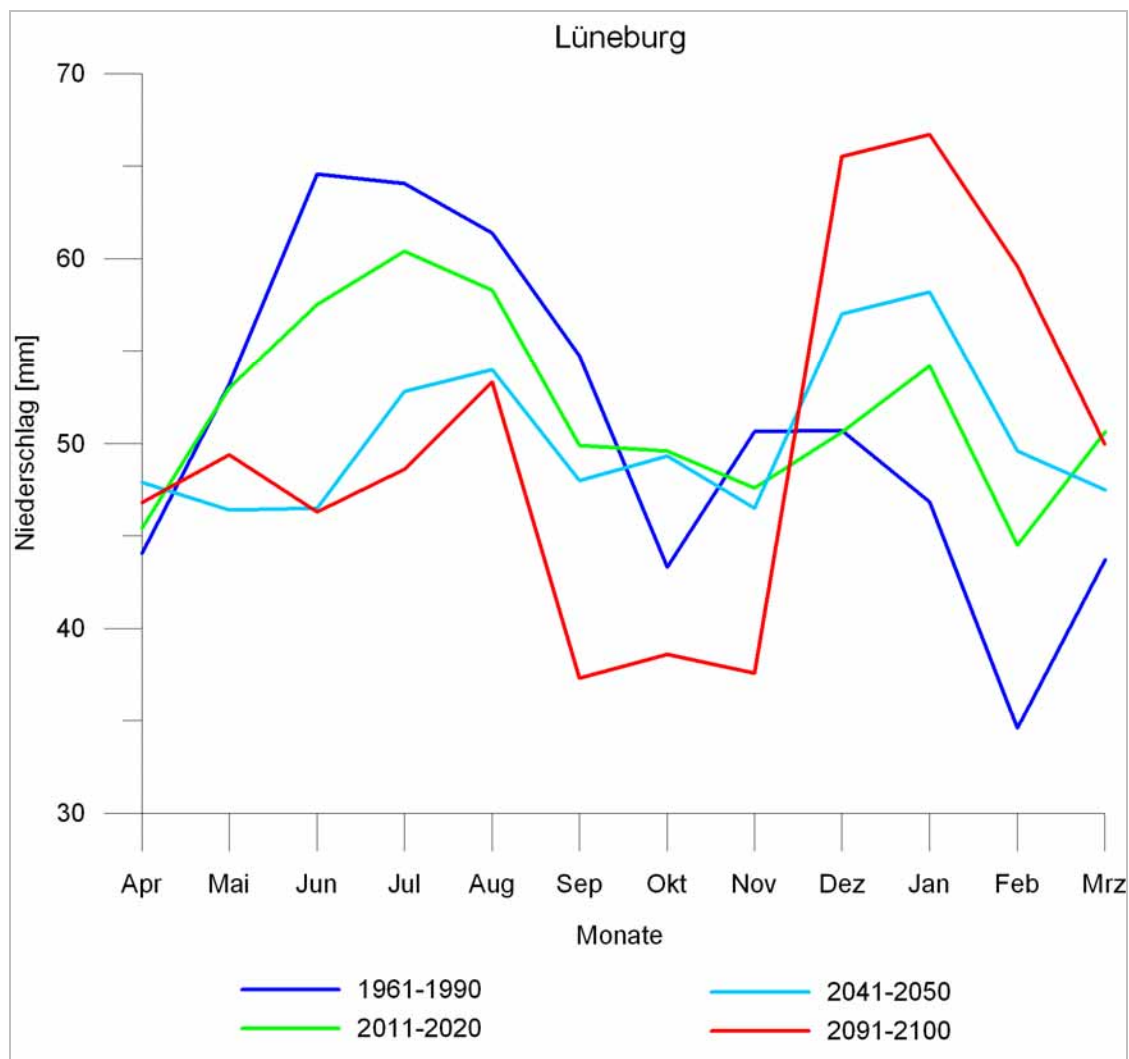


Abb. 20: Verteilung der Monatsniederschläge von April bis März für die Klimastation Lüneburg.

Auch für die Klimastation Lüchow ist diese Entwicklung des Niederschlags zu erkennen, wie Abbildung 21 belegt. Die hohen Sommerniederschläge der Periode 1961–1990 nehmen bis zur Dekade 2091–2100 ab. Die Winterniederschläge nehmen während der Dekaden 2011–2020 und 2041–2050 zwar noch nicht zu, aber gegen Ende des Jahrhunderts wird ein Anstieg ersichtlich.

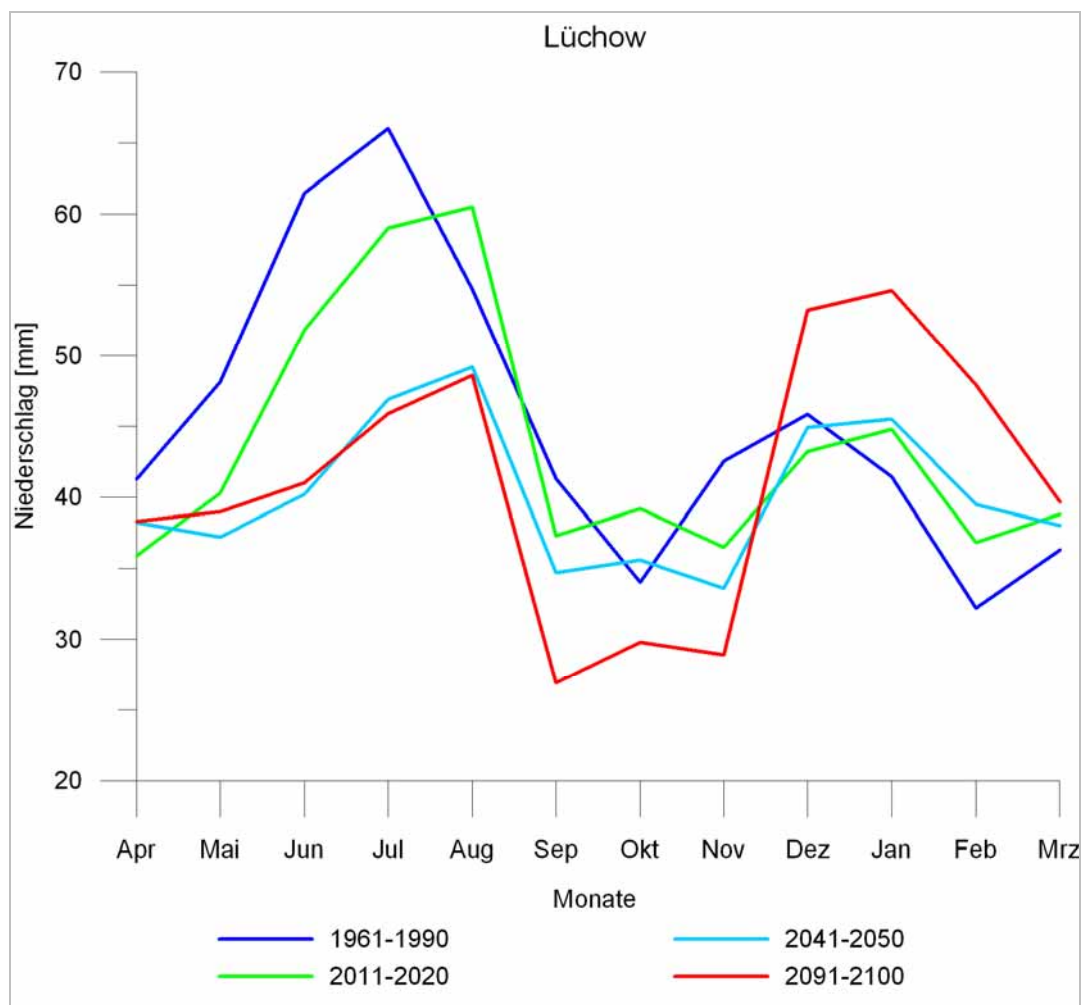


Abb. 21: Verteilung der Monatsniederschläge von April bis März für die Klimastation Lüchow.

In allen drei Abbildungen ist eine leichte Verschiebung der niederschlagsreichsten Monate innerhalb der Sommer- und Winterhalbjahre zu erkennen. Während die Jahre 1961–1990 noch die Monate Juni und Juli als Niederschlags-spitzenmonate hatten, wird es in Zukunft eher der August sein, der die höchsten Niederschläge des Sommerhalbjahres aufweist.

Auch im Winterhalbjahr ist dieser Trend zu beobachten. Hier verlagern sich die höchsten Niederschläge zunehmend von November und Dezember hin zu Dezember und Januar.

4.3 Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode

Die Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode (KWBv) ergibt sich aus der Differenz des Niederschlags und der potenziellen Evapotranspiration der Hauptvegetationsperiode, wobei eine Vegetationsperiode die Monate Mai bis Oktober umfasst (MÜLLER 2004). In diesem Zeitraum baut die Landwirtschaft den größten Teil der Feldfrüchte an. Je negativer die Werte werden, desto trockener ist das Gebiet. Angegeben wird die KWBv in Millimeter pro Vegetationsperiode [mm/v] (MÜLLER 2004). Zur besseren Darstellung ist die Klimatische Wasserbilanz in Klassen eingeteilt. Die Einteilung der Klassen ist im Grundsatz von RENGGER & STREBEL (1982) übernommen worden. So sind die Intervalle zwischen den einzelnen Klassen beibehalten worden. Da die Klassen der Klimatischen Wasserbilanz für die Zukunftsprognosen nicht ausreichten, sind diese erweitert worden. Anschließend sind die bestehenden Klassen umbenannt worden, um einheitliche Bezeichnungen zu schaffen. Die Erweiterung musste aufgrund zunehmender Verdunstung und abnehmender Niederschläge in den Sommermonaten erfolgen. Die erweiterten Klassen der Klimatischen Wasserbilanz sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Klassen der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode
(nach RENGGER & STREBEL 1982, verändert).

Klimatische Wasserbilanz [mm/v]	Klasse
-300 bis -250	1
-250 bis -200	2
-200 bis -150	3
-150 bis -100	4
-100 bis -50	5
-50 bis 0	6
0 bis 50	7
50 bis 100	8

Klimatische Wasserbilanz 1961–1990

Abbildung 22 zeigt die Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode im Zeitraum 1961–1990. Die Abbildung zeigt nur Werte für Ackerflächen, daher sind Flächen anderer Nutzung weiß dargestellt. Die Berechnung beruht auf den vom DWD erhobenen Werten. Die potenzielle Evapotranspiration ist mit der Formel für die FAO-Grasreferenzverdunstung nach DIN 19685 (DIN 1997) berechnet worden. Auffällig ist, dass ein großer Teil des Untersuchungsgebietes, nämlich das Gebiet der Klimastation Unterlüß, im positiven Bereich der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetati-

onsperiode liegt und somit in Klasse 7 (0 bis 50 mm/v). Das restliche Gebiet weist eine negative KWBv auf. In der Klasse 6 (-50 bis 0 mm/v) sind die Klimastationsflächen Jork, Bremervörde-Niederrothenhausen und Soltau vertreten. Diese Flächen berühren das Untersuchungsgebiet nur am Rand und machen nur einen kleinen Teil des Gebietes aus. In Klasse 5, von -100 bis -50 mm/v, liegen die Stationsflächen Uelzen, Hannover und Celle. Noch negativer ist die KWBv im Gebiet der Klimastation Lüchow. Hier liegen die Werte zwischen -150 und -100 mm/v. Die Klimastationsfläche Lüchow ist somit für den Zeitraum 1961–1990 das trockenste Gebiet.

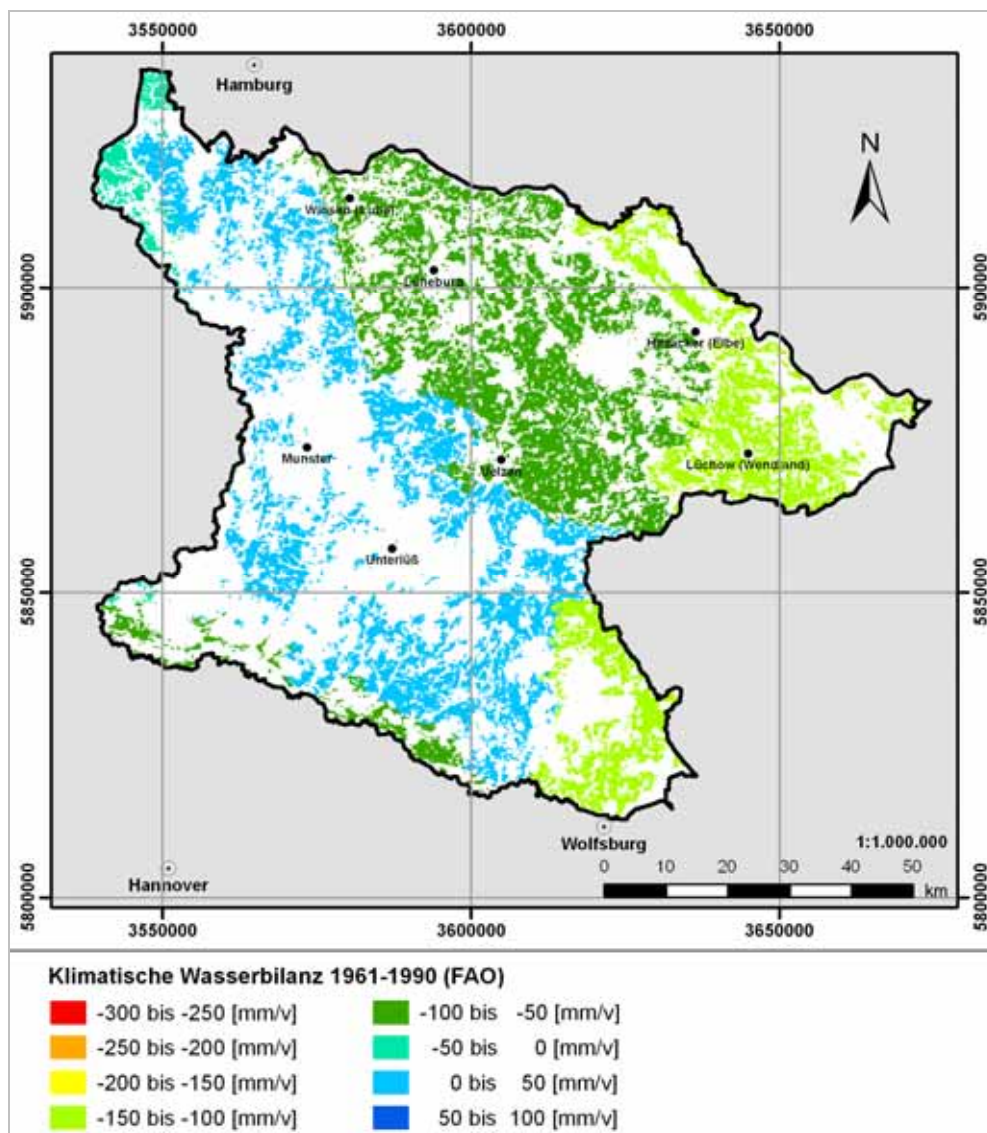


Abb. 22: Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für den Zeitraum 1961–1990 (FAO).

Klimatische Wasserbilanz 2011–2040

In Abbildung 23 ist die Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für die Jahre 2011–2040 als Karte des Untersuchungsgebietes dargestellt. Die Flächen, die der Klimastation Unterlüß zugeordnet werden und somit fast die Hälfte des gesamten Untersuchungsgebietes ausmachen, zeigen die positivsten Werte des gesamten Gebietes und liegen damit in Klasse 6 (-50 bis 0 mm/v). Mit -100 bis -50 mm/v liegen die Klimastationsflächen Uelzen, Jork und Rotenburg (Wümme) nur eine

Klasse darunter, in Klasse 5. In Klasse 4 (-150 bis -100 mm/v) lassen sich die Ackerflächen der Klimastation Lüneburg einordnen. Die Flächen mit der für diesen Zeitraum negativsten Klimatischen Wasserbilanz (-200 bis -150 mm/v) liegen zum größten Teil im Bereich der Klimastation Lüchow, am östlichen Rand des Untersuchungsgebietes. Am Südrand des Gebietes befinden sich die Klimastationsflächen Celle und Hannover-Langenhagen, auch sie liegen in Klasse 3 der Klimatischen Wasserbilanz.

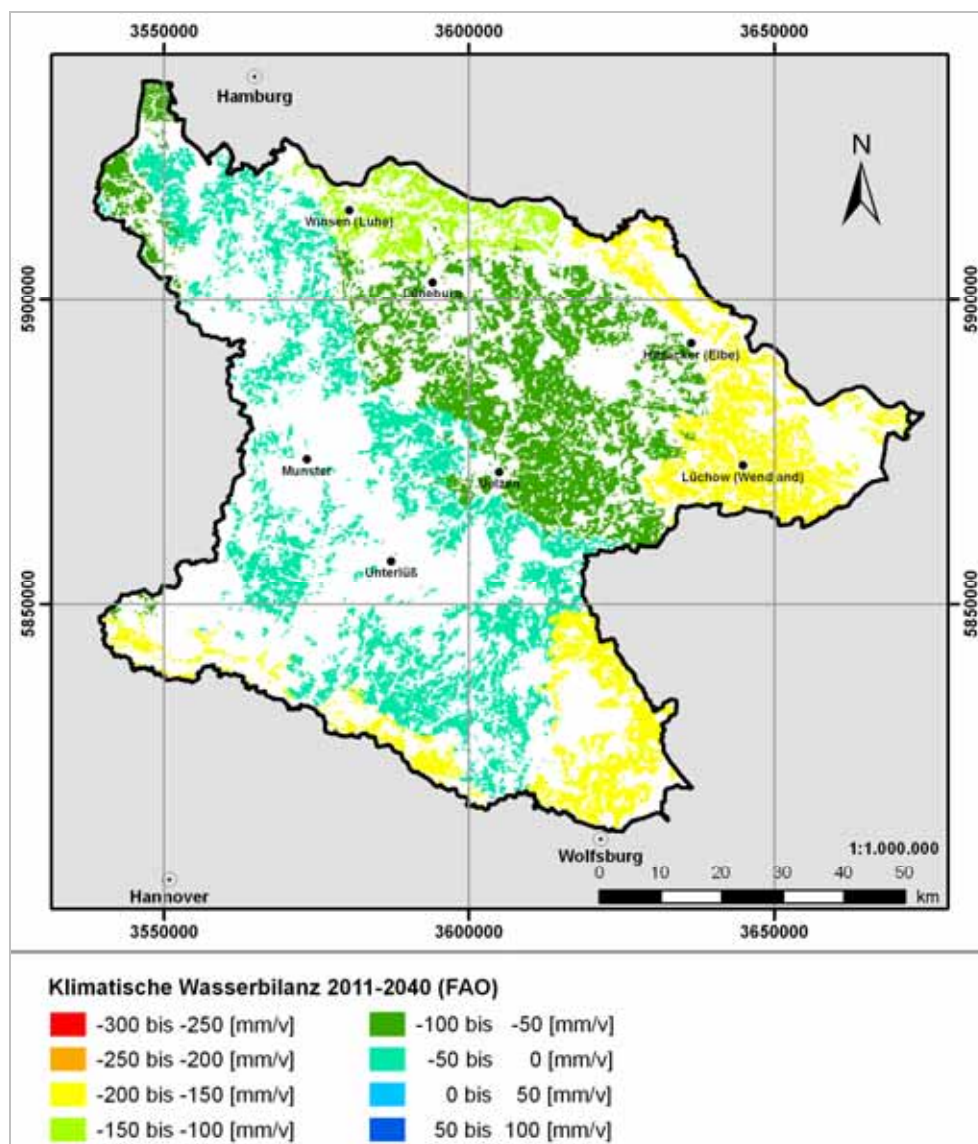


Abb. 23: Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für den Zeitraum 2011–2040 (FAO).

Klimatische Wasserbilanz 2041–2070

Im Vergleich zum Zeitraum 2011–2040 verschiebt sich die Klimatische Wasserbilanz im Zeitraum 2041–2070 um ein bis zwei Klassen hin zu negativeren Werten. Aus Abbildung 24 wird ersichtlich, dass es zur Mitte des Jahrhunderts hin trockener wird. Die Flächen, die im vorigen Zeitraum die positiveren Werte aufgewiesen haben, sind mit -150 bis -100 mm/v nach wie vor die Flächen mit der höchsten Klimatischen Wasserbilanz. Die Klimastationsflä-

che Unterlüß ist aber von Klasse 6 in Klasse 4 (-150 bis -100 mm/v) abgestiegen. Die Klimastationsflächen Uelzen und Lüneburg finden sich nun in Klasse 3 (-200 bis -150 mm/v). Die Stationsfläche Uelzen ist dabei um zwei Klassen, die Stationsfläche Lüneburg um eine Klasse negativer geworden. Die trockensten Gebiete sind nach wie vor die Flächen am Ost- und Südrand des Untersuchungsgebietes. Sie liegen mit -250 bis -200 mm/v in Klasse 2 der KWBv.

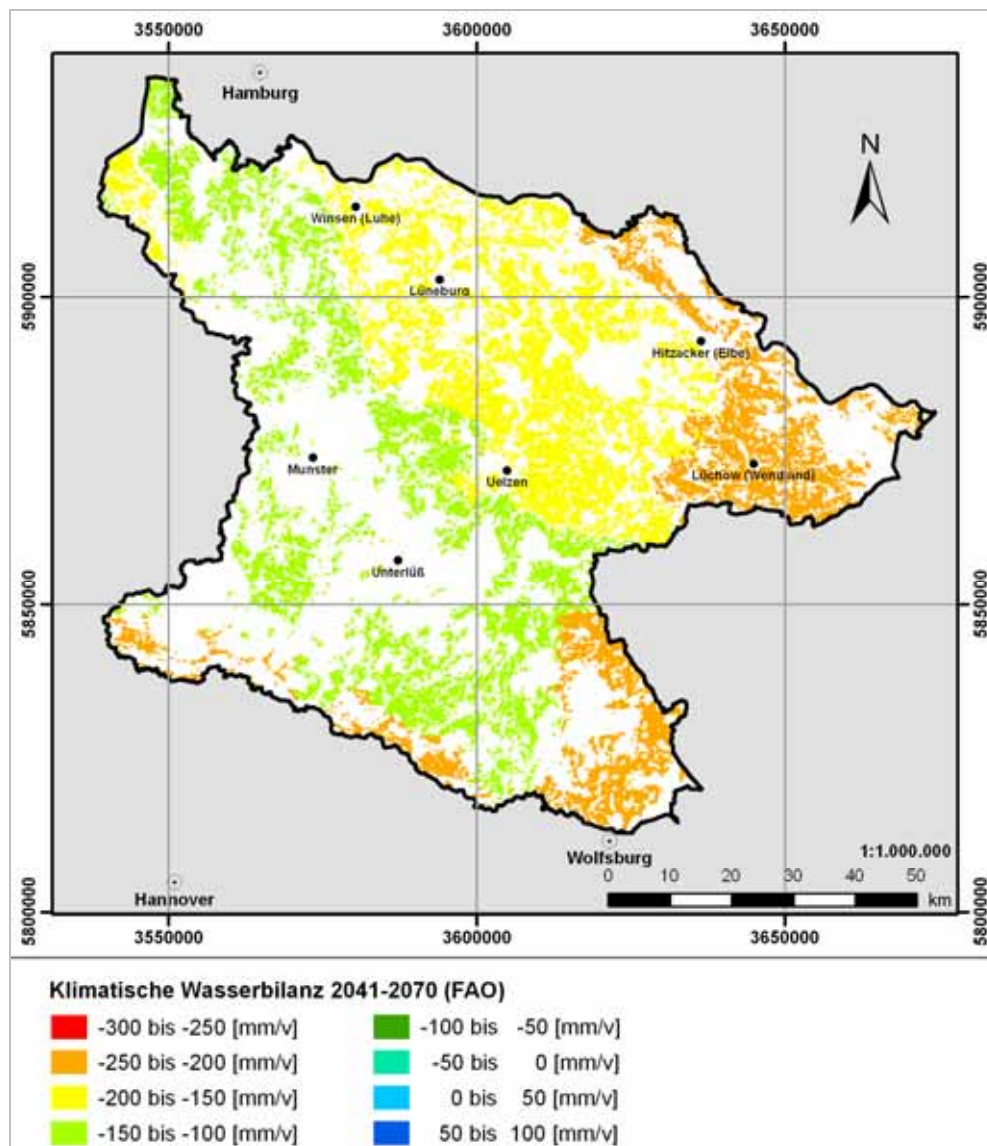


Abb. 24: Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für den Zeitraum 2041–2070 (FAO).

Klimatische Wasserbilanz 2071–2100

Die zunehmende Trockenheit bis zum Ende des Jahrhunderts kann Abbildung 25 entnommen werden. Der größte Teil des Gebietes liegt nun in Klasse 3 (-200 bis -150 mm/v). Der Ostrand mit der Klimastationsfläche Lüchow liegt mit -250 bis -200 mm/v in Klasse 2. Noch stärker ist das Klimatische Wasserbilanzdefizit am Südrand des Gebietes und auf der Klima-

stationsfläche Bremervörde-Niederrochtenhausen. Diese Gebiete liegen mit -300 bis -250 mm/v in Klasse 1 der KWBv.

Im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990 hat die Differenz von Niederschlag zu Verdunstung stetig abgenommen. Für den größten Teil des Untersuchungsgebietes ging die KWBv bis 2071–2100 auf Werte zwischen -100 und -150 mm/v zurück.

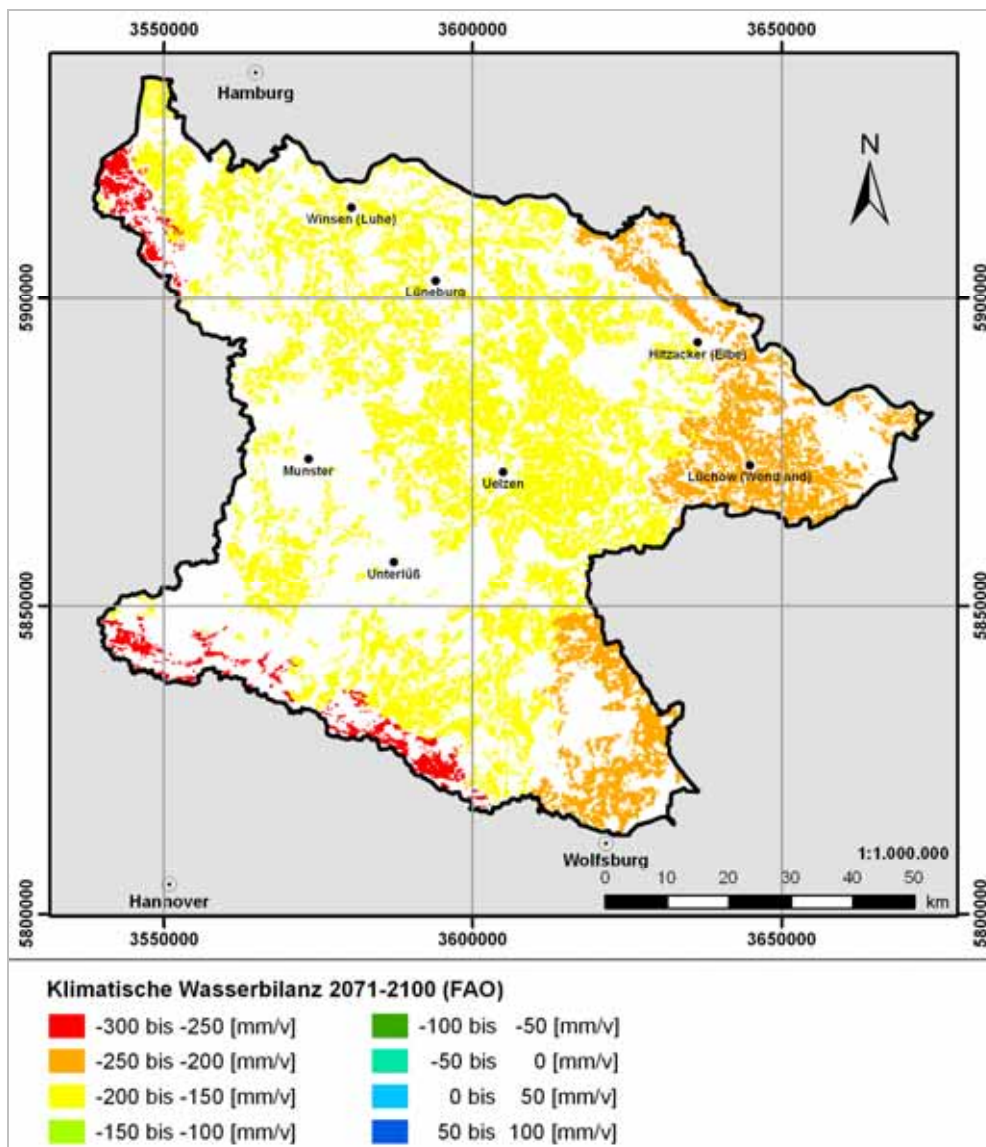


Abb. 25: Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für den Zeitraum 2071–2100 (FAO).

Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz

Die KWBv ist ein charakteristischer Parameter für die klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet. Zusammenfassend ist die Entwicklung der KWBv, gemittelt über das gesamte Gebiet, in Tabelle 2 aufgeführt. Die Tendenz der KWBv ist in Abbildung 26 dargestellt. Die Grafik verdeutlicht das stark zunehmende Wasserbilanzdefizit.

Tab. 2: Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode.

Zeitraum	Klimatische Wasserbilanz [mm/v]
1961–1990	-46
2011–2040	-82
2021–2050	-89
2031–2060	-109
2041–2070	-153
2051–2080	-176
2061–2090	-184
2071–2100	-188

In Abbildung 26 ist die Entwicklung der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode (KWBv) für das gesamte Untersuchungsgebiet dargestellt. Die Werte für 1961–1990 sind die Daten des DWD, ab 2011–2040 beginnen die Szenario-Daten. Es ist deutlich zu erkennen, dass die KWBv mit der Zeit negativer wird. Während sie im Zeitraum 1961–1990 noch bei ca. -45 mm/v lag, wird sie zum Ende des Jahrhunderts bei etwa -190 mm/v erwartet.

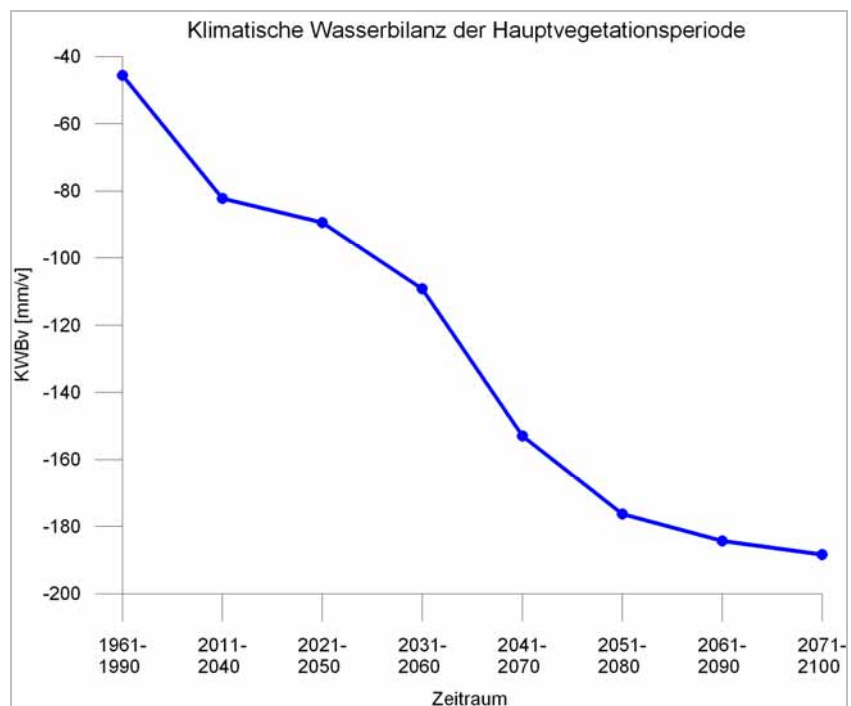


Abb. 26: Verlauf der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode, gemittelt über das gesamte Untersuchungsgebiet.

5 Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit

Die Beregnungsbedürftigkeit wird in diesem Bericht für einen Mittelwert verschiedener Fruchtfolgen im dreißigjährigen Mittel berechnet und für die Zukunft prognostiziert. Sie wird daher nicht als tatsächliche, sondern als potenzielle Beregnungsbedürftigkeit beschrieben.

5.1 Definitionen und Begriffe

Beregnung ist die „Flächenhafte Bewässerung durch ortsfeste, voll- oder teilbewegliche technische Anlagen (Regner) zur Verbesserung landwirtschaftlicher Erträge“ (ADAM, GLÄSSER & HÖLTING 2000).

Laut dem Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (DVWK) gilt „ein Standort [...] als beregnungsbedürftig, wenn seine klimatischen Bedingungen in Verbindung mit den physikalischen Eigenschaften seines Bodens die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen während der Vegetationszeit nicht ausreichend mit Wasser versorgen, um ein gesichertes Wachstum ohne Ertrags- und Qualitätsminderungen zu gewährleisten“ (DVWK 1984).

„Unter Beregnungsbedarf wird die mittlere jährliche Beregnungsmenge verstanden, die zur Aufrechterhaltung von 40 % der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKWe) erforderlich ist“ (LBEG 2008).

Sobald aus der Zusatzbewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen trotz der Kosten für die Beregnung ein wirtschaftlicher Mehrerlös resultiert, spricht man von Beregnungswürdigkeit (FRICKE & HEIDORN 2003). „Eine Frucht ist prinzipiell dann beregnungswürdig, wenn die beregnungsbedingten Mehrkosten durch die Ernte-Mehrerlöse gedeckt sind [...]“ (FRICKE & HEIDORN 2003).

6 Berechnung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit

6.1 Verfahren Renger & Strebel

RENGER & STREBEL (1982) haben ein digitales Simulationsmodell entwickelt, mit dem der langfristig auftretende jährliche Beregnungsbedarf in Abhängigkeit von Fruchtart, Klima und Boden berechnet werden kann. Das Simulationsmodell ist an Versuchsflächen geeicht worden. Mit dem Modell soll die Beregnungsbedürftigkeit eines Standorts ermittelt werden. Dazu wird die Beregnungsmenge in mm/a berechnet, die notwendig ist, um einen Mindestwassergehalt von 40 % nutzbarer Feldkapazität im effektiven Wurzelraum aufrecht zu erhalten. Wenn die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge (Wpfl) bekannt ist, kann eine flächendeckende und fruchtartenspezifische Aussage über den Beregnungsbedarf getroffen werden (RENGER & STREBEL 1982).

Der Beregnungsbedarf kann mit dem Verfahren zwar fruchtartenspezifisch berechnet werden, für diesen Bericht wurde jedoch ein Mittelwert für Getreide (Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste) und Hackfrüchte (Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais) gewählt, der nach der Berechnung mit Hilfe von Faktoren auf die einzelnen Fruchtarten umgerechnet werden kann. Die Berechnung des Mittelwerts wurde gewählt, weil es keine flächendeckende Karte der aktuell angebauten Fruchtarten gibt und die Prognose für die zukünftig angebauten Fruchtarten zu vage ist. Generell nimmt der Beregnungsbedarf der einzelnen Fruchtarten in folgender Reihenfolge zu:

Grünland > Wintergerste mit Zwischenfrucht > Zuckerrüben > Winterweizen > Kartoffeln > Sommergerste > Wintergerste > Mais (RENGER & STREBEL 1981b, 1982).

Für die Berechnung der Beregnungsbedürftigkeit gelten als wichtigste Steuergrößen die Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode und die Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge des effektiven Wurzelraumes (RENGER & STREBEL 1981b).

Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode

Die Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode (Mai–Oktober) errechnet sich aus dem Niederschlag der Hauptvegetationsperiode abzüglich der Verdunstung der Hauptvegetationsperiode (MÜLLER 2004). Die Niederschlagswerte werden den Klimastationen entnommen und über die Klimastationsfläche gemittelt. Die Verdunstung wird im Verfahren von RINGER & STREBEL (1982) ursprünglich mit der HAUDE-Formel (DIN 1997) bestimmt. Für diesen Bericht ist die potenzielle Evapotranspiration mit der FAO-Grasreferenzverdunstung ermittelt worden.

Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge des effektiven Wurzelraumes

Die maximale Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge für grundwasserbeeinflusste Böden (Grundwasserstand oberhalb 1,5–2 m) entspricht der Summe aus nutzbarer Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes und des mittleren kapillaren Aufstiegs (MÜLLER 2004). Für grundwasserferne Böden (Grundwasserstand tiefer als 1,5–2 m) reicht für die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Bodenwassers die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes aus (RINGER & STREBEL 1982). Im Untersuchungsgebiet zählen die meisten Böden zu den grundwasserfernen Böden. Die Parameter, die zur Berechnung der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge des effektiven Wurzelraumes herangezogen werden, stammen aus der digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte von Niedersachsen (BÜK 50n).

6.2 Berechnung mit MeMaS®

Das MeMaS® (Methodenmanagementsystem) ist vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB, heute LBEG) entwickelt worden. Es dient der Verwaltung, Pflege, Visualisierung, Auswahl und Berechnung von digitalen Daten. Mit den bodenkundlichen Auswertungsmethoden des MeMaS® konnte die Beregnungsbedürftigkeit für diesen Bericht berechnet werden. Die Berechnung erfolgt mit Hilfe von Verknüpfungsregeln. Die Grundlagen des Verfahrens von RINGER & STREBEL (1982) sind in MeMaS® umgesetzt worden. Die Be-

rechnung der Beregnungsbedürftigkeit ist im MeMaS® durchgeführt worden. In die Berechnung geht eine Vielzahl von Verknüpfungsregeln ein, mit deren Hilfe viele Einflussfaktoren berücksichtigt werden können.

Die Eingangsdaten für die Berechnung der Beregnungsbedürftigkeit sind:

- Bodenart,
- Lagerungsdichte,
- Torfart,
- Substanzvolumen,
- Zersetzungsstufe,
- Humusgehalt,
- Grobboden,
- Festgestein, Festgesteinszersatz,
- Horizontbezeichnung,
- Bodentyp,
- Niederschlag Hauptvegetationsperiode,
- Verdunstung Hauptvegetationsperiode,
- Nutzung.

Die bodenkundlichen Eingangsdaten sowie die Landnutzung stammen aus der digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50n). Die klimatischen Eingangsdaten Niederschlag und Verdunstung sind Stationsdaten von Klimastationen aus dem Untersuchungsgebiet.

Es sind ausschließlich Flächen berechnet worden, deren Nutzung als Acker ausgewiesen ist.

Für bestimmte Bodentypen wird die Beregnungsbedürftigkeit nicht berechnet, sondern aufgrund ihrer Eigenschaften direkt in Klassen der mittleren Beregnungsmenge eingeteilt. Marschen, Moore und Umbruchböden aus Moor werden in Beregnungsklasse 1 eingeteilt, ebenso Pseudogleye mit einem Vernässungsgrad von Stufe 2 (schwach vernässt) bis Stufe 6 (äußerst stark vernässt). Gleye werden in Beregnungsklasse 2 (sehr geringe Beregnungsbedürftigkeit) eingeteilt, wenn ihre bodenkundliche Feuchtestufe zwischen 6 (stark frisch) und 10 (nass) liegt. Ist die Neigungsstufe größer als 9 %, wird die mittlere Beregnungsmenge ebenfalls auf Klasse 1 gesetzt (MÜLLER 2004).

6.3 Anpassung des Verfahrens

Die mittlere Berechnungsmenge berechnet sich letztendlich aus der berechnungswirksamen Klimatischen Wasserbilanz (KWBb), dem Pflanzenverfügbaren Bodenwasser (Wpfl) und der Nutzung. Für die Nutzung wurde ein Mittelwert aus Getreide und Hackfrüchten benutzt. In dem von RENGGER & STREBEL (1982) entwickelten Verfahren ist die Berechnung der mittleren Berechnungsmenge nur bei KWBb-Werten größer als -150 mm/v möglich. Dies reicht jedoch für die Prognosen nicht aus. Deshalb wurden die Abhängigkeiten von Berechnungsmenge und berechnungswirksamer klimatischer Wasserbilanz durch eine Anpassungskurve (Polynom 2. Grades) erweitert (s. Abb. 27 und 28). Aus diesen angepassten Kurven wurden dann die Werte für eine Erweiterung der Tabelle 3 berechnet.

Für die trockenen Jahre ist trotz der Ergänzung nur die Darstellung für die Zeiträume 2011–2040 und 2041–2070 wegen zu großer Extrapolation (HEIDT 2008) sinnvoll.

Die berechnungswirksame klimatische Wasserbilanz kann mit Hilfe einer linearen Regression, ausgehend von der klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode (KWBv), wie folgt berechnet werden (MÜLLER 2004):

$$\text{KWBb} = 0,7 \text{ KWBv} - 60 \quad (\text{Gl. 1})$$

für Getreide (Sommerung und Winterung);
Vegetationszeitraum: April–Juli

$$\text{KWBb} = 1,0 \text{ KWBv} - 70 \quad (\text{Gl. 2})$$

für Hackfrüchte, Mais, Grünland;
Vegetationszeitraum: Mai–September

Bei Berechnungen mittlerer Berechnungsmengen wird Gleichung 1 herangezogen.

Tab. 3: Mittlere Berechnungsmenge bei Getreide und Hackfrüchten für durchschnittliche Jahre (nach MÜLLER 2004, verändert).

KWBb	Pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl) [mm]									
[mm/v]	50	65	85	100	125	150	175	200	240	300
50	44	35	23	14	2	–	–	–	–	–
25	59	50	38	29	16	4	–	–	–	–
0	74	65	52	42	30	17	4	–	–	–
-25	88	78	66	57	43	29	15	2	–	–
-50	102	92	79	69	55	40	26	13	–	–
-75	115	104	90	80	65	51	36	23	3	–
-100	128	116	101	92	75	60	46	32	13	–
-125	140	128	112	101	85	69	55	40	22	3
-150	152	137	120	110	93	77	62	48	30	11
-175	163	147	130	118	100	84	70	55	37	–
-200	174	156	138	126	107	90	76	60	43	–
-225	184	165	145	132	113	96	82	65	48	–
-250	194	172	151	138	117	101	87	70	52	–
-275	204	179	156	142	121	104	92	73	55	–
-300	212	185	161	146	124	107	95	76	57	–

Abbildung 27 zeigt den Zusammenhang von Klimatischer Wasserbilanz, pflanzenverfügbarem Bodenwasser und Beregnungsmenge. Die durchgezogenen Linien sind die ursprünglich von Renger & Strebel (1982) berechneten, die von Müller (2004) in eine Tabelle umge-

setzt wurden. Renger & Strebel (1982) haben die Kurven aus Feldversuchen empirisch ermittelt. Die unterbrochenen Linien sind extrapolierte Werte (Polynom 2. Grades). Die erweiterten Werte sind ebenfalls in Tabelle 3 aufgeführt.

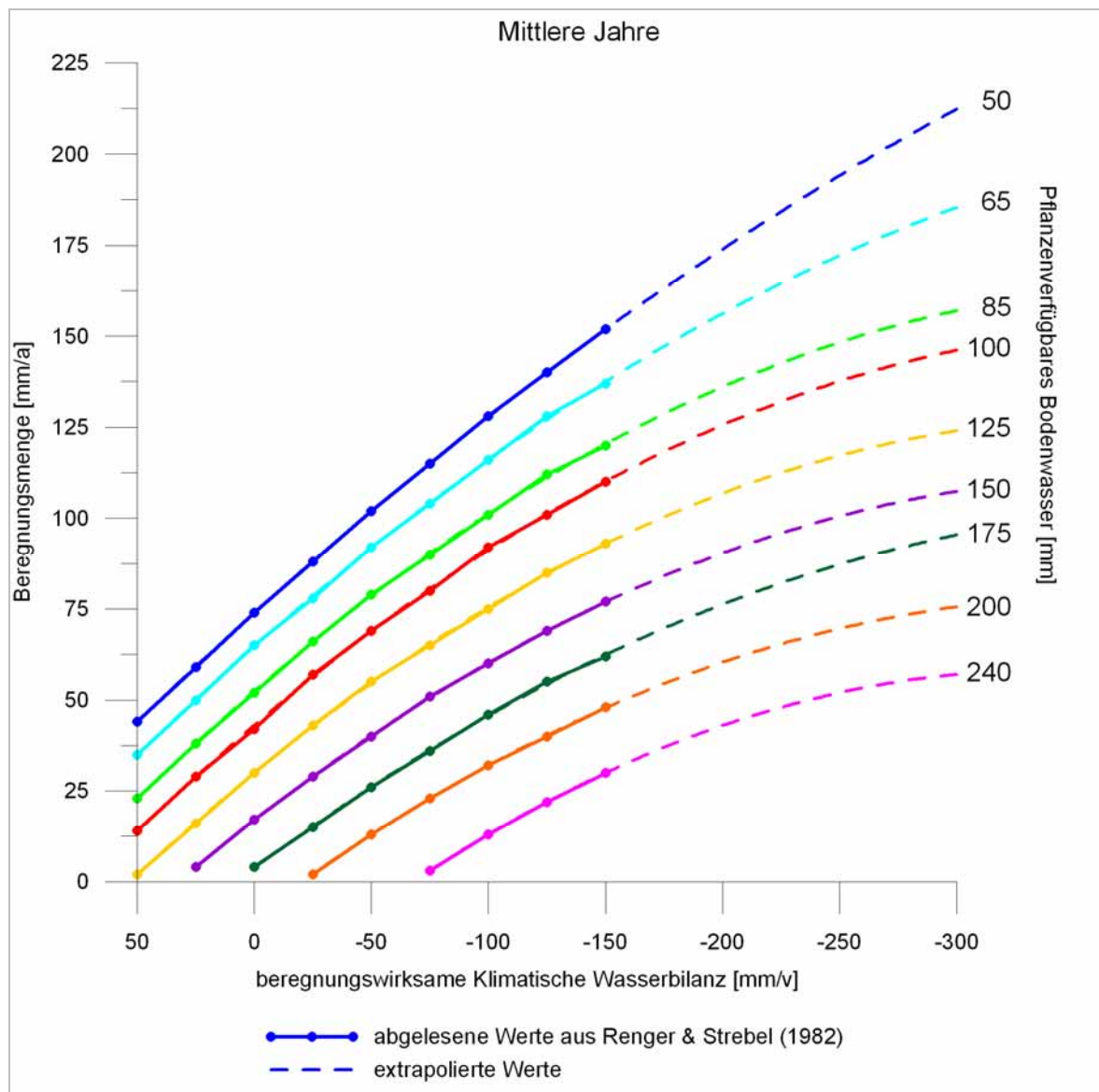


Abb. 27: Beziehung zwischen Klimatischer Wasserbilanz, Pflanzenverfügbarer Bodenwassermenge und der Beregnungsmenge bei Getreide und Hackfrüchten für durchschnittliche Jahre (nach Renger & Strebel 1982, verändert).

In Tabelle 4 werden die Werte für die beregungswirksame Klimatische Wasserbilanz, das Pflanzenverfügbare Bodenwasser und die mittlere Beregnungsmenge für trockene Jahre aufgeführt.

Tab. 4: Mittlere Beregnungsmenge bei Getreide und Hackfrüchten für trockene Jahre (nach MÜLLER 2004, verändert).

KWBb	Pflanzenverfügbares Bodenwasser (Wpfl) [mm]									
[mm/v]	50	65	85	100	125	150	175	200	240	300
50	62	57	49	43	33	22	12	2	–	–
25	85	78	70	64	53	42	30	19	0	–
0	106	100	90	83	71	60	48	35	15	–
-25	126	119	109	100	88	75	62	50	29	–
-50	145	138	126	117	103	90	76	63	42	7
-75	162	153	140	131	116	102	87	73	52	20
-100	175	166	152	142	127	111	96	82	61	30
-125	187	176	162	151	135	118	103	90	68	40
-150	194	183	169	156	138	123	106	93	74	49
-175	204	193	179	166	149	132	115	101	79	54
-200	209	199	184	170	154	136	119	105	83	58
-225	213	203	187	173	157	138	121	107	84	60
-250	215	204	189	174	159	139	122	107	85	60

In Abbildung 28 ist der Zusammenhang zwischen Pflanzenverfügbarem Bodenwasser, beregungswirksamer Klimatischer Wasserbilanz und Beregungsmenge für trockene Jahre dargestellt.

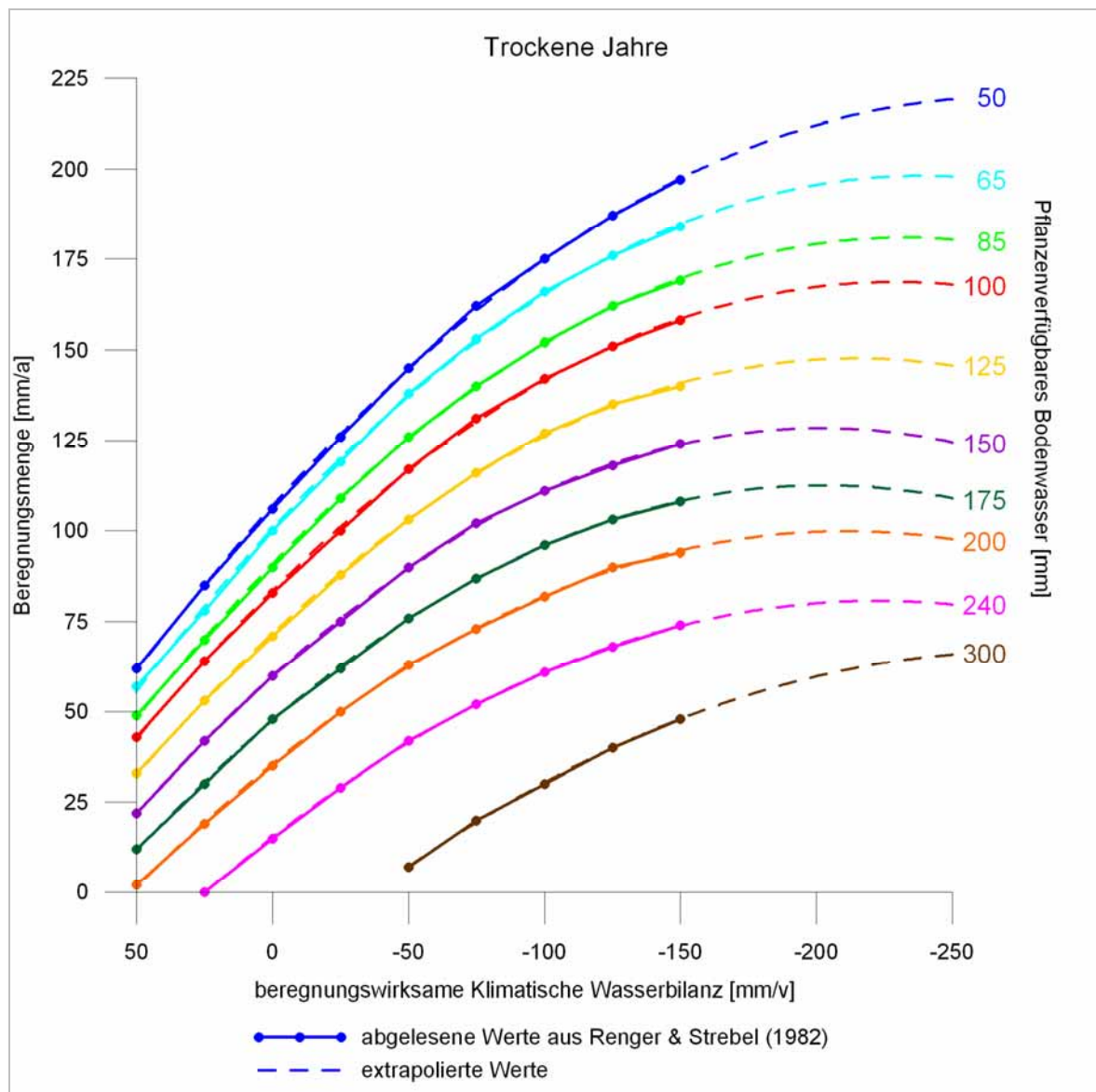


Abb. 28: Beziehung zwischen Klimatischer Wasserbilanz, Pflanzenverfügbarer Bodenwassermenge und der Beregnungsmenge bei Getreide und Hackfrüchten für trockene Jahre (nach RENGIER & STREBEL 1982, verändert).

Alle Rechnungen sind nach UBA (2007) für dreißigjährige Mittel im Abstand von zehn Jahren angefertigt worden. Für jeden Zeitabschnitt wurde die Verdunstung sowohl mit der HAU-DE-Formel nach DIN 19685 (DIN 1997) als auch mit der FAO-Grasreferenzverdunstung berechnet, um einen Vergleich der beiden Verfahren zu ermöglichen.

7 Ergebnisse

7.1 Berechnungsbedürftigkeit – mittlere Jahre

Die Berechnungsbedürftigkeit für mittlere Jahre ergibt sich aus der Mittelwertbildung der Berechnungsmengen der Fruchtarten Winterweizen, Wintergerste, Sommergerste, Zuckerrüben, Kartoffeln und Mais (RENGER & STREBEL 1982).

Die Berechnungsbedürftigkeit ist von RENGER & STREBEL (1982) nach der mittleren Berechnungsmenge (mBm) für einen Berechnungseinsatz bei 40 % nutzbarer Feldkapazität (nFK) in sechs Klassen eingeteilt worden (s. Tab. 5). Für die Einteilung der bis zum Jahr 2100 prognostizierten Daten musste eine weitere Klasse für die mittleren Jahre (Klasse 7) und noch eine weitere für die trockenen Jahre (Klasse 8) hinzugefügt werden.

Tab. 5: Einteilung der Berechnungsklassen
(nach RENGER & STREBEL 1982, verändert).

Klasse	mittlere Berechnungsmenge [mm/a]	Berechnungs- bedürftigkeit
1	0–25	keine
2	25–50	sehr geringe
3	50–75	geringe
4	75–100	mittlere
5	100–125	hohe
6	125–150	sehr hohe
7	150–175	extrem hohe
8	175–200	sehr extrem hohe

In den Bereichen der grundwassernahen Böden sind besonders die Beregnungsklassen 1 und 2 vertreten, auf diesen Flächen ist keine zusätzliche Beregnung notwendig.

48

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040

Abbildung 30 stellt die Beregnungsbedürftigkeit für den Zeitraum 2011–2040 dar. Der größte Teil der Ackerflächen liegt im Bereich der Klassen 4 und 5. Im südlichen Teil des Gebietes treten Flächen mit einer sehr hohen Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 6) auf.

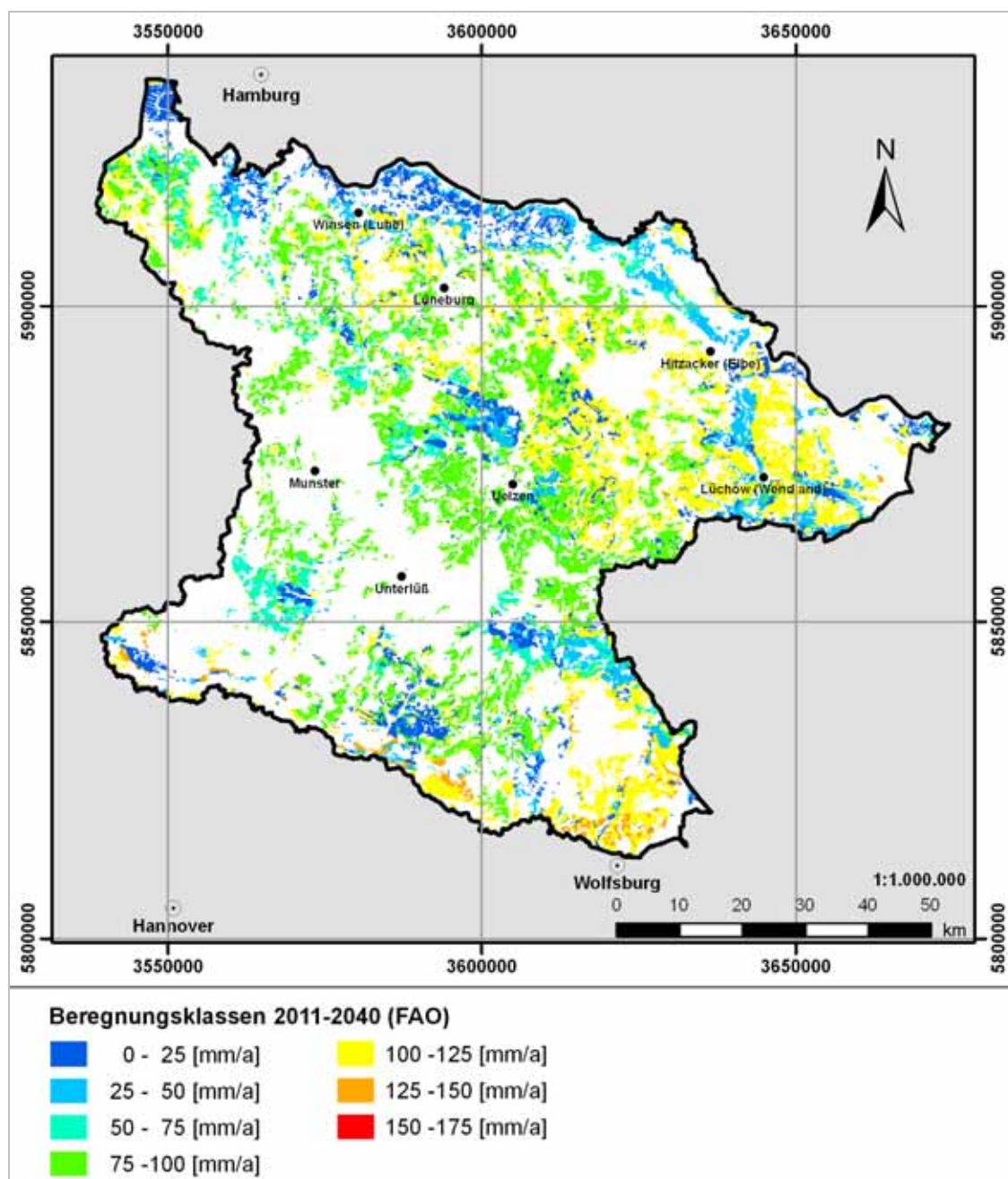


Abb. 30: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040 (FAO).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2021–2050

Besonders im Bereich nördlich von Wolfsburg hat sich die Beregnungsbedürftigkeit erhöht.

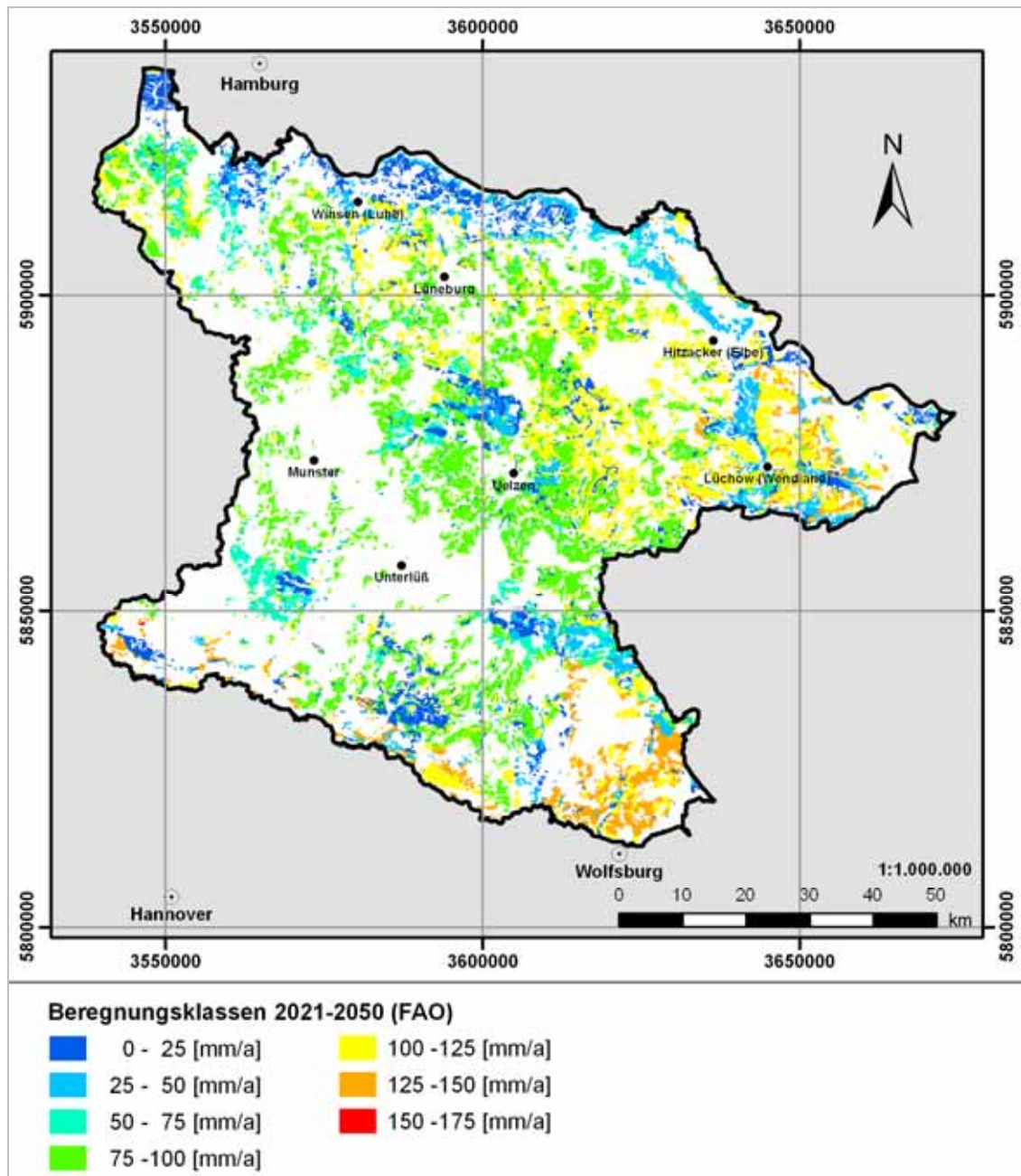


Abb. 31: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2021–2050 (FAO).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2031–2060

Abbildung 32 zeigt, dass die Beregnungsbedürftigkeit mit der Zeit weiter ansteigt.

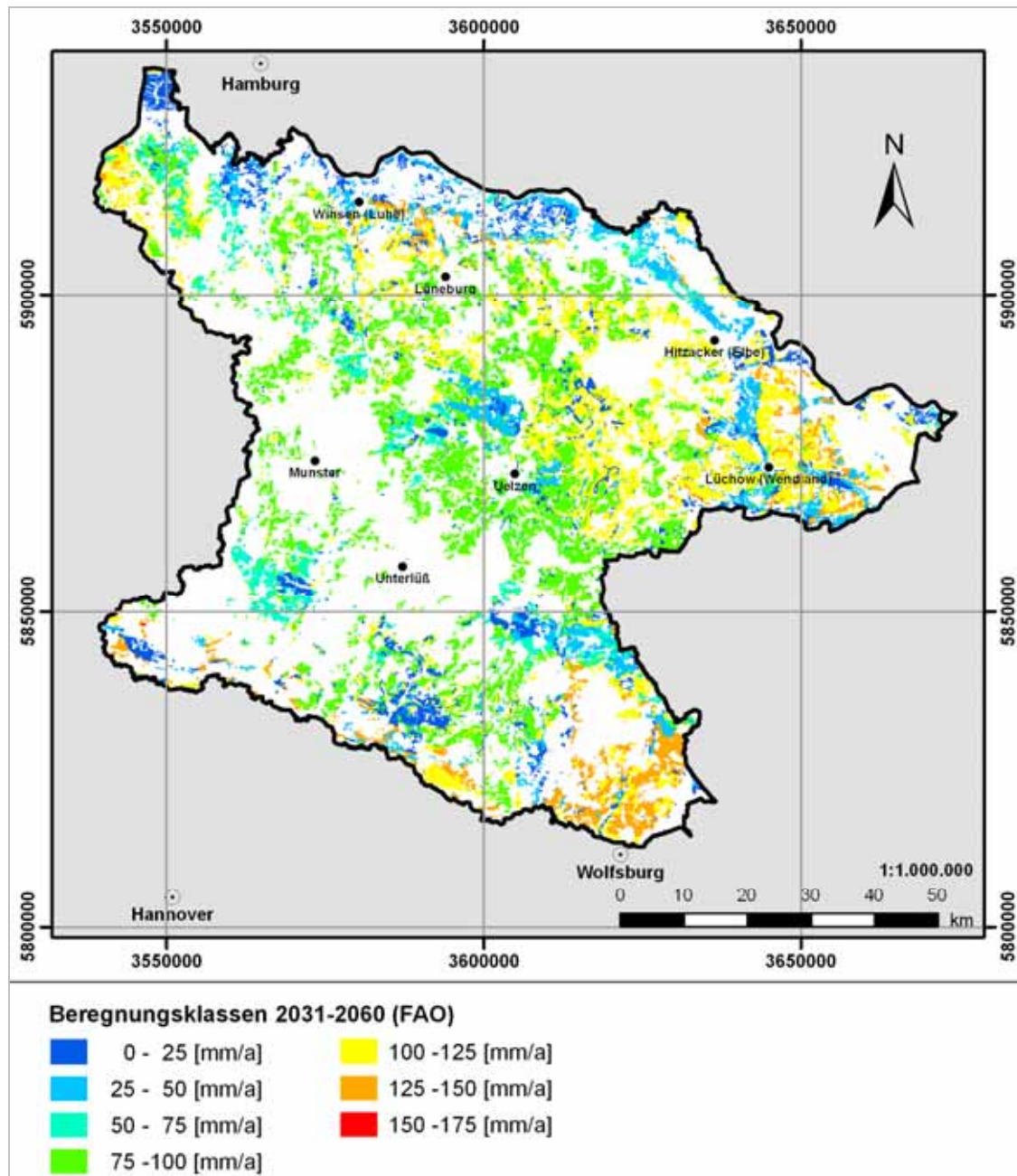


Abb. 32: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2031–2060 (FAO).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070

Der Bereich nördlich von Wolfsburg ist trockener geworden und weist zum größten Teil Flächen mit sehr hoher Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 6) auf.

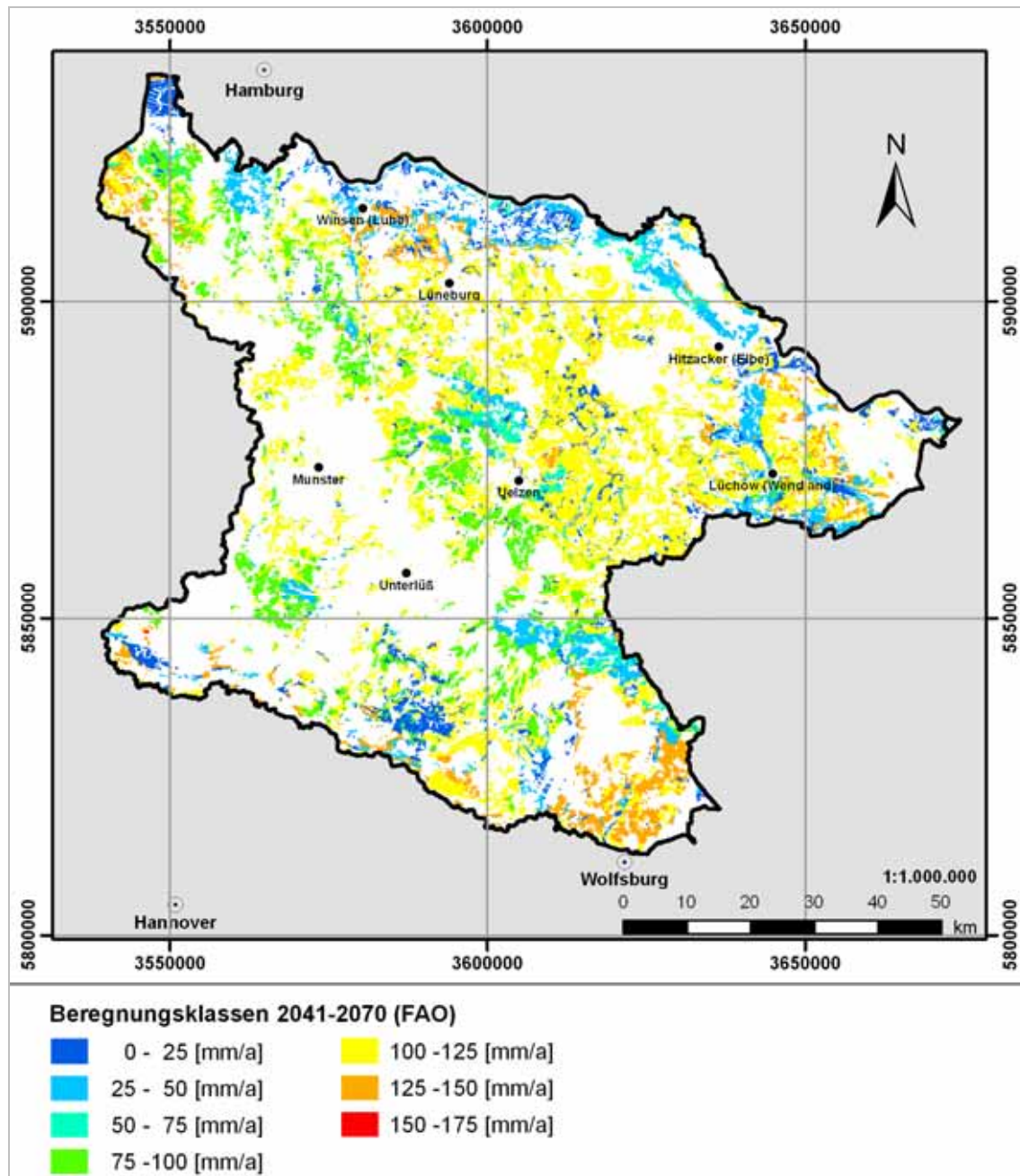


Abb. 33: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070 (FAO).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2051–2080

Im Vergleich zum Zeitraum 2041–2070 ist in Abbildung 34 ein weiterer deutlicher Anstieg in der Beregnungsbedürftigkeit sichtbar.

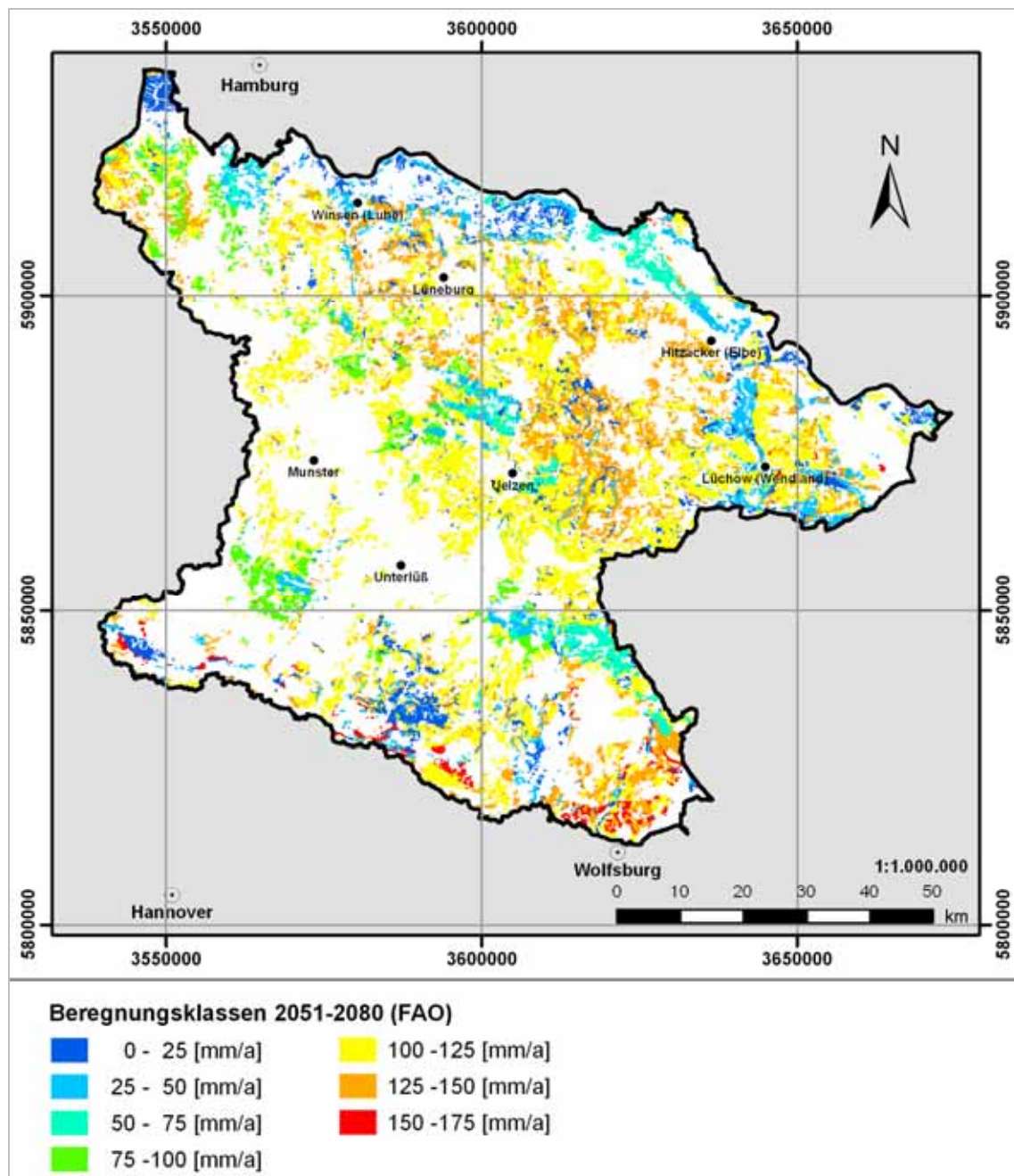


Abb. 34: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2051–2080 (FAO).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2061–2090

Die Veränderungen der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit für die Zeiträume von 2051–2080 bis 2061–2090 sind sehr gering.

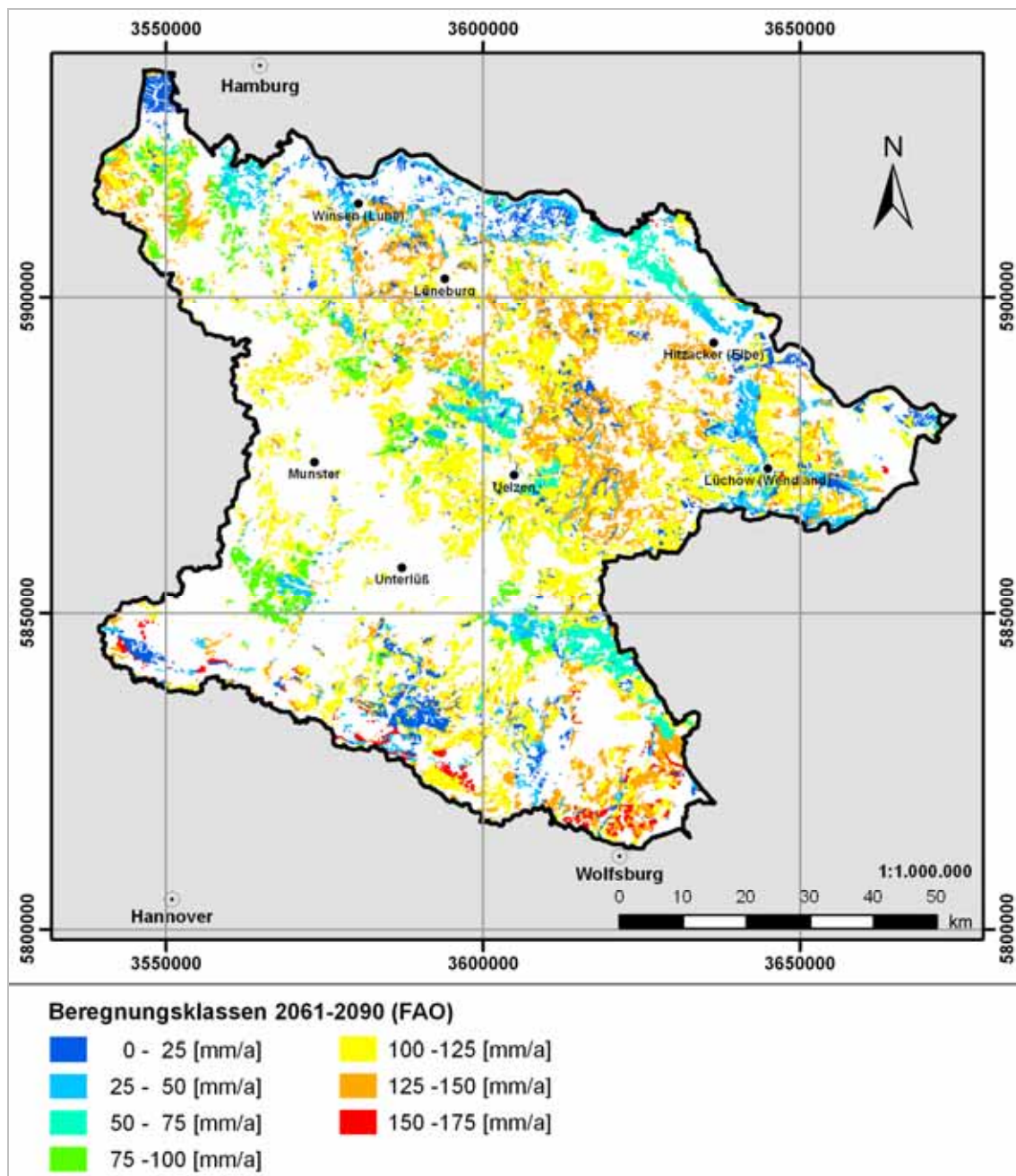


Abb. 35: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2061–2090 (FAO).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100

Im Vergleich zu Abbildung 33 ist die mittlere Beregnungsmenge weiter angestiegen. Die Flächen der Klassen 1, 2 und 3 haben sich kaum verändert. Auch in der Klasse 4 gibt es

nur wenige Veränderungen, diese sind besonders im Raum um Uelzen zu erkennen. Ein deutlicher Zuwachs wird hingegen im Bereich der Klassen 6 und 7 sichtbar. Das Gebiet westlich von Uelzen ist wesentlich trockener geworden, ebenso der Bereich nördlich von Wolfsburg.

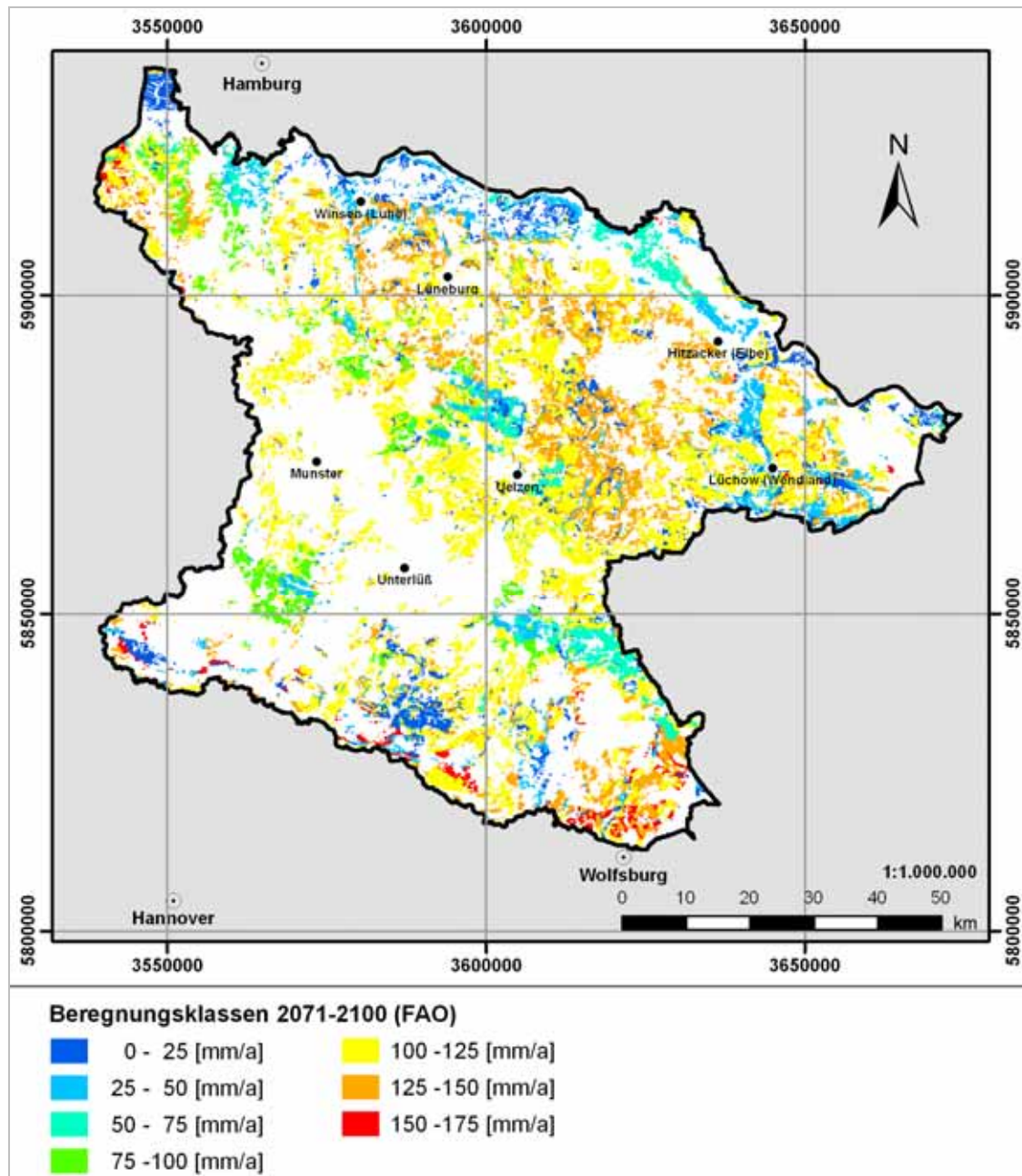


Abb. 36: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100 (FAO).

Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit

Die berechnete potenzielle Beregnungsfläche (Klasse 3–7) liegt für den Zeitraum 1961–1990 bei 2 396 km² (239 600 ha), dies entspricht 75 % der Ackerflächen und 29 % des gesamten Untersuchungsgebietes. Bis 2071–2100 steigt die potenzielle Beregnungsfläche auf 2 523 km² (252 300 ha) an. Damit steigt der Anteil der potenziellen Beregnungsfläche an den Ackerflächen auf 80 %. Der Anteil der potenziellen Beregnungsflächen am gesamten

Untersuchungsgebiet steigt auf 30 %. Da RENGGER & STREBEL (1981b) für die Berechnung der Beregnungsfläche die Flächen ab Beregnungsklasse 3 verwendet haben, dienen in diesem Bericht die Beregnungsklassen 3–7 für die Berechnung der Beregnungsfläche. Die tatsächliche Beregnungsfläche ist allerdings kleiner als berechnet, da Flächen mit einer geringen Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 3) eher nicht beregnet werden. In Tabelle 6 ist zusätzlich die potenzielle Beregnungsfläche für die Klassen 2–7 und 4–7 aufgeführt.

Tab. 6: Potenzielle Beregnungsfläche im Verlauf der Zeit.

Zeitraum	Klasse 1–7		Klasse 2–7		Klasse 3–7		Klasse 4–7	
	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]	[km ²]	[%]
1961–1990	3 193	100	2 737	100	2 396	100	1 871	100
2011–2040	3 186	100	2 778	101	2 396	100	2 161	115
2021–2050	3 118	98	2 710	99	2 329	97	2 094	112
2031–2060	3 154	99	2 800	102	2 400	100	2 180	117
2041–2070	3 003	94	2 708	99	2 294	96	2 209	118
2051–2080	3 151	99	2 857	104	2 523	105	2 358	126
2061–2090	3 152	99	2 857	104	2 523	105	2 358	126
2071–2100	3 151	99	2 856	104	2 523	105	2 358	126

Niedersachsen weist mit 8,7 % den höchsten Anteil an Beregnungsflächen in Deutschland auf (FRICKE & HEIDORN 2003). Laut JOSOPAIT, RAISSI & MÜLLER (2008) hat sich die Beregnungsfläche in Niedersachsen seit 1959 mehr als verdreifacht und stieg von 70 000 ha (1959) auf über 235 000 ha (FRICKE & HEIDORN 2003) an. Damit stimmen die berechneten Größenordnungen mit den tatsächlichen überein. Der berechnete Wert ist höher, da nicht alle Flächen, die potenziell beregnet werden müssen, auch zusätzlich mit Wasser versorgt werden. Des Weiteren ist von einem Anstieg der Beregnungsflächen auszugehen (s. Tab. 6). Die Zahlen von FRICKE & HEIDORN (2003) beziehen sich zwar auf ganz Niedersachsen, das Untersuchungsgebiet macht aber einen Großteil der in Niedersachsen beregneten Flächen aus. Nach FRICKE & HEIDORN (2003) sind die Landkreise Gifhorn, Uelzen, Lüchow-Dannenberg, Lüneburg, Celle, Peine-Nord und Hannover-Nord die Hauptberegnungsregionen Niedersachsens. Davon liegen die Landkreise Uelzen, Lüchow-Dannenberg und Lüneburg ganz im Untersuchungsgebiet, der Landkreis Celle befindet sich zum größten Teil darin.

Die Zunahme der Beregnungsflächen ist auch in Tabelle 7 erkennbar. Von 1961–1990 nehmen die Flächen der Beregnungsklasse 1 (keine Beregnungsbedürftigkeit) bis zum Zeitraum 2071–2100 um 5,3 % ab und gehen in Klassen höherer Beregnungsbedürftigkeit über. Die Beregnungsflächen der Klasse 2 (sehr geringe Beregnungsbedürftigkeit) nehmen zur Mitte des Jahrhunderts zu, zum Ende des Jahrhunderts liegen sie aber nur um 1,2 % unter dem Wert von 1961–1990. Eine starke Abnahme des Flächenanteils verzeichnen auch die Beregnungsklassen 3 (geringe Beregnungsbedürftigkeit) und 4 (mittlere Beregnungsbedürftigkeit), sie nehmen bis 2071–2100 um 4,0 % bzw. 33,4 % ab. Im gleichen Maße, wie sich die Beregnungsflächen der Klassen 1–4 reduzierten, nahmen die Beregnungsflächen der Klassen 5–7 zu. Die Beregnungsklasse 5 (hohe Beregnungsbedürftigkeit) legt von 1961–1990 bis 2071–2100 um 19,5 % zu. Für die Beregnungsflächen der Klasse 6 (sehr hohe Beregnungsbedürftigkeit) ist sogar eine Zunahme um 22,3 % zu verzeichnen. Die Beregnungsklasse 7 (extrem hohe Beregnungsbedürftigkeit) wird erst 2051–2080 erreicht, und ihr An-

teil steigt bis 2071–2100 auf 2,2 %. Somit wird deutlich, dass nicht nur die Berechnungsfläche zunimmt, sondern auch die Berechnungsbedürftigkeit der einzelnen Flächen.

Tab. 7: Entwicklung der Berechnungsklassen im Verlauf der Zeit.

Zeitraum	Klasse 1 [%]	Klasse 2 [%]	Klasse 3 [%]	Klasse 4 [%]	Klasse 5 [%]	Klasse 6 [%]	Klasse 7 [%]
1961–1990	14,7	11,8	9,2	39,7	24,3	0,2	0,0
2010–2040	12,8	12,0	7,4	35,0	30,9	1,9	0,0
2020–2050	13,1	12,2	7,5	33,6	26,4	7,1	0,0
2030–2060	11,2	12,7	7,0	35,0	25,9	8,2	0,0
2040–2070	9,8	13,8	2,8	16,0	48,2	9,4	0,0
2050–2080	9,4	10,6	5,2	6,5	43,6	22,8	1,9
2060–2090	9,4	10,6	5,2	6,5	43,6	22,8	2,0
2070–2100	9,4	10,6	5,2	6,3	43,8	22,5	2,2

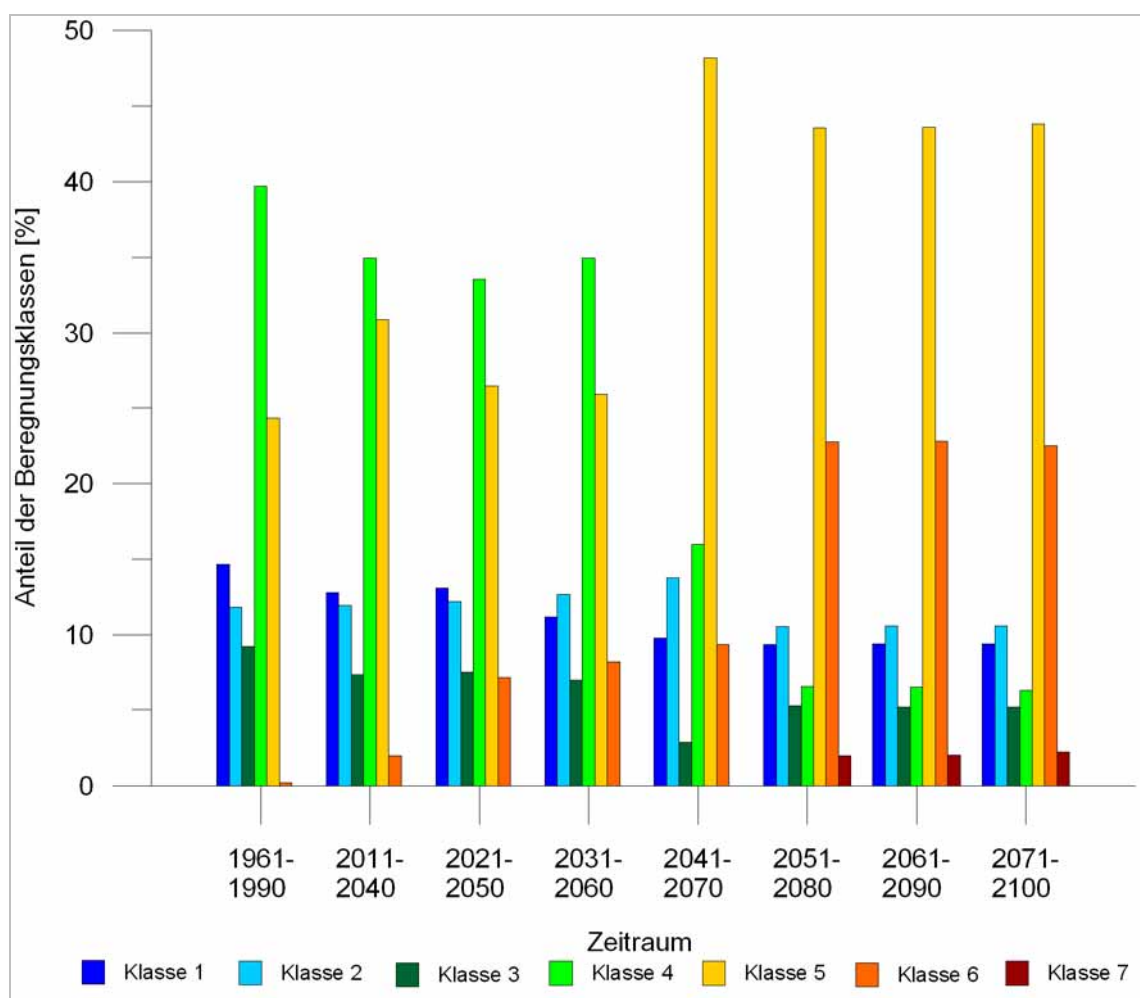


Abb. 37: Anteil der einzelnen Berechnungsklassen an der gesamten Ackerfläche.

Abbildung 37 zeigt den Anteil der Beregnungsklassen am gesamten Untersuchungsgebiet in Prozent. Die Abbildung verdeutlicht den Trend, der in Tabelle 7 zahlenmäßig erfasst ist. Die Klassen 1–3 verändern sich wenig, nehmen aber tendenziell eher ab. Klasse 4 zeigt eine starke Abnahme bis zum Ende des Jahrhunderts. Dagegen nehmen die Klassen 5–7 stark zu. Für das Untersuchungsgebiet bedeutet das einen Übergang von Flächen ohne oder mit geringer Beregnungsbedürftigkeit in Flächen höherer Beregnungsbedürftigkeit.

Die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit ist für einen Mittelwert aus Getreide und Hackfrüchten berechnet worden. RINGER & STREBEL (1982) haben für jede Fruchtart einen eigenen Faktor ermittelt, mit dem die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit fruchtartenspezifisch angegeben werden kann (s. Tab. 8).

Tab. 8: Ermittlung der nutzungsspezifischen Beregnungsmenge, bezogen auf die einzelnen Fruchtarten (nach RINGER & STREBEL 1982, verändert).

Fruchtart	Faktor zur Ermittlung der nutzungsspezifischen Beregnungsmenge
Winterweizen	$1,12 \times + 5$
Wintergerste	$0,94 \times - 8$
Wintergerste mit Zwischenfrucht	$1,25 \times + 10$
Sommergerste	$1,02 \times - 5$
Zuckerrüben	$1,20 \times - 1$
Kartoffeln	$1,04 \times - 6$
Mais	$1,00 \times - 23$
Grünland	$1,25 \times + 56$

7.2 Beregnungsbedürftigkeit – trockene Jahre

Nach der statistischen Häufigkeitsverteilung tritt alle fünf Jahre ein Trockenjahr auf, in dem ein überdurchschnittlicher Beregnungsbedarf besteht. (RINGER & STREBEL 1982).

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040

Abbildung 38 zeigt die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit von 2011–2040 für trockene Jahre. Im Vergleich zum gleichen Zeitraum der mittleren Jahre ist eine wesentlich höhere Beregnungsbedürftigkeit zu erkennen. Während für die mittleren Jahre im Zeitraum 2011–2040

die Beregnungsklasse 5 die höchste ist, weist der gleiche Zeitraum für trockene Jahre sogar die Beregnungsklasse 8 auf.

Sogar die Bereiche der Niederungen, die sich für mittlere Jahre kaum verändern und stets geringen Beregnungsbedarf aufweisen, zeigen für die trockenen Jahre höhere Beregnungsklassen auf.

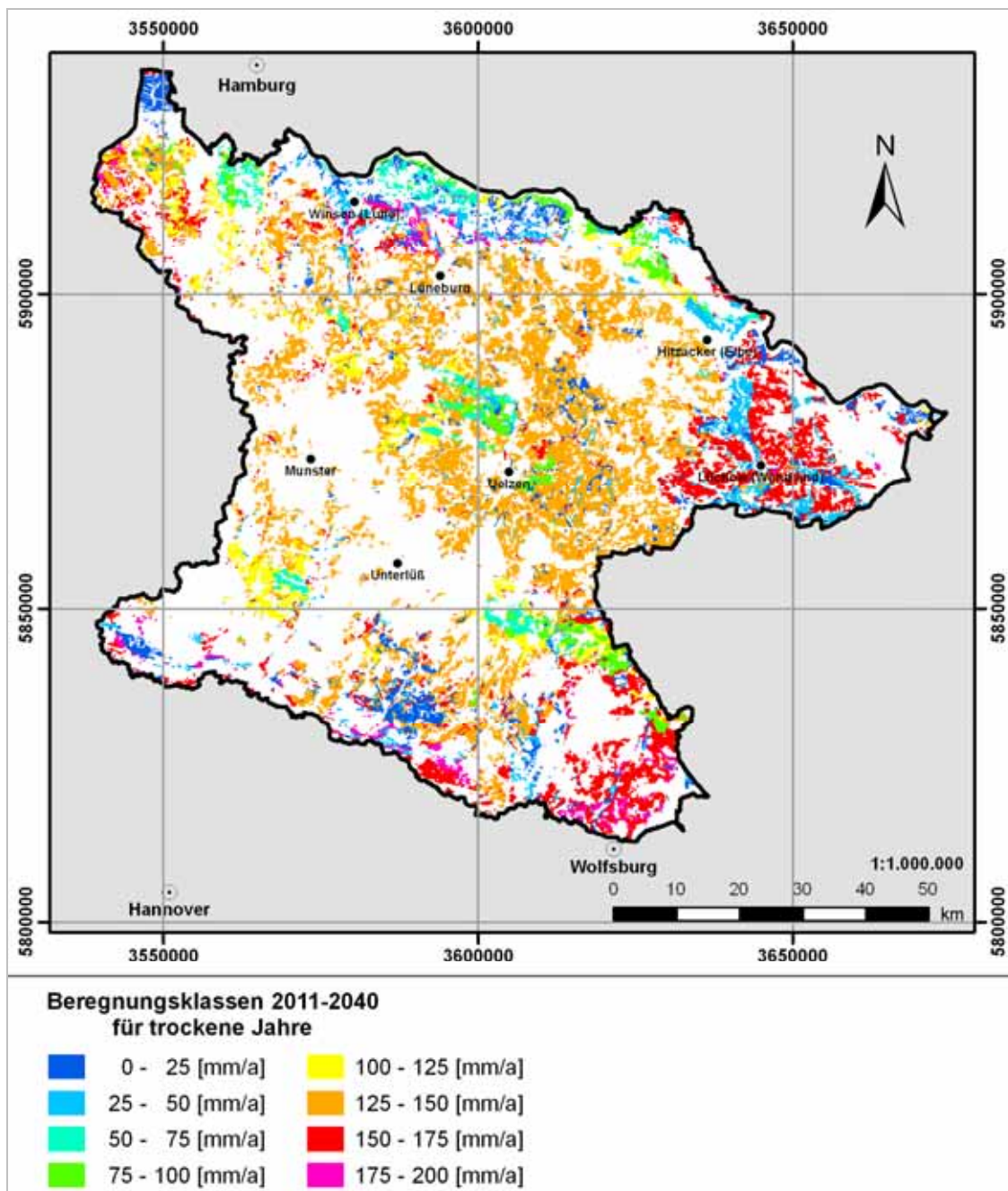


Abb. 38: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040 für trockene Jahre.

Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070

Für den Zeitraum 2041–2070 der trockenen Jahre fällt die Zunahme der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit im Vergleich zum vor-

gen Zeitraum drastisch aus. Abbildung 39 zeigt, dass die meisten Flächen des Untersuchungsgebietes im Bereich extrem hoher Beregnungsbedürftigkeit (Beregnungsklasse 7) liegen.

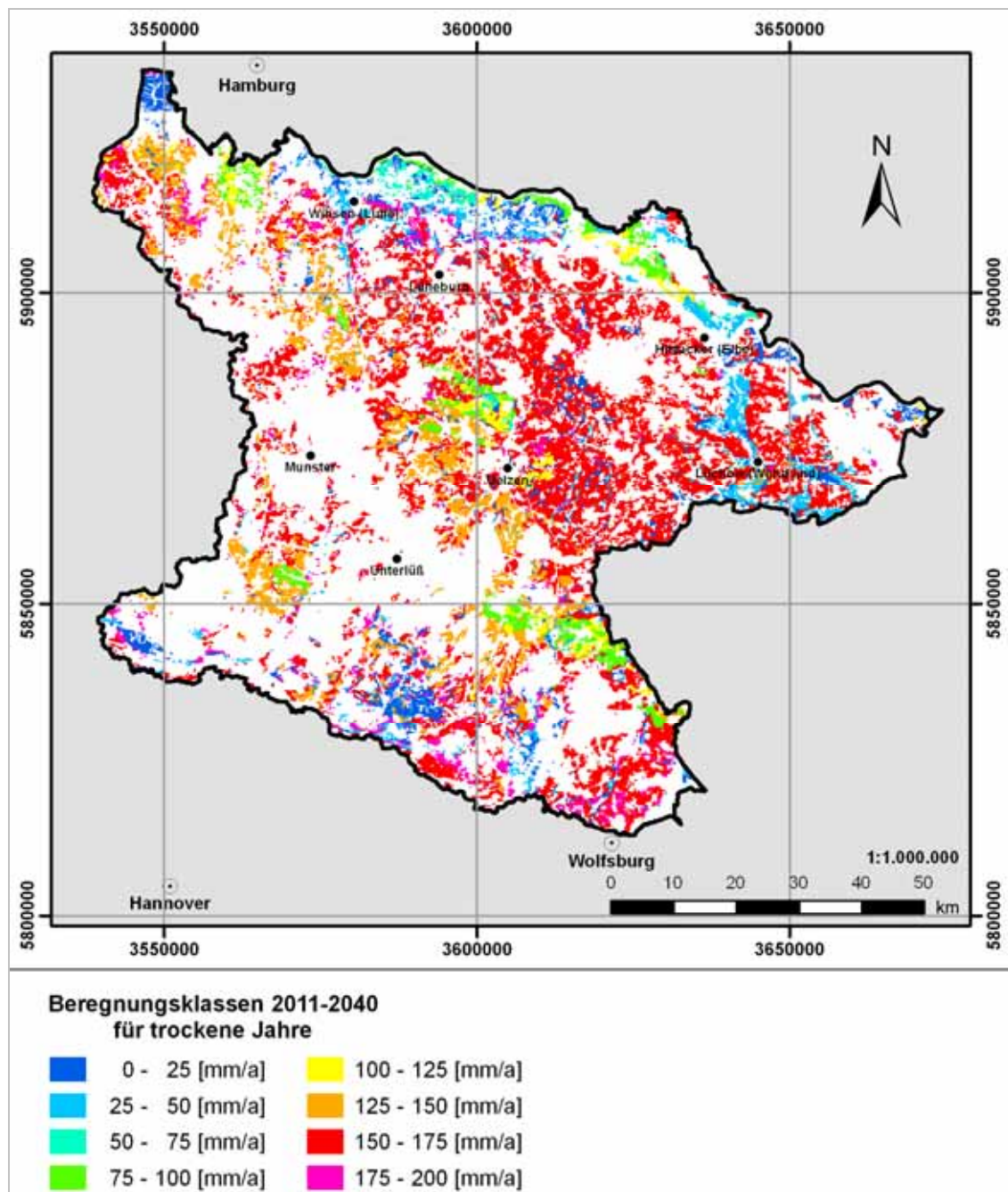


Abb. 39: Potenzielle mittlere Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070 für trockene Jahre.

7.3 Einfluss des Bodens

Die dominierende Bodenart des Untersuchungsgebietes ist Sand, daneben kommen Schluff, Lehm, Ton und Torf vor. In der Regel ist die Feldkapazität von sandigen Böden am niedrigsten und von Torfen am höchsten. In den folgenden Detailkarten (Abb. 40 und 41) sind die Beregnungsklassen für die verschiedenen Bodentypen angegeben. Dabei handelt es sich um Mittelwerte; im Text sind die Beregnungsklassen der jeweiligen Bodentypen differenzierter betrachtet.

Einfluss des Bodens im Detailgebiet nordöstlich von Uelzen

Die höchste Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 6–7) weisen Gley-Podsol am Ostrand des Gebietes auf. Braunerde-Podsol ist ähnlich trockengefährdet, die Flächen liegen alle im Bereich der Beregnungsklasse 6. Nur etwas weniger Beregnung (Klasse 5–6) benötigen die Flächen der Bodentypen Podsol, Pseudogley-Podsol und Podsol-Braunerde. Die Flächen der Braunerde und Pseudogley-Braunerde liegen durchweg in Klasse 5 und weisen damit eine hohe Beregnungsbedürftigkeit auf. Die Gleye werden den Klassen 2, 4 und 5 zugeordnet. Die Beregnungsklasse 2 tritt oft direkt an Fließgewässern auf. Die Flächen der Beregnungsklasse 3 sind besonders von Auenböden geprägt. Auenböden, Auenboden-Pseudogley und Pseudogley-Auenboden nördlich der Elbe liegen im Bereich geringer Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 3). Auenboden-Pseudogley und Pseudogley-Auenboden treten ausschließlich nördlich der Elbe auf. Am Westrand und am Ostrand des Detailgebietes tritt Gley-Pseudogley auf. Im Westen liegen die Flächen im Bereich der Beregnungsklasse 3, im Osten im Bereich ohne Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 1). Am Ostrand tritt außerdem Pseudogley-Parabraunerde auf. Diese liegt mit Klasse 3 im Bereich geringer Beregnungsbedürftigkeit. Nur wenige Flächen weisen als Bodentyp Parabraunerde auf. Die größte Verbreitung ist am Ostrand des Detailgebietes zu verzeichnen. Die Flächen werden der Klasse 2 (sehr geringe Beregnungsbedürftigkeit) zugeordnet. Die Gley-Auenböden nördlich der Elbe weisen

ebenfalls die Klasse 2 auf. Östlich von Hitzacker und südlich der Elbe befindet sich eine Anhäufung von Gley-Auenböden der Klasse 5. Podsol-Gley und Pseudogley-Gley liegen in Klasse 2 (sehr geringe Beregnungsbedürftigkeit). Ganz ohne Beregnung kommen nur die Böden aus Pseudogley sowie die Nieder- und Hochmoorböden aus.

In Abbildung 40 sind die Hauptbodentypen des Detailgebietes nordöstlich von Uelzen dargestellt. Die Zahlen geben die mittleren Beregnungsklassen von 2071–2100 wieder (HEIDT 2008).

Einfluss des Bodens im Detailgebiet nördlich von Wolfsburg

Die Flächen der Bodentypen Podsol-Pseudogley, Gley-Podsol und Pseudogley-Podsol sind in die höchsten Beregnungsklassen (Klasse 6 und 7) einzustufen. Der Gley-Podsol verteilt sich über das gesamte Gebiet, der Pseudogley-Podsol hingegen beschränkt sich auf den Südrand des Gebietes. Braunerde-Podsol liegt im Bereich der Beregnungsklasse 6. Braunerde mit Plaggenauflage, Podsol und Podsol-Braunerde zeichnen sich durch hohe (Klasse 5) bis sehr hohe (Klasse 6) Beregnungsbedürftigkeit aus. Braunerde und Pseudogley-Braunerde liegen im Bereich der Beregnungsklasse 5. Auffällig ist, dass die Gleyflächen drei Beregnungsklassen umfassen: Im Westen sind dies bevorzugt die Klassen 2 und 5, im Süden bis Südwesten sind die Klassen 5 und 7 stärker vertreten. Die Flächen mit den Bodentypen Parabraunerde und Pseudogley-Parabraunerde haben eine geringe Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 3). Podsol-Gley und Pseudogley-Gley liegen im Bereich sehr geringer Beregnungsbedürftigkeit (Klasse 2). Ohne Beregnung kommen die Bodentypen Erd-Hochmoor, Erd-Niedermoor, Gley mit Erd-Niedermoorauflage, Pseudogley und podsolierter Pseudogley aus.

In Abbildung 41 ist das Detailgebiet nördlich von Wolfsburg für den Zeitraum 2071–2100 abgebildet. Dargestellt sind die Hauptbodentypen und in Zahlen die mittleren Beregnungsklassen der Bodentypen (HEIDT 2008).

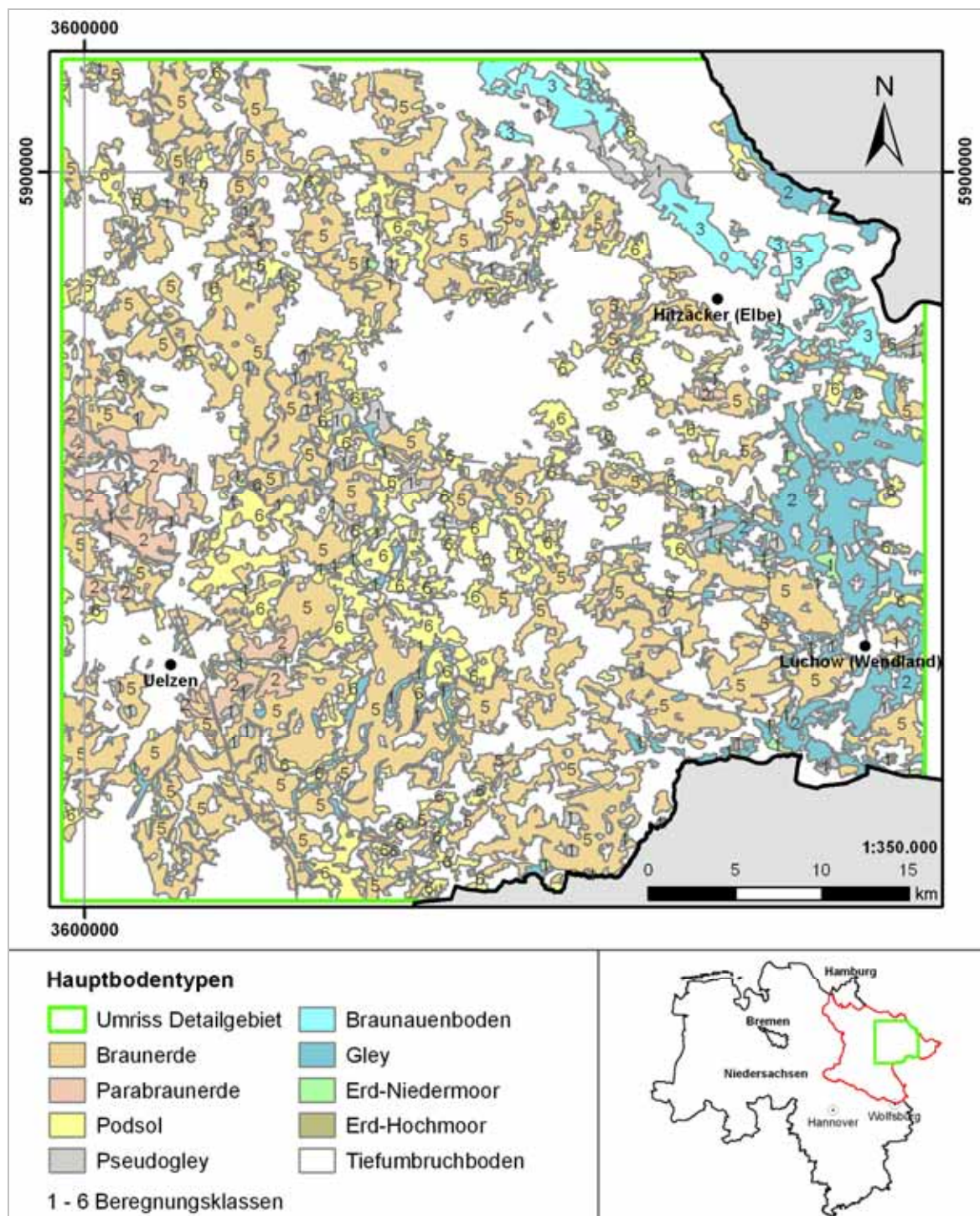


Abb. 40: Hauptbodentypen und Berechnungsklassen von 2071–2100 im Detailgebiet nordöstlich von Uelzen.

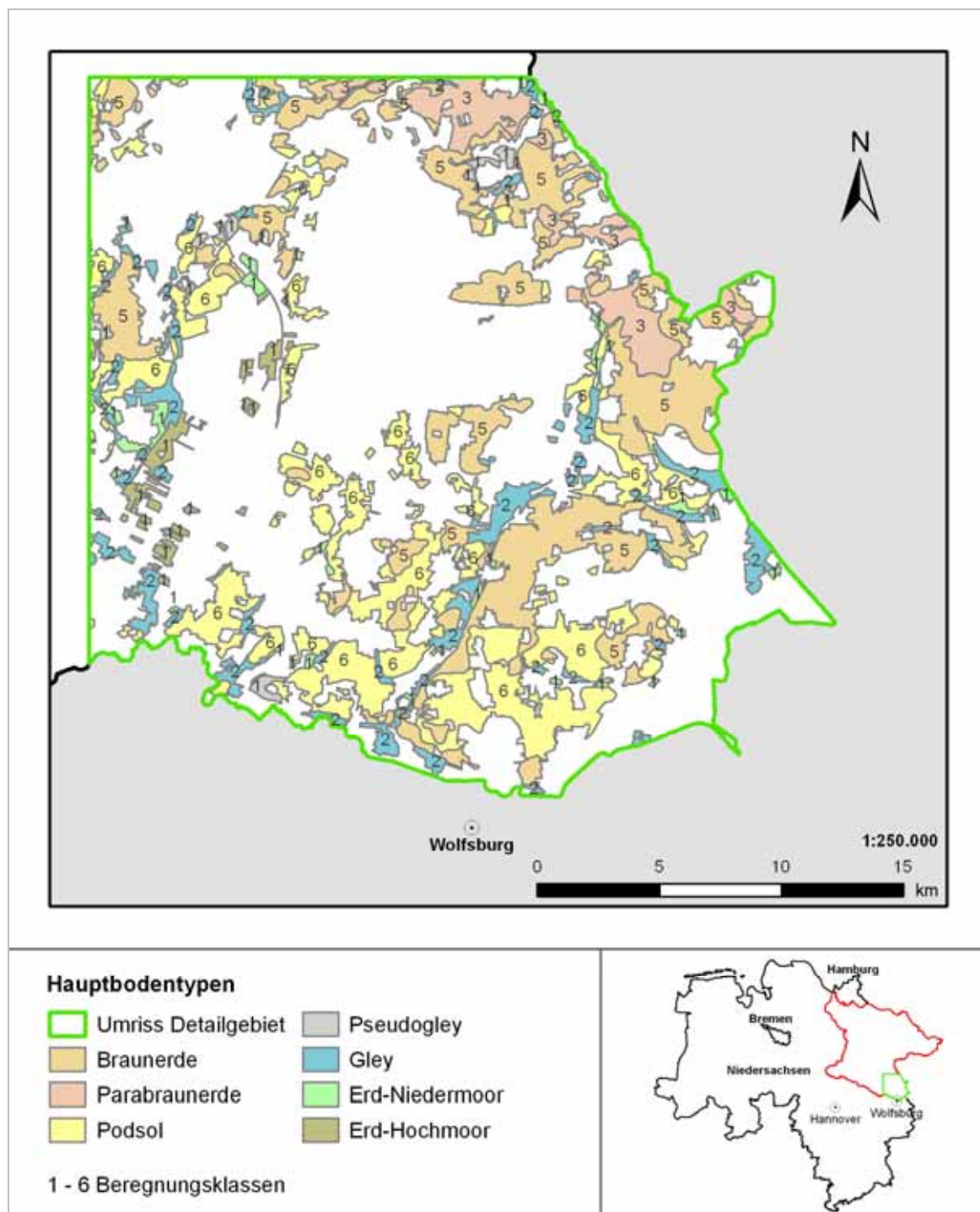


Abb. 41: Hauptbodentypen und Berechnungsklassen im Detailgebiet nördlich von Wolfsburg für den Zeitraum 2071–2100.

7.4 Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit

Um die Veränderung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit zu verdeutlichen, sind die prognostizierten Werte auf den Referenzzeitraum 1961–1990 bezogen worden. Die Werte der in die Zukunft projizierten Beregnungsklassen sind von den Werten der Klassen des Referenzzeitraums (1961–1990) abgezogen und als Differenz in den Abbildungen 42–44 dargestellt worden. Positive Werte zeigen eine Abnahme der Beregnungsbedürftigkeit, demzufolge wird es trockener, je negativer die Werte sind. In der Legende der Abbildungen 42–44

ist die mittlere Beregnungsmenge mit „mBm“ abgekürzt worden.

Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040

In Abbildung 42 ist zu erkennen, dass die Beregnungsbedürftigkeit bis 2011–2040 im Vergleich zum Referenzzeitraum (1961–1990) größtenteils gleich bleibt. Einige Bereiche sind durch einen Anstieg der Beregnungsbedürftigkeit um eine Klasse gekennzeichnet.

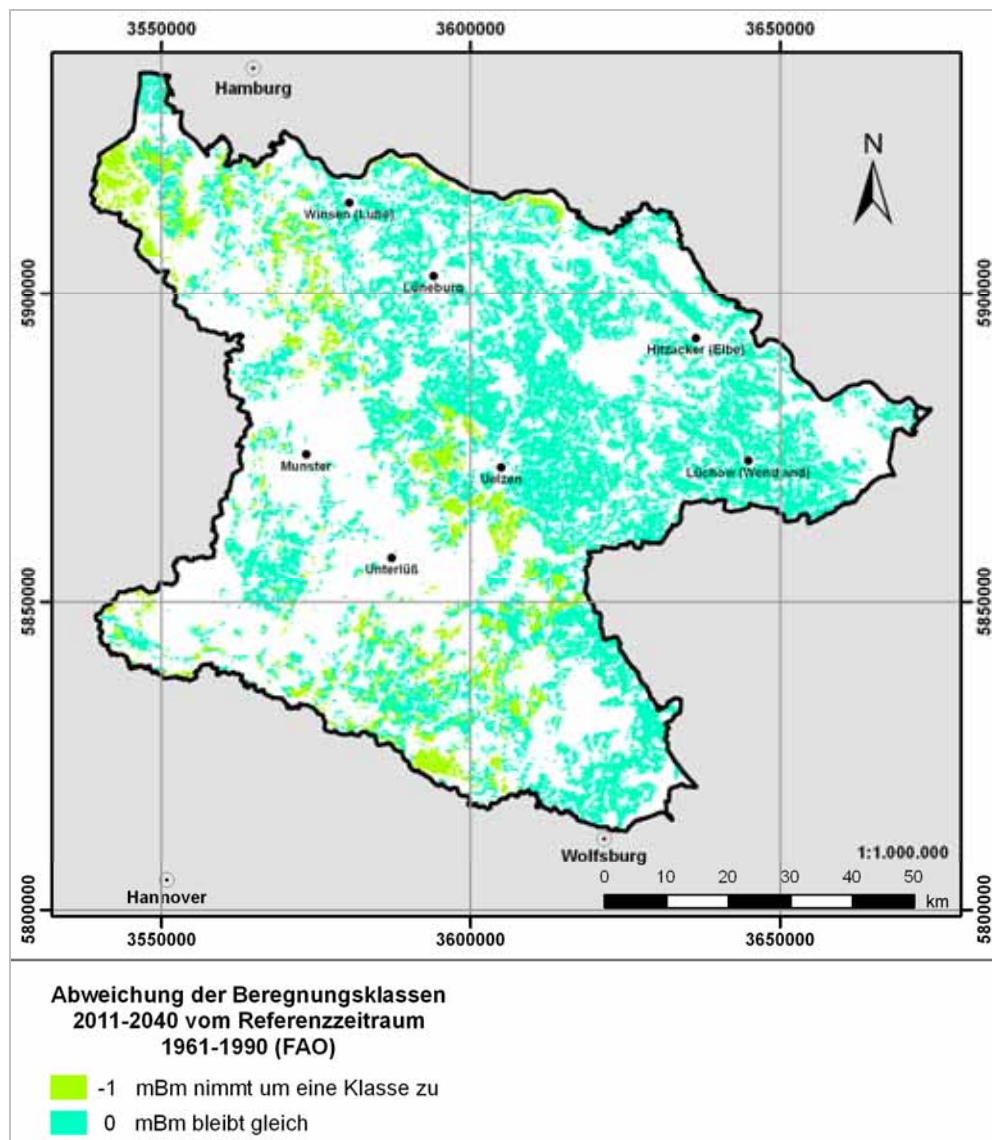


Abb. 42: Abweichung der Beregnungsklassen 2011–2040 vom Referenzzeitraum 1961–1990.

Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070

Im Vergleich zu Abbildung 42 hat die Beregnungsbedürftigkeit in Abbildung 43 zugenommen. Im nordwestlichen Teil des Gebietes liegt die Abweichung bei zwei Klassen.

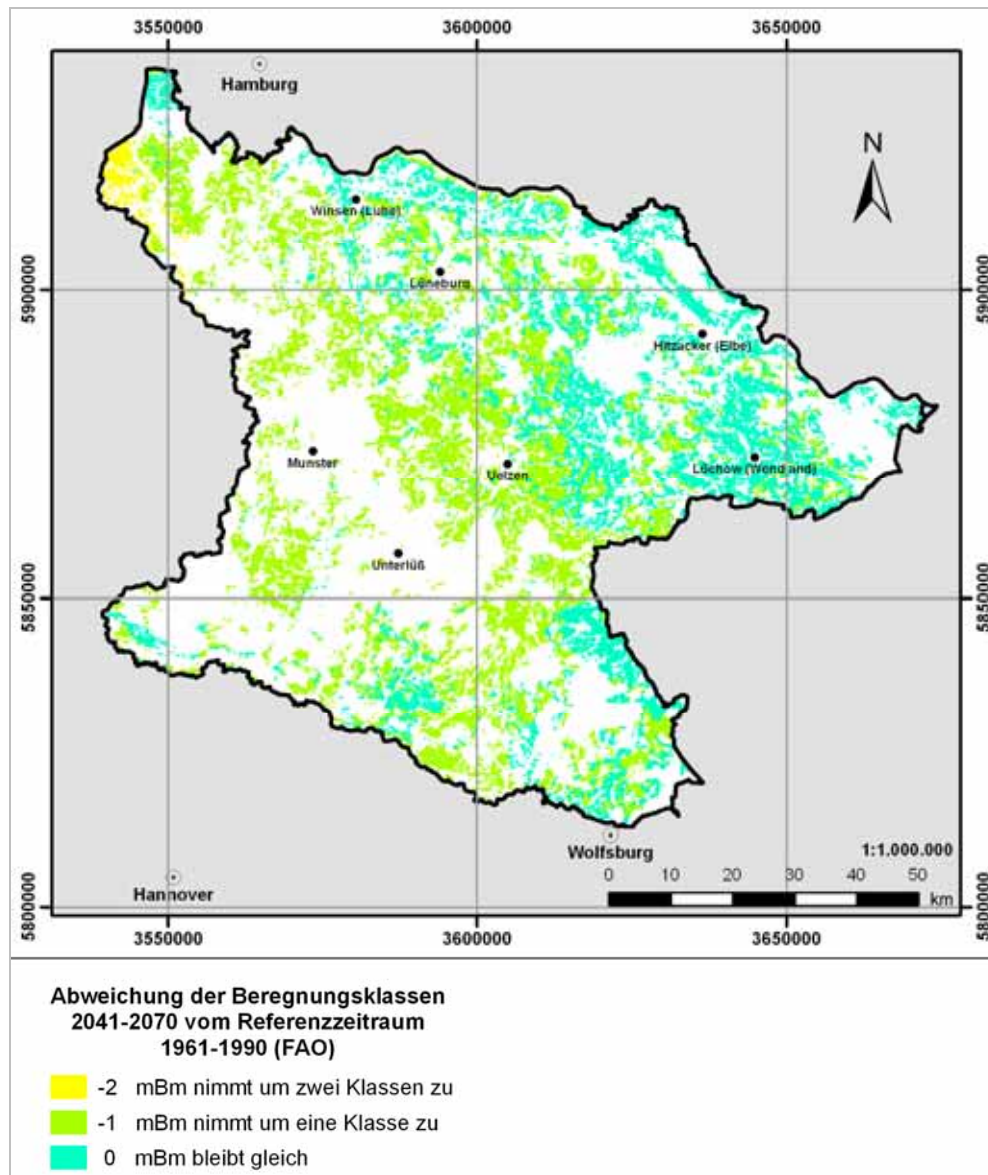


Abb. 43: Abweichung der Beregnungsklassen 2041–2070 vom Referenzzeitraum 1961–1990.

Entwicklung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100

Abbildung 44 zeigt, dass die Beregnungsbedürftigkeit im Vergleich zum Referenzzeitraum nur noch im Gebiet um Lüchow und an der Elbe unverändert bleibt. Der größte Teil des Ge-

bietes hat sich um eine Klasse erhöht. Im Gebiet nördlich von Uelzen und im nordwestlichsten Teil des Untersuchungsgebietes ist die Abweichung noch größer, dort hat sich die Beregnungsbedürftigkeit um zwei Klassen verändert, einige Flächen im Nordwesten sogar um drei.

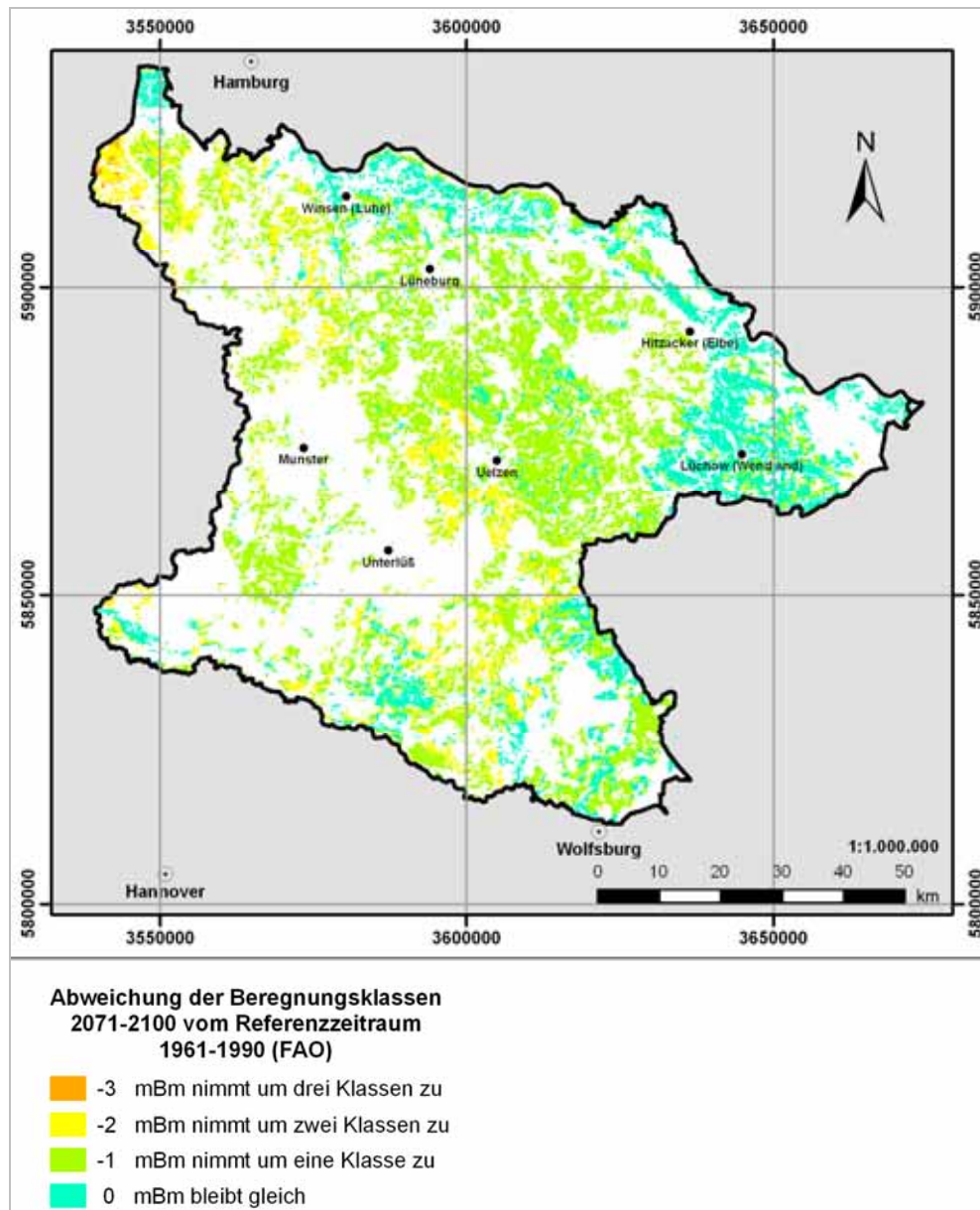


Abb. 44: Abweichung der Beregnungsklassen 2071–2100 vom Referenzzeitraum 1961–1990.

7.5 Potenzielle Beregnungswassermenge

Um abschätzen zu können, wie sich der Wasserbedarf für die Feldberegnung entwickelt, ist die potenzielle Beregnungswassermenge berechnet worden. Auf der Grundlage der Flächensumme der einzelnen Beregnungsklassen ist die minimale und die maximale potenzielle Beregnungswassermenge sowie ein Mittelwert errechnet worden. Die errechneten Wassermengen sind in Tabelle 9 und Abbildung 45 dargestellt. Es ist ein deutlicher Anstieg bis

zum Jahr 2100 von im Mittel etwa 70 Mio. m³ zu erkennen. Demnach steigt die minimale Wassermenge bis zum Ende des Jahrhunderts um 35,9 % im Vergleich zu 1961–1990. Die maximale Wassermenge steigt um 25,5 % an. Die Beregnungsbedürftigkeit der Flächen, die heute schon beregnet werden, steigt jedoch nicht überproportional. Die in Tabelle 9 aufgeführten potenziellen Beregnungswassermengen liegen erheblich über den tatsächlichen Wassermengen, die heute zur Feldberegnung genutzt werden.

Tab. 9: Prognostizierte potenzielle Beregnungswassermenge für das Untersuchungsgebiet.

Zeitraum	minimale Wassermenge [Mio. m ³ /a]	minimale Wassermenge [%]	maximale Wassermenge [Mio. m ³ /a]	maximale Wassermenge [%]	Mittelwert [Mio. m ³ /a]	Mittelwert [%]
1961–1990	198	100,0	278	100,0	238	100,0
2011–2040	211	106,6	290	104,3	251	105,3
2021–2050	215	108,6	295	106,1	255	107,1
2031–2060	214	108,1	293	105,4	254	106,5
2041–2070	242	122,2	321	115,5	282	118,3
2051–2080	268	135,4	348	125,2	308	129,4
2061–2090	268	135,4	348	125,2	308	129,4
2071–2100	269	135,9	349	125,5	309	129,8

Für das Jahr 1981 haben RINGER & STREBEL (1981b) einen mittleren Beregnungswasserbedarf für Niedersachsen von ca. 140 Mio. m³/a errechnet. JOSOPAIT, RAISSI & MÜLLER (2008) berechneten für Niedersachsen einen mittleren Beregnungswasserbedarf von ca. 180–230 Mio. m³/a. Für das Jahr 2002 hat das Statistische Bundesamt für Niedersachsen eine reale Bewässerungsmenge von knapp 51 Mio. m³/a errechnet (LSKN 2008). In Tabelle 9 sind die für die Zukunft prognostizierten potenziellen Beregnungswassermengen für das Untersuchungsgebiet dargestellt. Die Werte liegen auch hier in der gleichen Größenordnung und sind aus den zuvor genannten Gründen wieder etwas höher. So liegt die mittlere potenzielle Beregnungswassermenge für den Zeitraum 2071–2100 bei ca. 300 Mio. m³/a.

Bei der Beregnungswassermenge sollte beachtet werden, dass die Nettobelastung des Grundwassers nur bei etwa 70 % liegt, da ca. 30 % der berechneten Wassermenge wieder versickern (WESSOLEK et al. 1988).

Im Folgenden sind die berechneten potenziellen Beregnungswassermengen dargestellt. Abbildung 45 informiert über die potenzielle Wassermenge für die Feldberegnung in Mio. m³/a für das gesamte Untersuchungsgebiet. Die Abbildungen 46–57 zeigen die potenziellen Beregnungswassermengen für die einzelnen Grundwasserkörper des Untersuchungsgebietes. Zwischen den Wassermengen der einzelnen Grundwasserkörper sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Die flächenmäßig größten Grundwasserkörper des Untersuchungsgebietes sind „Ilmenau rechts“ und „Ilmenau links“ (Abb. 6). Innerhalb der Grundwasserkörper weisen sie mit bis zu 80 Mio. m³/a den höchsten Wasserbedarf auf.

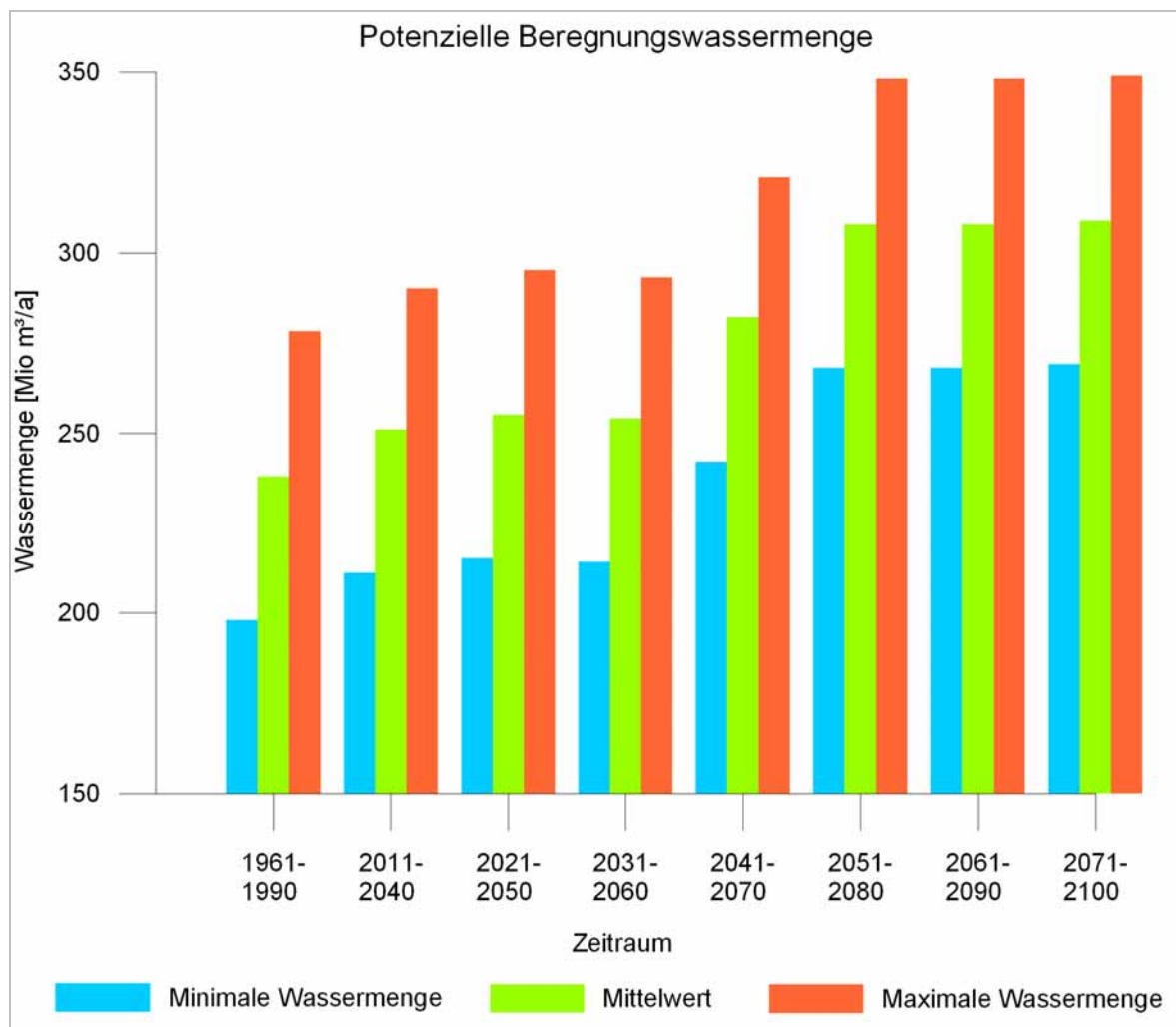


Abb. 45: Potenzielle Beregnungswassermenge in Mio. m³/a für die Grundwasserkörper des gesamten Untersuchungsgebietes.

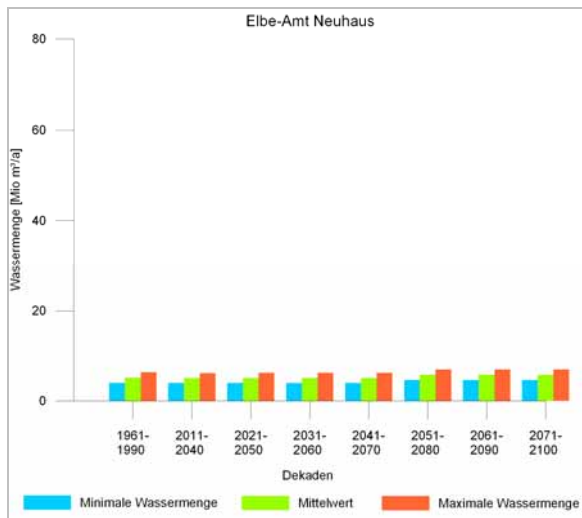


Abb. 46: Potenzielle Beregnungswassermenge für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers „Elbe Amt Neuhaus“.

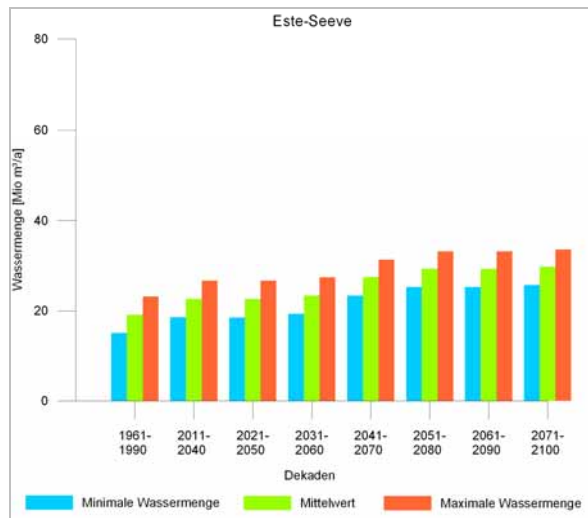


Abb. 47: Potenzielle Beregnungswassermenge für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers „Este-Seeve“.

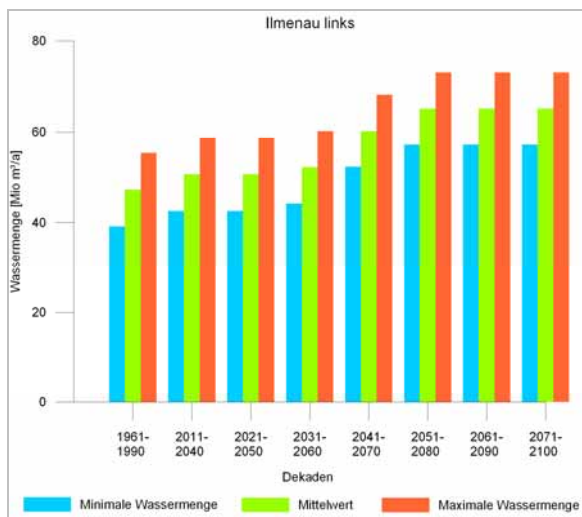


Abb. 48: Potenzielle Beregnungswassermenge für den Grundwasserkörper „Ilmenau links“.

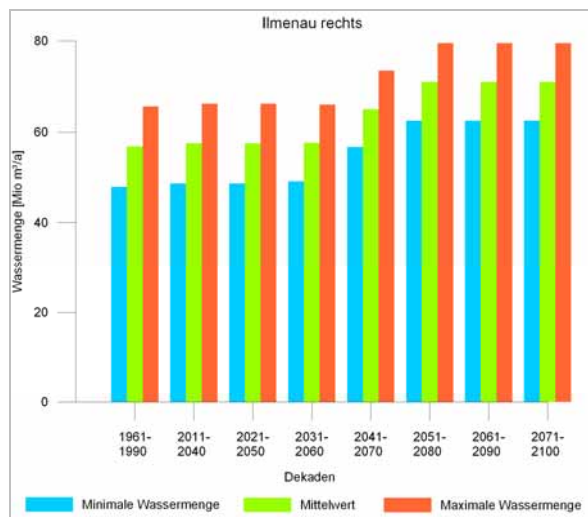


Abb. 49: Potenzielle Beregnungswassermenge für den Grundwasserkörper „Ilmenau rechts“.

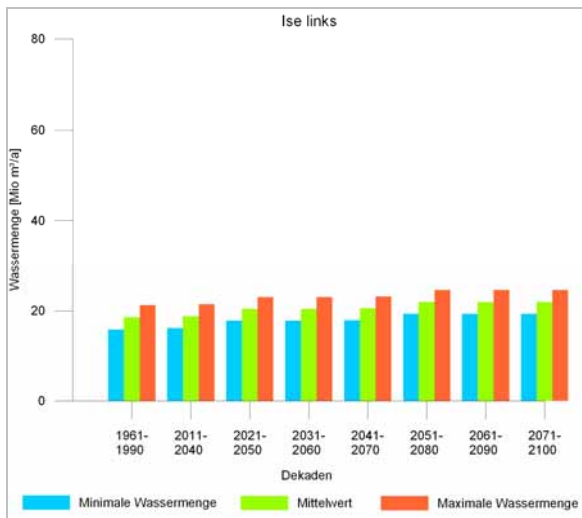


Abb. 50: Potenzielle Beregnungswassermenge für den Grundwasserkörper „Ise links“.

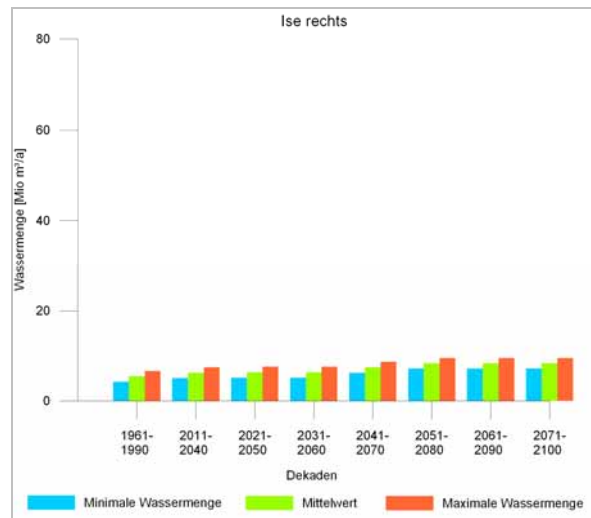


Abb. 51: Potenzielle Beregnungswassermenge für den Grundwasserkörper „Ise rechts“.

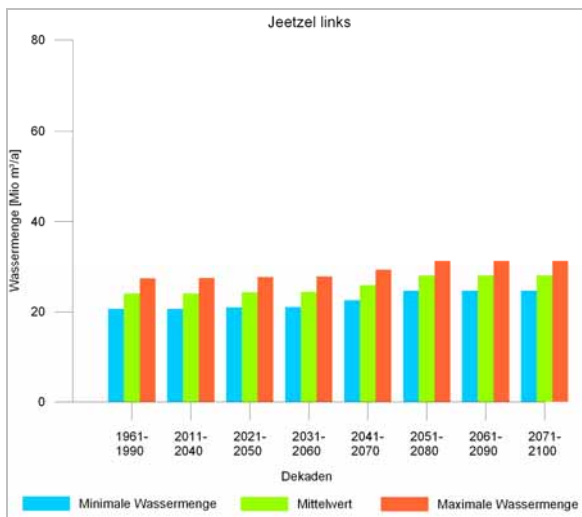


Abb. 52: Potenzielle Beregnungswassermenge für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers „Jeetzel links“.

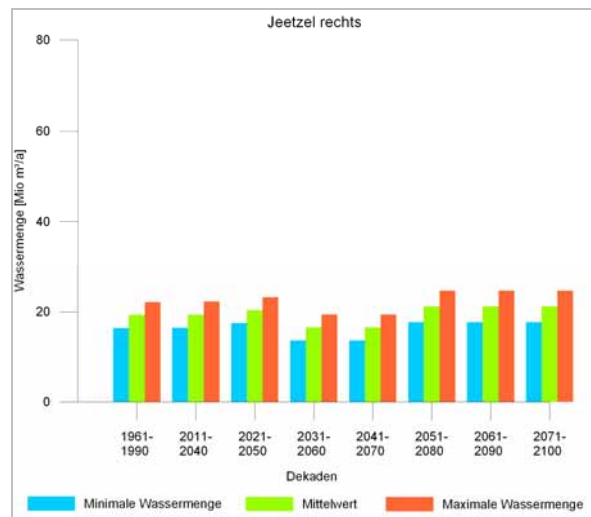


Abb. 53: Potenzielle Beregnungswassermenge für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers „Jeetzel rechts“.

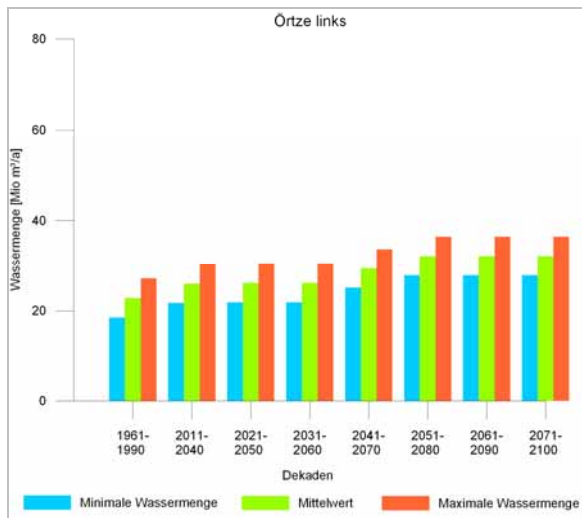


Abb. 54: Potenzielle Beregnungswassermenge für den Grundwasserkörper „Örtze links“.

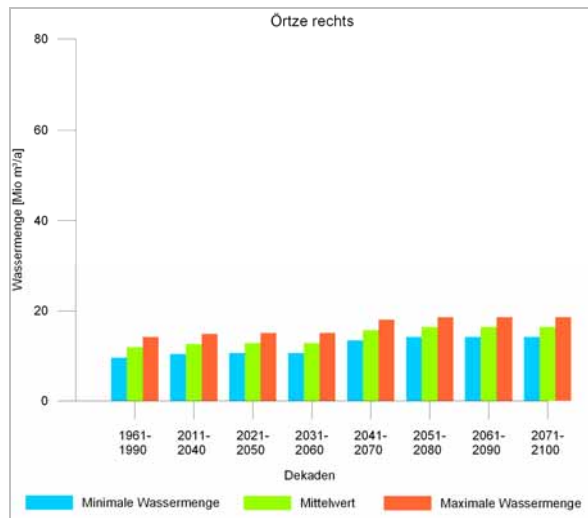


Abb. 55: Potenzielle Beregnungswassermenge für den Grundwasserkörper „Örtze rechts“.

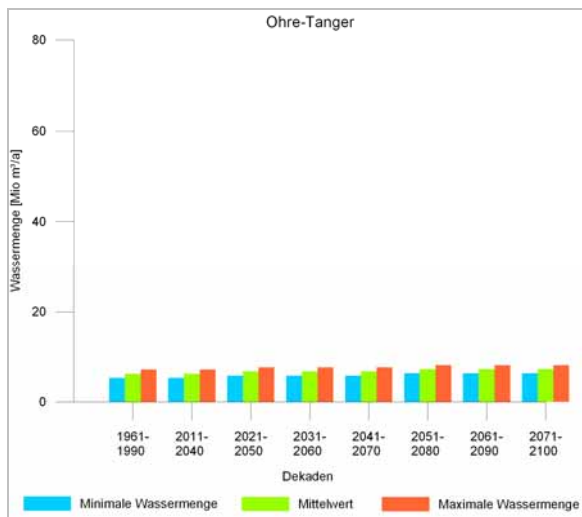


Abb. 56: Potenzielle Beregnungswassermenge für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers „Ohre-Tanger“.

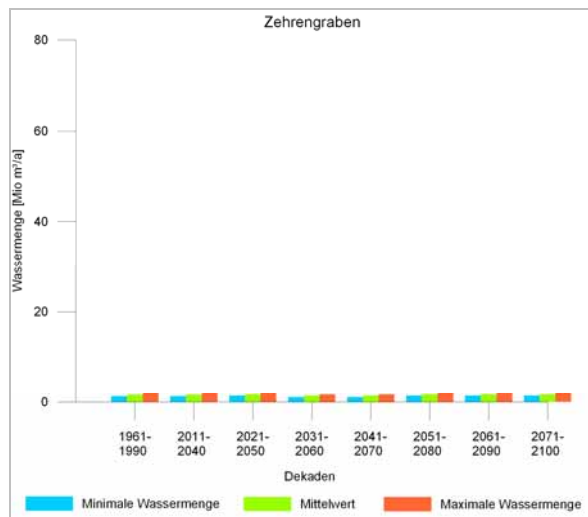


Abb. 57: Potenzielle Beregnungswassermenge für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers „Zehrengaben“.

7.6 Grundwasserneubildung

Abbildung 58 zeigt die Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum 1961–1990. Die Bereiche der Flussniederungen weisen eher geringe Grundwasserneubildungsraten im Bereich bis 100 mm/a auf, während die Grundwasserneubildung in den Geestbereichen bis zu 350 mm/a beträgt.

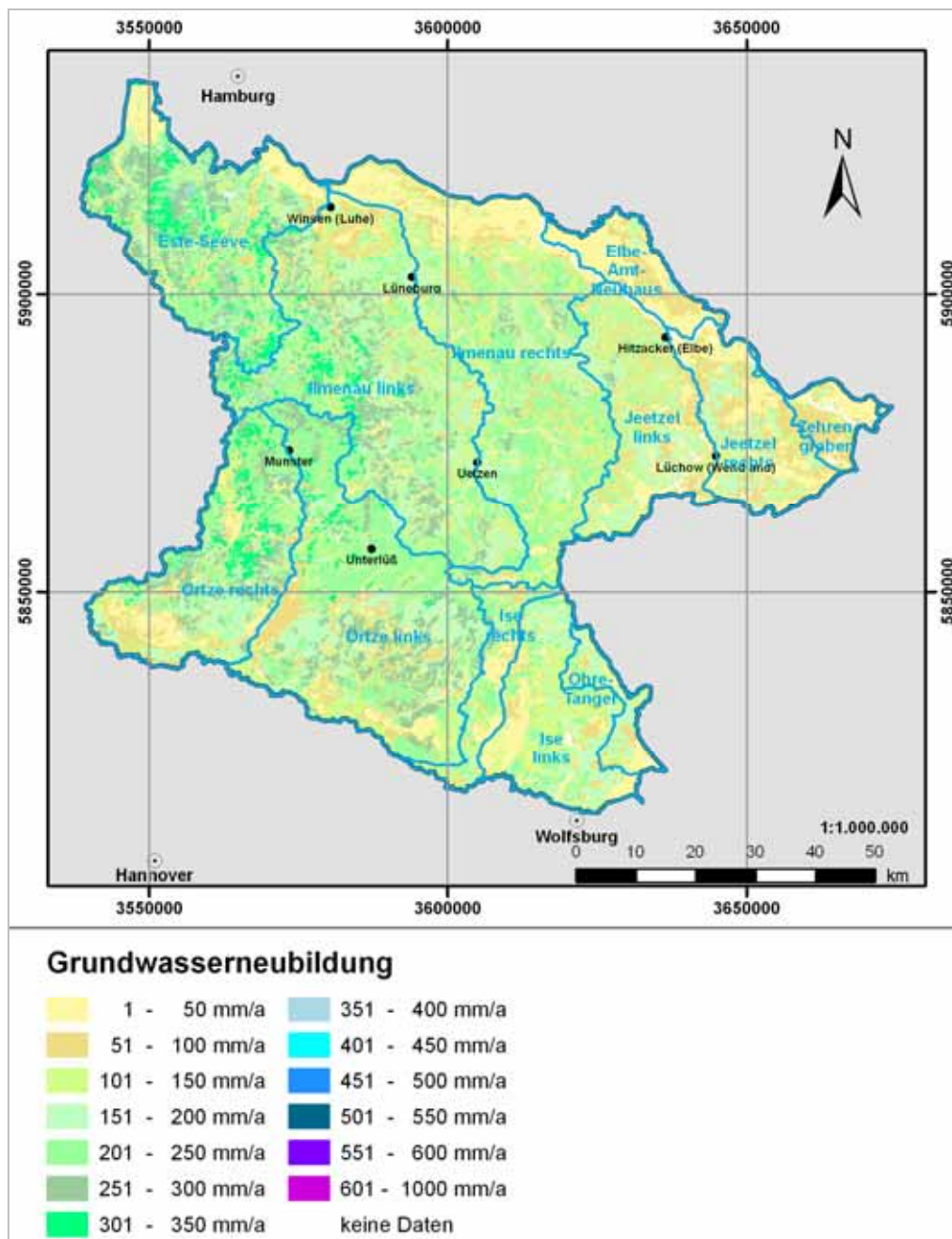


Abb. 58: Grundwasserneubildung 1961–1990 (nach LBEG, verändert).

In Tabelle 10 ist die Grundwasserneubildung der einzelnen Grundwasserkörper für den Zeitraum 1961–1990 aufgeführt. Die Grundwasserkörper sind absteigend nach der Grundwasserneubildungsmenge sortiert. Die Grundwasserneubildung wird in der Tabelle als Mittelwert in mm/a und als Wassermenge in Mio. m³/a angegeben.

Tab. 10: Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet 1961–1990.

Grundwasserkörper	Fläche [km²]	Mittelwert der Grundwasserneubildung [mm/a]	Grundwasserneubildungsmenge [Mio. m³/a]
Ilmenau links	1 519	160	274
Örtze links	1 330	157	236
Ilmenau rechts	1 441	124	199
Este-Seeve	958	181	186
Örtze rechts	792	170	139
Jeetzel links	610	108	69
Ise links	527	107	64
Jeetzel rechts	453	76	36
Ise rechts	214	127	29
Ohre-Tanger	141	104	17
Elbe Amt Neuhaus	230	60	13
Zehrengaben	142	50	7
Untersuchungsgebiet	8 362	111	1 269

In Abbildung 59 ist die Grundwasserneubildung in Mio. m³/a absteigend für jeden Grundwasserkörper abgetragen. Der Grundwasserkörper „Ilmenau links“, mit der höchsten Grundwasserneubildung ausgestattet, ist auch der flächenmäßig größte Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet. Obwohl der Grundwasserkörper „Ilmenau rechts“ größer ist als „Örtze links“, weist er eine niedrigere Grundwasserneubildung auf.

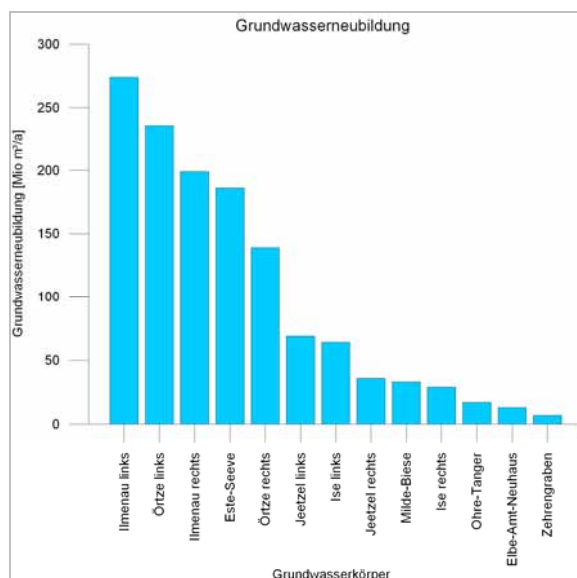


Abb. 59: Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1961–1990 in Mio. m³/a für die einzelnen Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet.

In Tabelle 11 sind die Grundwasserneubildung für 1961–1990 sowie der maximale potenzielle Beregnungswasserbedarf für 1961–1990 und 2071–2100 der jeweiligen Grundwasserkörper dargestellt. Die Grundwasserneubildung 1961–1990 wird für das gesamte Untersuchungsgebiet auf rund 1,3 Mrd. m³/a beziffert. Der ma-

ximale Beregnungswasserbedarf für 1961–1990 liegt bei 278 Mio. m³/a und macht somit etwa 22 % der Grundwasserneubildung aus. Für den Zeitraum 2071–2100 errechnet sich ein maximaler Wasserbedarf von 349 Mio. m³/a, das sind ca. 28 % der Grundwasserneubildung des Zeitraums 1961–1990.

Tab. 11: Vergleich der Wassermengen der Grundwasserneubildung 1961–1990 mit dem maximalen Beregnungswasserbedarf 1961–1990 und 2071–2100 in [Mio. m³/a].

Grundwasserkörper	Fläche	Grundwasserneubildungsmenge	maximaler Wasserbedarf 1961–1990		maximaler Wasserbedarf 2071–2100	
	[km²]		[Mio. m³/a]	[%]	[Mio. m³/a]	[%]
Ilmenau links	1 519	274	58	21	73	27
Örtze links	1 330	236	30	13	36	15
Ilmenau rechts	1 441	199	65	33	80	40
Este-Seeve	958	186	23	12	34	18
Örtze rechts	792	139	14	10	19	13
Jeetzel links	610	69	26	37	31	45
Ise links	527	64	19	30	25	38
Jeetzel rechts	453	36	20	57	25	68
Ise rechts	214	29	8	28	10	33
Ohre-Tanger	141	17	6	38	8	49
Elbe Amt Neuhaus	230	13	6	45	7	56
Zehrengaben	142	7	2	27	2	29
Untersuchungsgebiet	8 362	1 269	278	22	349	28

Die Zunahme des Wasserbedarfs vom Zeitraum 1961–1990 bis 2071–2100 entspricht fünf Prozentpunkten und somit einem Anstieg von 25 %.

7.7 Vergleichsberechnungen der Evapotranspiration

Für den Vergleich des Referenzzeitraums mit den Szenario-Daten wurden die Referenzdaten von 1961–1990 mit der FAO-Grasreferenzverdunstung und mit der HAUDE-Formel nach DIN 19685 (DIN 1997) berechnet.

Mit Gleichung 3 lässt sich die reale Verdunstung ET_a abschätzen:

$$ET_a = ET_r * k_c * (1 - k_w) \quad (\text{Gl. 3})$$

Dabei ist:

- ET_r = potenzielle Verdunstung [mm],
- k_c = Bestandskoeffizient zur Umrechnung auf andere Pflanzenbestände, Verhältnis ET (Bestand) zu ET (Gras) [aus Tabelle],
- k_w = Wasserstresskoeffizient, in Abhängigkeit von der relativen Bodenfeuchte, in % der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum [aus Tabelle] (DIN 19685, DIN 1997).

HAUDE-Formel

DIN 19685 (DIN 1997): „Nach dem empirischen Haude-Verfahren kann näherungsweise die Monatssumme der potentiellen Evapotranspiration ET_p berechnet werden (s. Gleichung 1 [4]). Der Verlust an Genauigkeit gegenüber ET_r wird durch die größere Zahl der verfügbaren Stationen aufgewogen. Es sind tägliche Werte des Sättigungsdefizits der Luft mit Wasserdampf zum Mittagstermin erforderlich:“

$$ET_p = f \cdot (e_s(T) - e)_{II} \quad (\text{Gl. 4})$$

Dabei ist:

- $(e_s(T) - e)_{II}$ = Sättigungsdefizit zum Mittagstermin (Termin II) am Einzeltag [hPa],
 f = Haude-Faktor für den jeweiligen Monat [hPa/(mm * d), aus Tabelle] (DIN 19685, DIN 1997).

FAO-Grasreferenzverdunstung

„Von der FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations] wird empfohlen, international einheitlich die Grasreferenzverdunstung ET_0 zu berechnen. [...]. Sie entspricht etwa der potentiellen Evapotranspiration ET_p nach DIN 4049-3“ (DIN 19685, DIN 1997). Nach DIN 4049-3 (DIN 1994) wird die potenzielle Verdunstung als „Verdunstungshöhe von Oberflächen bei gegebenen meteorologischen Bedingungen und unbegrenzt verfügbarem Wasser“ definiert.

Vereinfachte Referenzverdunstung nach dem Penman-Monteith-Verfahren:

$$ET_r = g(T) \cdot \left(0,65 \cdot \frac{R_G}{L} + 0,25 \cdot n \cdot k\right) \cdot \frac{1}{1 + 0,0002 \cdot H} \quad (\text{Gl. 5})$$

mit

$$\frac{R_G}{L} = \frac{R_0}{L} \cdot (0,19 + 0,55 \cdot \frac{S}{S_0}) \quad (\text{Gl. 6})$$

Dabei ist:

- $g(T)$ = Temperaturfunktion $g(T) = s/(s + \gamma)$ aus Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve s und Psychrometerkoeffizient γ [aus Tabelle],
 T = Monatsmittel der Lufttemperatur [°C],
 R_G/L = Verdunstungsäquivalent der Globalstrahlung [mm/Monat],
 n = Anzahl der Monatstage,
 k = Küstenfaktor; im Küstenbereich ist $k = 0,5$ und erreicht 1,0 in 50 km Küstenentfernung,
 H = Höhe ü. NN [m] (Höhenkorrektur bei $H > 200$ m zu vernachlässigen),
 R_0/L = Verdunstungsäquivalent der extraterrestrischen Strahlung [mm/Monat, aus Tabelle],
 S = Sonnenscheindauer [h/Monat],
 S_0 = astronomisch mögliche Sonnenscheindauer [h/Monat, aus Tabelle] (DIN 19685, DIN 1997).

Im Folgenden wird für die Formeln zur Berechnung der Evapotranspiration nur noch $ET_{p,HAU-DE}$ und $ET_{p,FAO}$ angegeben, wobei immer die Berechnung nach DIN 19685 die Grundlage ist.

Abbildung 60 zeigt das Ergebnis eines Vergleiches der beiden Formeln zur Berechnung der Evapotranspiration mit HAUDE-Formel und FAO-Grasreferenzverdunstung bezüglich der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für den Zeitraum 1961–1990. Für die Klimastationsflächen Uelzen, Jork, Celle und Hannover ist die Klimatische Wasserbilanz gleich hoch, es gibt innerhalb der Klassen keine Abweichung. Die Stationsflächen Unterlüß, Lüchow und Lüneburg liegen in einem Bereich,

in dem die Klimatische Wasserbilanz für ETP_{FAO} eine Klasse höher berechnet wurde, als für ETP_{HAUDE} . Das bedeutet, dass die Verdunstung auf diesen Flächen mit der FAO-Grasreferenzverdunstung niedriger ausfällt, als mit der HAUDE-Formel. Einzig die Klimastationsfläche Bremervörde-Niederrochtenhausen im Nordwesten zeigt einen anderen Trend. Hier ist die Klimatische Wasserbilanz für die ETP_{FAO} eine Klasse niedriger als für die ETP_{HAUDE} .

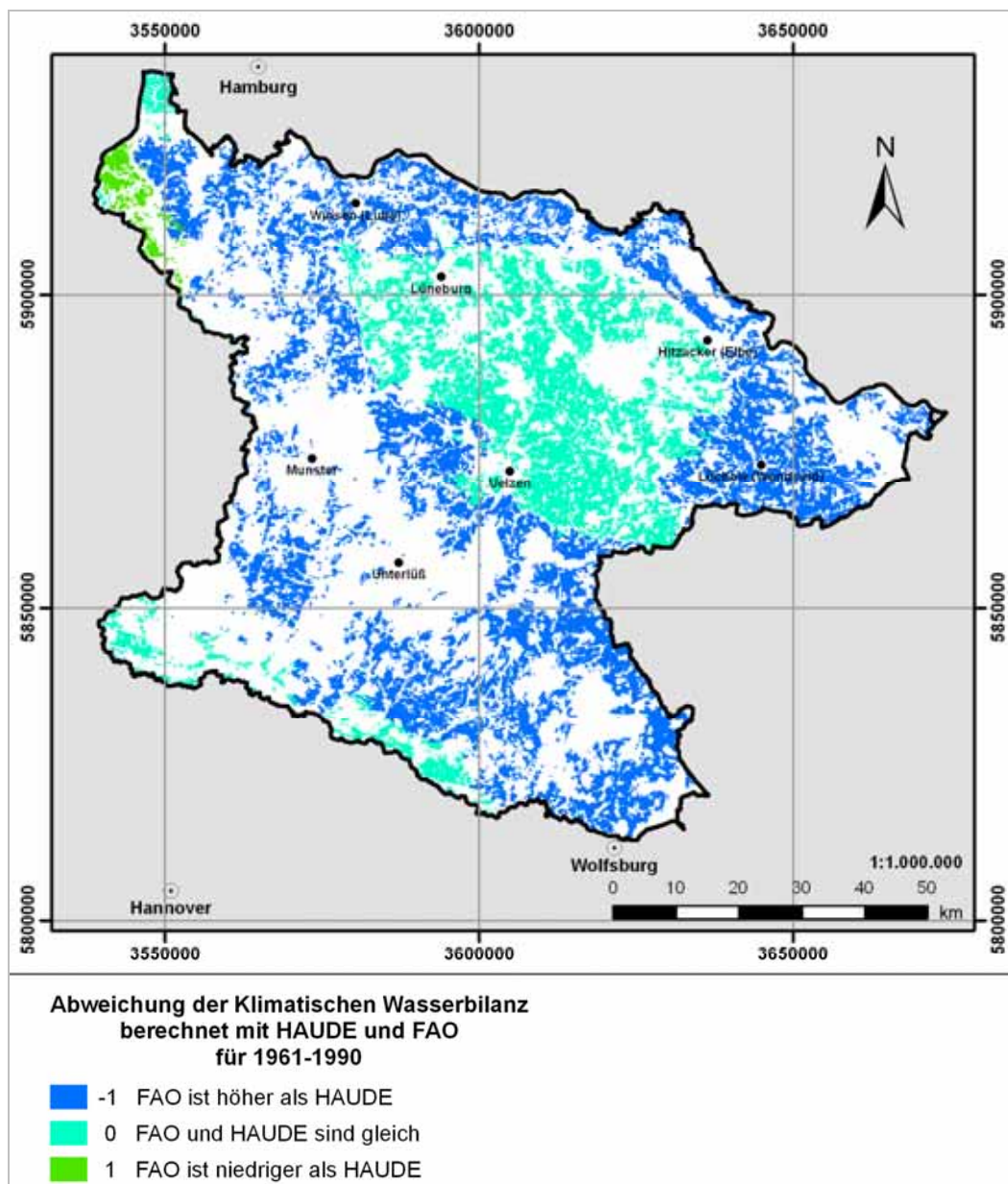


Abb. 60: Abweichung der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für 1961–1990, berechnet mit den Verdunstungsformeln ETP_{FAO} und ETP_{HAUDE} .

Aus Abbildung 61 geht hervor, dass der Vergleich zwischen den zwei Methoden FAO-Grasreferenzverdunstung und HAUDE-Formel zur Berechnung der Verdunstung kaum einen Unterschied für den Zeitraum 1961–1990 zeigt.

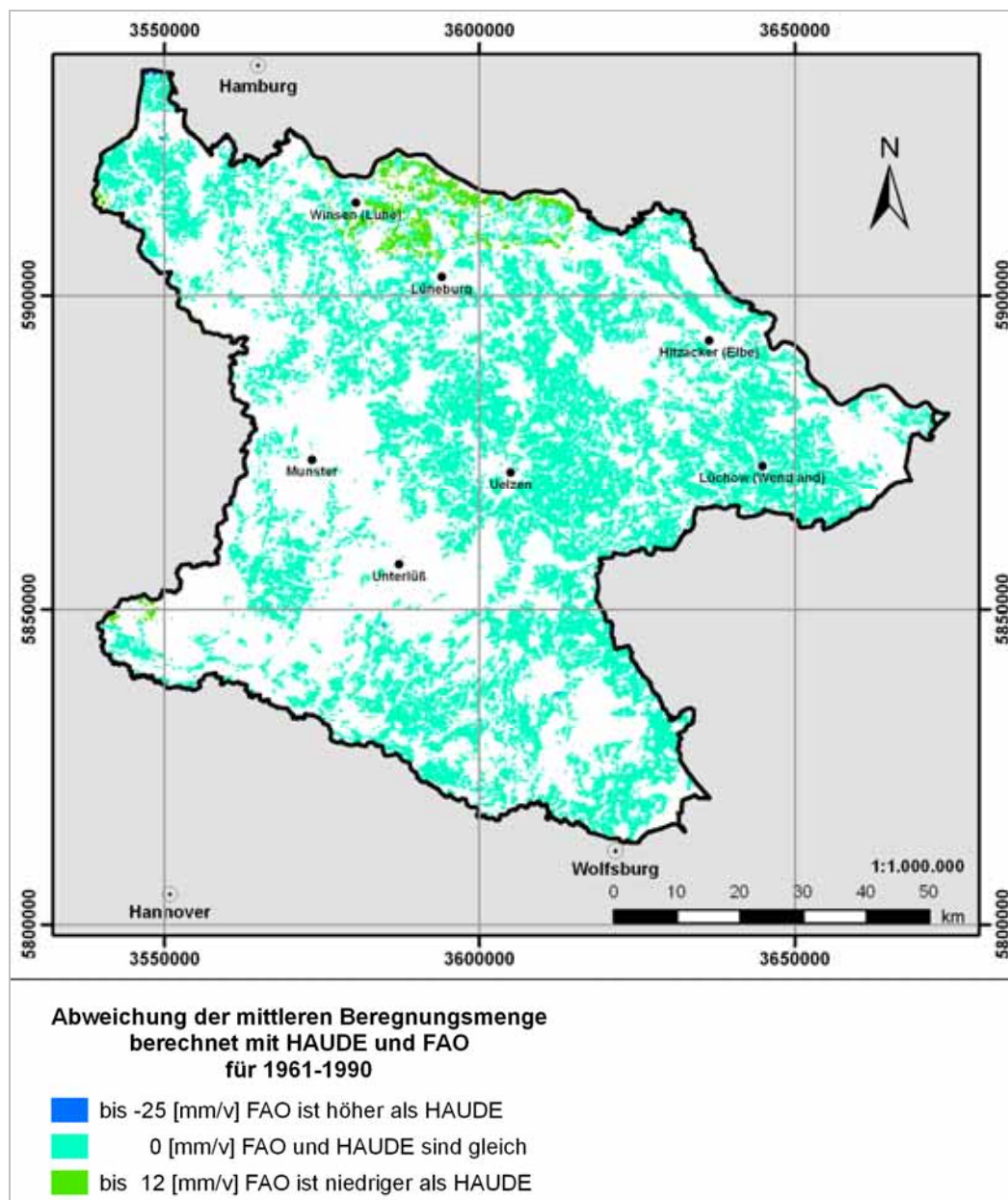


Abb. 61: Vergleich der Methoden FAO-Grasreferenzverdunstung und HAUDE-Formel zur Berechnung der Verdunstung für 1961–1990.

In Abbildung 62 ist die Abweichung der Berechnungsklassen für 1961–1990 für ETP_{FAO} und ETP_{HAUDE} dargestellt. Die Abweichung ist äußerst gering. Nur auf vereinzelt Flächen am Nord- und Westrand des Gebietes ist die Evapotranspiration mit der Grasreferenzverdunstung niedriger als mit der HAUDE-Formel.

Die Abweichung der Klimatischen Wasserbilanz ist höher als die Abweichungen der Berechnungsklassen. Da bei der Berechnung nur der Parameter „potenzielle Evapotranspiration“ geändert worden ist, scheint der Einfluss der Bodenkennwerte, die zur Berechnung der mittleren Berechnungsmenge herangezogen werden, zu überwiegen.

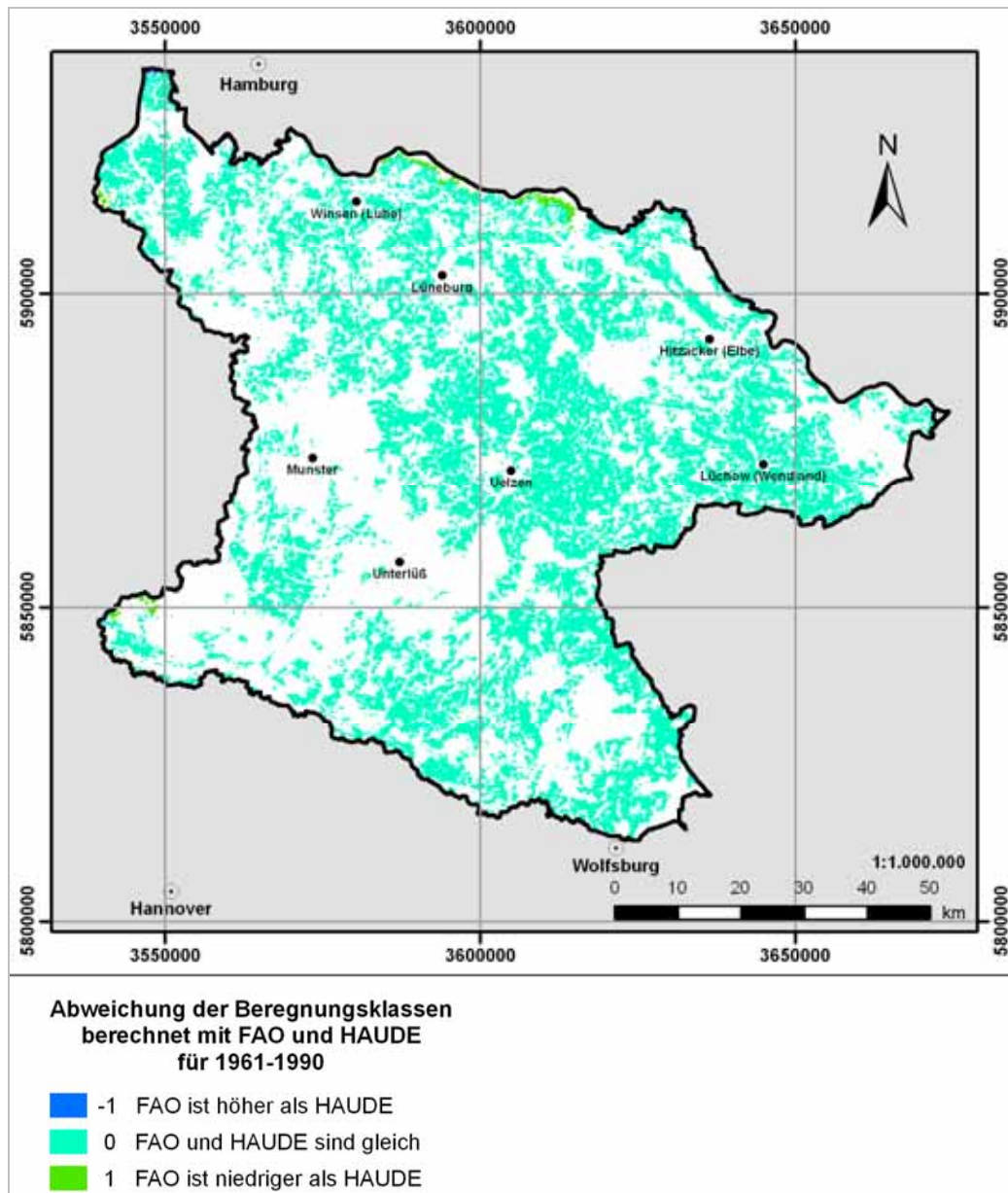


Abb. 62: Abweichung der Berechnungsklassen für ETP_{FAO} und ETP_{HAUDE} .

Abbildung 63 zeigt die Abweichung der KWBv-Klassen für das Zeitintervall 2071–2100. Hierzu ist die potenzielle Evapotranspiration sowohl mit der HAUDE-Formel als auch mit der FAO-Grasreferenzverdunstung berechnet worden. Die Differenz ist z. T. deutlich. Fast im gesamten Gebiet ist die KWBv mit ETP_{FAO} um

vier Klassen niedriger als die KWBv mit ETP_{HAUDE} . Regional schwankt die Abweichung zu niedrigeren bzw. zu viel höheren Werten. Demnach ist die KWBv, berechnet mit der Formel der FAO-Grasreferenzverdunstung, wesentlich negativer als nach HAUDE.

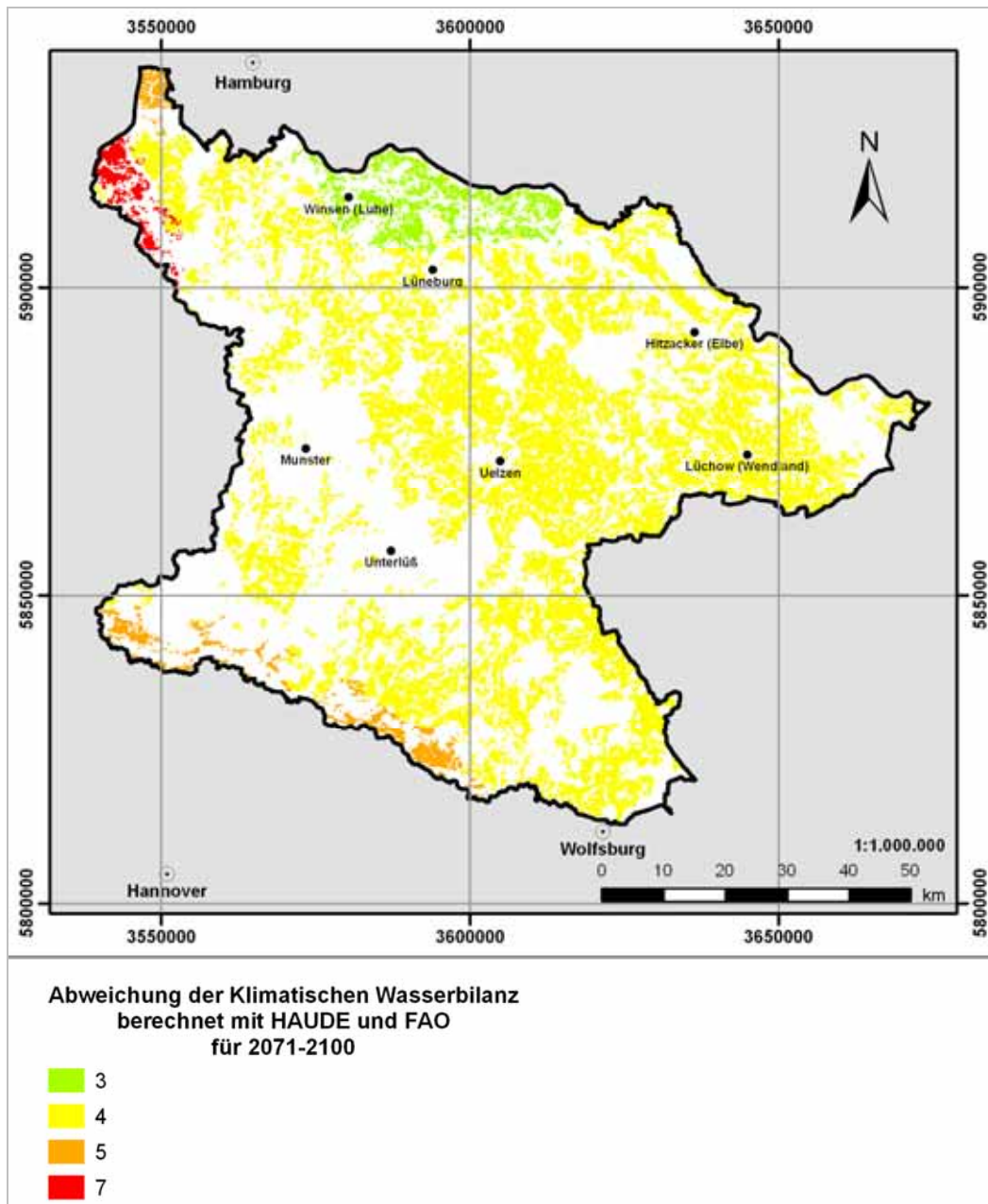


Abb. 63: Abweichung der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode für 2071–2100, berechnet mit den Verdunstungsformeln ETP_{FAO} und ETP_{HAUDE} .

7.8 Vergleichsberechnungen mit DWD- und Szenario-Daten für 1961–1990

Um die Genauigkeit der Szenario-Berechnungen zu prüfen, ist ein Vergleich der Szenario-Daten mit den Daten des DWD angestellt worden. Dies ist möglich, da das Szenario für den Zeitraum 1961–2000 einem Kontrolllauf (control run; SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007) unterworfen worden.

Innerhalb der Dekaden können im selben Klimamodell größere Abweichungen der Klimaparameter auftreten, da Klimamodelle nicht das Ziel haben einen „[...] konkreten zeitlichen Verlauf des Klimas zu reproduzieren, sondern deren mittleren Zustand“ (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Eine Mittelung über längere Zeiträume (z. B. 30 Jahre) sollte daher bessere Übereinstimmungen aufweisen (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Tab. 12: Vergleich zwischen DWD- und Szenario-Daten für Temperatur und Niederschlag (1961–1990).

Station	Temperatur [°C]			Niederschlag [mm]		
	DWD	Szenario	Differenz	DWD	Szenario	Differenz
Hannover	8,9	9,1	-0,2	656	611	45
Lüchow	8,6	8,7	-0,1	545	506	39
Lüneburg	8,9	9,0	-0,1	612	586	26
Rotenburg	8,7	8,9	-0,2	795	735	60
Soltau	8,5	8,5	0,0	811	746	65
Uelzen	8,5	8,6	-0,1	622	608	14
Unterlüß	8,2	8,3	-0,1	801	757	44

In Tabelle 12 ist ein Vergleich der DWD- und der Szenario-Daten für Temperatur und Niederschlag berechnet bzw. gemessen im gleichen Zeitraum (1961–1990) angestellt worden. Dabei sind Mittelwerte und Differenzen gebildet worden. Die Abweichung der gemessenen Temperaturwerte liegt im Mittel für alle in der Tabelle aufgeführten Klimastationen bei -0,1 °C. Das bedeutet, dass die prognostizierten Temperaturen des Szenarios im dreißigjährigen Mittel um 0,1 °C über den gemessenen Temperaturen des DWD liegen. Die vier aussagekräftigsten Klimastationen des Untersuchungsgebietes (Lüchow, Lüneburg, Uelzen und Unterlüß) weisen im Mittel die gleiche Abweichung auf. Für den Niederschlag liegt die mittlere Abweichung aller aufgeführten Klimastationen im Szenario bei -42 mm/a gegenüber den DWD-Messwerten. Die prognostizierten Niederschläge liegen unterhalb der vom DWD erhobenen Daten. Im dreißigjährigen Mittel liegt die Abweichung für die Klimastationen Lüchow, Lüneburg, Uelzen und Unterlüß bei 31 mm. Auch hier liefert das Modell niedrigere Werte.

In Tabelle 13 sind die Temperatur- und Niederschlagsdaten für den dreißigjährigen Zeitraum 1971–2000 für die Klimastationen Hannover-Langenhagen, Lüchow, Soltau und Unterlüß aufgeführt. Für die Klimastationen Lüneburg, Rotenburg und Uelzen stehen keine Daten von 1991–2000 zur Verfügung. Zum Vergleich sind wieder die DWD- und die Szenario-Daten gegenüber gestellt. Für den betrachteten Zeitraum ist die Abweichung höher als für 1961–1990. Er beträgt für die Temperatur im Mittel 0,2 °C. Die Szenario-Daten liegen für alle vier Stationen 0,2 °C unter den DWD-Daten. Die Abweichung des Niederschlags beträgt im Mittel für alle vier Klimastationen 50 mm. Das

Szenario-Modell liefert im Vergleich zu den DWD-Messungen, in diesem Zeitraum sowohl für die Temperatur als auch für den Niederschlag, niedrigere Werte. In SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP (2007) ist für den Zeitraum 1971–2000 ein ähnlicher Vergleich angestellt worden, allerdings für die gesamte Bundesrepublik Deutschland. Dabei hat das Modell die Temperatur um 0,1 °C zu niedrig berechnet. Die Abweichung fällt mit 0,1 °C zwar nicht so hoch aus wie im Untersuchungsgebiet mit 0,2 °C, der Trend ist jedoch der gleiche. Das Modell scheint Temperatur und Niederschlag zu unterschätzen.

Tab. 13: Vergleich zwischen DWD- und Szenario-Daten für Temperatur und Niederschlag (1971–2000).

Station	Temperatur [°C]			Niederschlag [mm]		
	DWD	Szenario	Differenz	DWD	Szenario	Differenz
Hannover	9,3	9,1	0,2	641	593	48
Lüchow	8,9	8,7	0,2	523	489	34
Soltau	8,8	8,6	0,2	784	722	62
Unterlüß	8,5	8,3	0,2	784	730	54

Tabelle 14 zeigt die Abweichung des Modells von den DWD-Daten für den vierzigjährigen Zeitraum 1961–2000 für die vier Klimastationen Hannover-Langenhagen, Lüchow, Soltau und Unterlüß. Die Abweichung der Temperatur liegt im Mittel bei 0,1 °C. Für den Niederschlag liefert das Modell mit einer Abweichung von im Mittel 62 mm niedrigere Werte.

Tab. 14: Vergleich zwischen DWD- und Szenario-Daten für Temperatur und Niederschlag (1961–2000).

Station	Temperatur [°C]			Niederschlag [mm]		
	DWD	Szenario	Differenz	DWD	Szenario	Differenz
Hannover	9,1	9,0	0,1	647	597	50
Lüchow	8,8	8,7	0,1	543	494	49
Soltau	8,6	8,5	0,1	806	728	78
Unterlüß	8,3	8,3	0,0	807	738	69

Um die Genauigkeit der Szenario-Rechnungen weiter zu untersuchen, ist ein Vergleich der Klimatischen Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode (KWBv) angestellt worden. Dazu wurde die KWBv einmal mit den vom DWD erhobenen Werten für 1961–1990 und einmal mit den Szenario-Daten aus dem Kontrolllauf abgeglichen. Beides ist mit der FAO-Grasreferenzverdunstung berechnet worden.

In Abbildung 64 ist die Differenz der Szenario- und der DWD-Daten dargestellt. Das Ergebnis zeigen die in der Karte abgetragenen Differenzklassen. Im Klimastationsgebiet Uelzen ist keine Abweichung festzustellen. DWD- und Szenario-Daten stimmen im Bereich der Klassengrenzen überein. Fast das gesamte Restgebiet weicht jedoch um eine Klasse ab, wobei die DWD-Daten höher liegen. Das Szenario schätzt die KWBv niedriger ein.

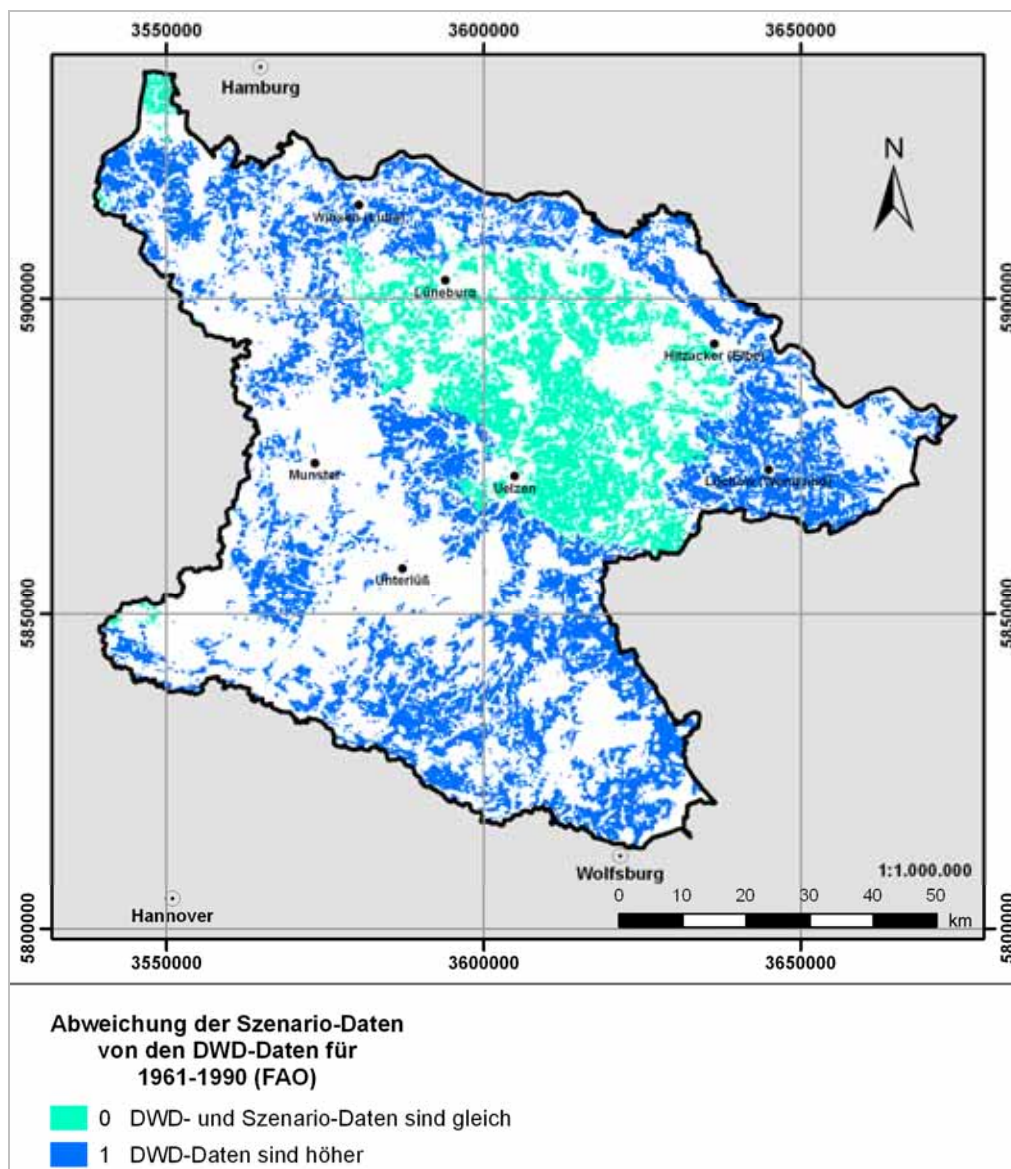


Abb. 64: Vergleich der KWBv für Szenario- und DWD-Daten (1961–1990).

Um abwägen zu können, wie genau die Szenario-Rechnungen für die Beregnungsbedürftigkeit sind, ist in Abbildung 65 die Abweichung der mittleren Beregnungsmenge dargestellt. Auch hier ist der Referenzzeitraum 1961–1990 mit der FAO-Formel einmal mit den DWD-Daten und einmal mit den Szenario-Daten berechnet und als Differenz dargestellt worden. Der größte Teil des Gebietes weist eine gute Übereinstimmung auf. Nur die Klimastationsflächen Celle, Hannover, Bremervörde-Nieder-

ochtenhausen und Lüneburg zeigen Abweichungen im Bereich von -6 bis -25 mm/v. Diese Varianz ist so gering, dass sie innerhalb einer Beregnungsklasse liegt. Dies wird in Abbildung 66 ersichtlich. Für das gesamte Gebiet kann somit von einer guten Prognose für die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit ausgegangen werden, da die Abweichungen sehr gering sind und nur in kleinen Bereichen am Rand des Untersuchungsgebietes auftreten.

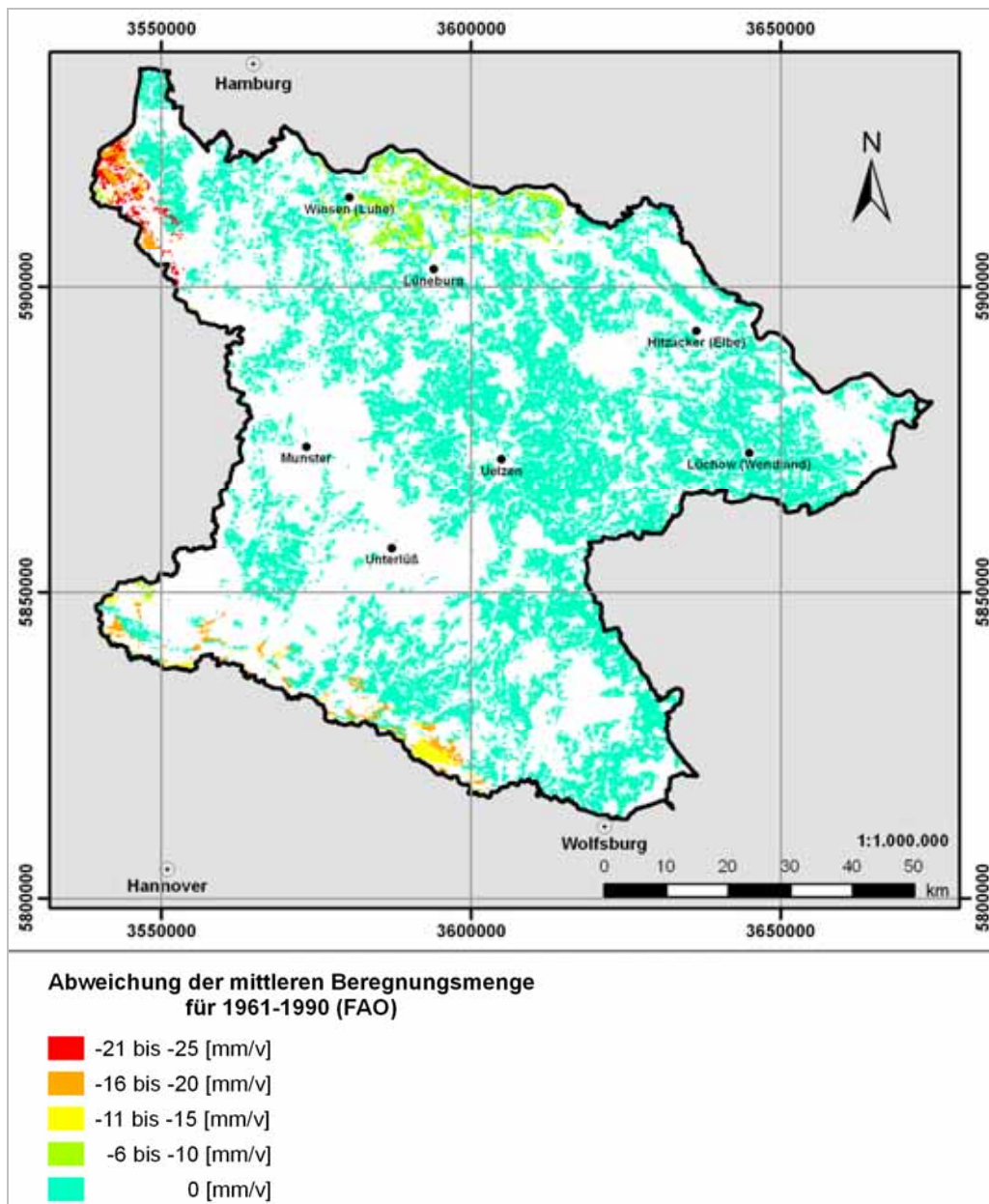


Abb. 65: Abweichung der Szenario-Werte von den tatsächlichen Werten der mittleren Beregnungsmenge für 1961–1990 (FAO).

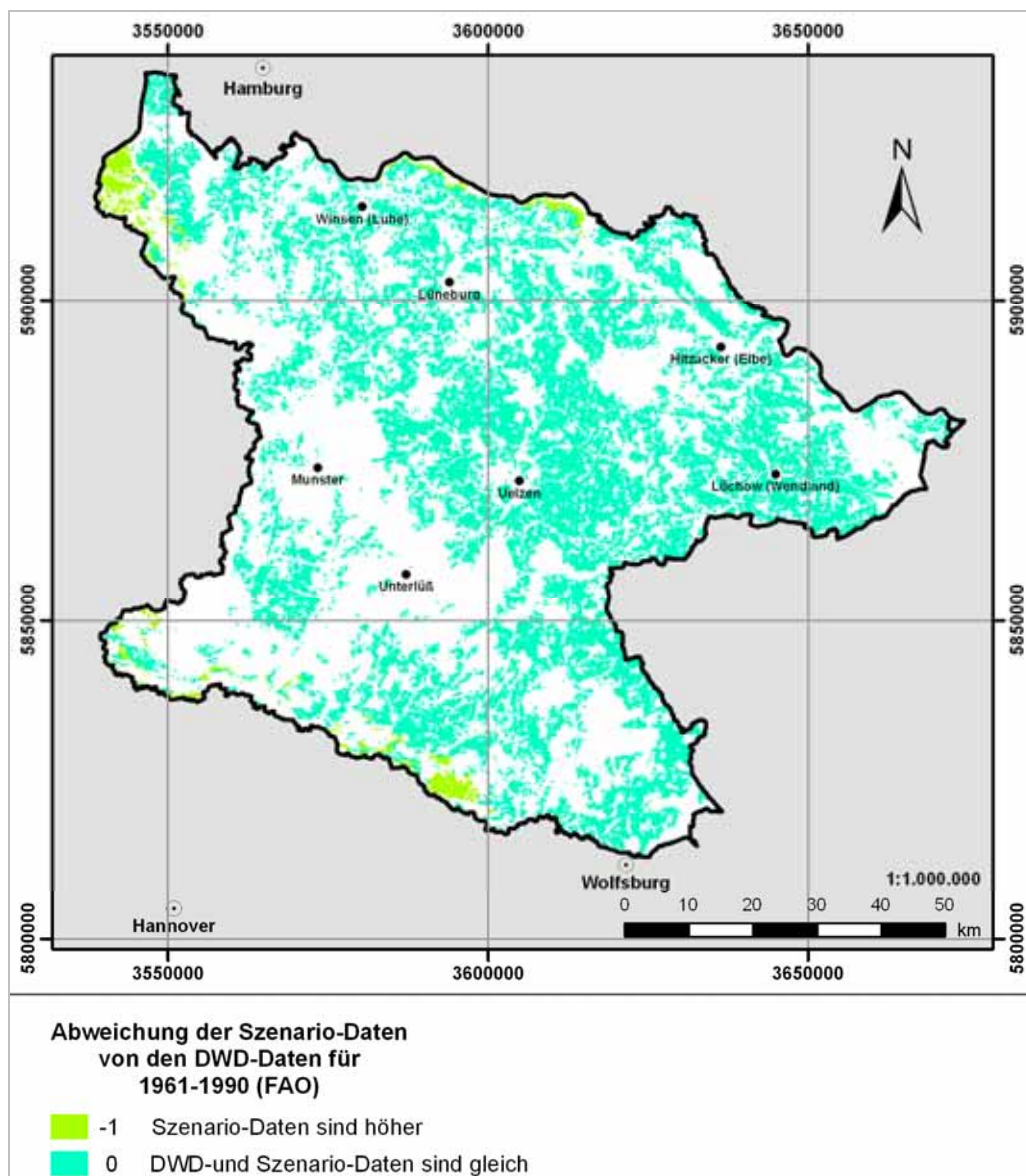


Abb. 66: Abweichung der Szenario-Werte von den tatsächlichen Werten der Berechnungsklassen für 1961–1990 (FAO).

8 Diskussion und Fehlerbetrachtung

Wie WETTREG-Daten belegen, verändern sich künftig die klimatischen Bedingungen in der Hauptvegetationsperiode (KRAUSE 2008). Abnehmende Niederschläge und zunehmende Temperaturen werden zu einem Wasserdefizit für die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen führen. Die Folge wird eine Zunahme der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit sowie der beregnungsbedürftigen Flächen sein. Daraus resultiert ein Anstieg in der potenziellen Beregnungswassermenge im Mittel um knapp 30 % von 1961–1990 bis zum Ende des Jahrhunderts.

Der Nordosten Niedersachsens ist ein Gebiet, in dem die Feldberegnung schon heute sehr wichtig ist. Das Untersuchungsgebiet ist innerhalb Niedersachsens eines der beregnungsbedürftigsten Gebiete (LWK 2008). Innerhalb der Bundesrepublik werden jedoch die östlichen Bundesländer vermutlich am stärksten von den negativen Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein. Während das Untersuchungsgebiet noch vom maritimen Klimaeinfluss profitieren kann, nimmt der kontinentale Einfluss nach Osten weiter zu und führt dort zu heißen, trockenen Sommern (SEEDORF & MEYER 1992). Das Untersuchungsgebiet ist außerdem durch sandige Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität gekennzeichnet (NLFB 1997). Obwohl die Bedingungen nicht optimal sind, ist die Landwirtschaft in diesem Gebiet stark vertreten (SEEDORF & MEYER 1992).

RENGER & STREBEL (1980b) haben in Feldversuchen festgestellt, dass bei gleicher Pflanzenverfügbarer Bodenwassermenge der Trockenmasseertrag der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Gebieten mit höheren Niederschlägen größer ist als in Gebieten mit niedrigen Niederschlägen. Die Nachteile gegenüber Standorten mit höheren natürlichen Erträgen können durch die Feldberegnung teilweise ausgeglichen werden, und die Erträge der Feldfrüchte können auf einem höheren Niveau stabilisiert werden. Außerdem nehmen die Ertragsausfälle bei ausreichender Wasserversorgung ab (KRÖCHER 1991, RENGER, STREBEL & GIESEL 1974). Bei unzureichender Wasserversorgung der Kulturpflanzen kann es neben Ertragseinbußen auch zu Qualitätsverlusten kommen. Die Feldberegnung kann daher nicht nur zur Stabilisierung der Erträge beitragen,

sondern auch die Qualität der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen erhöhen. Die Kartoffel ist in Niedersachsen die beregnungswürdigste Frucht, da ihre Qualität bei optimaler Wasserversorgung stark ansteigt. So nimmt beispielsweise der Stärkegehalt der Kartoffel bei optimaler Wasserversorgung zu (FRICKE & HEIDORN 2003). Weitere Qualitätssteigerungen bei landwirtschaftlichen Kulturen sind z. B. bessere Größensortierung und geringerer Schorfbefall bei Kartoffeln sowie höhere Zuckergehalte bei Zuckerrüben (FRICKE 2006). Vergleichbare Ergebnisse sind auch aus Großbritannien bekannt (GIBBONS & RAMSDEN 2008).

Die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit ist eine Größe, die von vielen Einflussfaktoren abhängig ist. Die wichtigsten Parameter sind die klimatischen Kenngrößen (Niederschlag, potenzielle Verdunstung, Temperatur), die bodenspezifischen Kenngrößen (nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, kapillarer Aufstieg, Pflanzenverfügbares Bodenwasser) sowie die Fruchtart. In diesem Bericht wird zusätzlich die zeitliche Komponente für Zukunftsprognosen berücksichtigt. Der Boden hat einen großen Einfluss auf die Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Anbauflächen. Bei einer Berechnung der aktuellen Beregnungsbedürftigkeit übt der Boden durch die Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge einen größeren Einfluss aus als das Klima, da das Klima des Untersuchungsgebietes relativ homogen ist (RENGER & STREBEL 1981a). Durch die Veränderung des Klimas erhält es allerdings eine prägende Rolle.

Innerhalb der Klimafaktoren ist der Niederschlag die wichtigste Größe. Ein Vergleich der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit für mittlere und für trockene Jahre zeigt deutlich, dass die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit stark ansteigt, wenn die Niederschläge abnehmen. Die Temperatur wird zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration herangezogen, welche wiederum benutzt wird, um die Klimatische Wasserbilanz zu errechnen. Der Niederschlag geht direkt in die Berechnung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit ein und hat somit einen größeren Einfluss. Da der Niederschlag der Sommermonate bis zum Ende des Jahrhunderts wesentlich geringer wird, sind negative Auswirkungen auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit die Konsequenz. Einzige Ausnahme sind die Bodentypen Marsch, Moor sowie einige Pseudogleye und Gleye.

Für grundwasserbeeinflusste Böden dürfte die Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge sich nicht verändern. Bei einigen Böden kann der kapillare Aufstieg die abnehmenden Niederschläge der Hauptvegetationsperiode eventuell ausgleichen. Mit zunehmender pflanzenverfügbarer Bodenwassermenge nimmt die mittlere Berechnungsmenge, die zur Aufrechterhaltung von 40 % nutzbarer Feldkapazität im effektiven Wurzelraum erforderlich ist, ab (RENGER & STREBEL 1980a, 1981a).

Für die Prognosen kann auf die von WETTER erzeugtten Klimadaten zurückgegriffen werden. Diese sind für die Klimastationen gemittelt und über Klimaräume regionalisiert worden. Mehr als 90 % der Fläche des Untersuchungsgebietes werden durch die Klimastationsflächen Unterlüß, Uelzen, Lüchow und Lüneburg abgedeckt. Die Berechnungen, die auf der Grundlage der Klimastationsflächen durchgeführt wurden, müssen als Tendenz betrachtet werden. Eine höhere Auflösung bei der Regionalisierung wäre wünschenswert.

Das Verfahren von RENGER & STREBEL (1982) beruht auf der HAUDE-Formel zur Berechnung der potenziellen Evapotranspiration. Um einen optimalen Bezug zur potenziellen Evapotranspiration mit der FAO-Grasreferenzverdunstung zu gewährleisten, müsste das Modell erweitert werden. Für das aktuelle Klima ist die Abweichung zwischen ETP_{HAUDE} und ETP_{FAO} nicht besonders groß, daher ist der Fehler in den Ergebnissen relativ klein. Die Prognosen zeigen jedoch, dass diese Abweichung bis zum Ende des Jahrhunderts sehr stark zunimmt.

9 Ausblick

Wasser ist zu einer Ressource geworden, deren Bedeutung stetig zunimmt. Wasserknappheit führt immer häufiger zu Konfliktsituationen zwischen den verschiedenen Nutzern (MÜLLER 1996, RIESBECK 2007). So sind die Hauptnutzer der natürlichen Wasservorräte die Trinkwasserversorgung, die Industrie und die Landwirtschaft. In Niedersachsen werden jährlich ca. 10 % der Grundwasserneubildungsmenge für diese Zwecke entnommen, das entspricht etwa 880 Mio. m³/a (POLLACK 1996). Der prognostizierte maximale Wasserbedarf im Untersuchungsgebiet liegt im Zeitraum 2071–2100

allein für die Landwirtschaft bei 29 % der jährlichen Grundwasserneubildung und somit deutlich über diesem Wert. Laut MÜLLER (1991) benötigt die Landwirtschaft 150–200 Mio. m³/a Berechnungswasser. Die prognostizierte potenzielle Berechnungswassermenge liegt für den Zeitraum 2071–2100 im Mittel bereits bei 300 Mio. m³/a und somit etwa doppelt so hoch. Selbst wenn das Grundwasserdargebot für eine optimale Feldberechnung ausreichen würde, kann es zu Grundwasserabsenkungen in einigen Bereichen kommen, da die Wasserentnahme nicht gleichmäßig über den gesamten Grundwasserkörper verteilt werden kann. Eine bedeutend höhere Grundwasserentnahme als die 10 % der Grundwasserneubildung birgt zahlreiche Risiken und ist in vielen Gebieten kaum möglich. Gründe dafür sind z. B., dass die Ergiebigkeit vieler Grundwasserleiter nicht ausreichend ist. Außerdem verursacht eine Grundwasserabsenkung oft ökologische Schäden (MÜLLER 1991).

Auch wenn in Deutschland nicht von Wasserknappheit gesprochen werden kann, kommt es, z. B. in Gebieten mit geringer Grundwasserneubildung, regional schon heute zu Konflikten unter den Grundwassernutzern. Durch den Klimawandel könnten diese Nutzungskonflikte verstärkt werden. Diese Problematik tritt auch in anderen europäischen Ländern auf. So gibt es z. B. in Spanien diesbezügliche Studien zu Grundwasserressourcen, da das Grundwasser sehr stark zur Berechnung genutzt wird (MARTINEZ-SANTOS, LLAMAS, & MARTINEZ-ALFARO 2008). Außerhalb Europas ist z. B. Chinas Landwirtschaft sehr stark von den Klimaänderungen und dem damit verbundenen Berechnungsanstieg betroffen. Da China Spitzenreiter in der globalen Agrarproduktion ist, könnte ein Einbruch in der landwirtschaftlichen Produktion Auswirkungen auf die globale Nahrungszufuhr haben (THOMAS 2007). In Entwicklungsländern beträgt der Wasserverbrauch der Landwirtschaft zwischen 70–90 % des verfügbaren Süßwassers (RIESBECK 2007). Für Europa liegt dieser Wert bei etwa 35 %. Der Anteil des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs ist in Deutschland mit ca. 0,45 % äußerst gering (UBA 2008b).

Die Landwirtschaft steht vor der Aufgabe, sich an die Klimaänderungen anzupassen und die steigende potenzielle Berechnungsbedürftigkeit durch Optimierung der Feldberechnung auszugleichen (MINACAPILLI, IOVINO & D'URSO 2007). Berechnungsmenge und Berechnungs-

zeitpunkt sind wichtige Faktoren, die zur Verbesserung der Wasserversorgung von Kulturpflanzen beitragen können, wenn sie optimal auf den Boden und die Fruchtart abgestimmt sind (WESSOLEK et al. 1988). So lautet die Empfehlung von WESSOLEK et al. (1988), z. B. für sandige Böden, die meist einen hohen Beregnungsbedarf aufweisen, nur geringe Einzelberegnungsgaben zu wählen, um den beregnungsbedingten Versickerungsanstieg möglichst gering zu halten. Auch der Beregnungszeitpunkt hat Einfluss auf den durch zusätzliche Feldberegnung herbeigeführten Versickerungsanstieg. „Je früher eine Beregnung einsetzt (z. B. bei Pflanzen, die stark auf Wassermangel reagieren oder bei Standorten mit geringem Wasserspeichungsvermögen), desto geringer sollte die einzelne Beregnungsgabe liegen [...]“ (WESSOLEK et al. 1988). Um Speicherraum für natürliche Niederschläge zu erhalten, sollte die Einzelberegnungsgabe nicht den gesamten effektiven Wurzelraum bis zur Feldkapazität auffüllen. Trotzdem wird angenommen, dass die Nettobelastung des Grundwassers durch die Feldberegnung nur bei etwa 70 % liegt, ca. 30 % werden durch Versickerung wieder dem Grundwasser zugeführt (WESSOLEK et al. 1988). Allerdings wird dieser Versickerungsanteil durch die Optimierung der Beregnungssteuerung höchstwahrscheinlich abnehmen. Durch die optimale Anpassung der Beregnungsmengen und des Beregnungszeitpunktes kann auch die Auswaschung von Nährstoffen (z. B. Nitrat) und Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser reduziert werden (MLUV 2005).

Auch die Wahl der Fruchtfolgen kann auf die zukünftigen Klimabedingungen abgestimmt werden (BREITSCHUH 2007). In der Landwirtschaft könnten in Zukunft Fruchtarten angebaut werden, die mit einem niedrigeren Wasserangebot und steigenden Temperaturen auskommen. In diesem Zusammenhang könnten Fruchtarten mit hoher Wassernutzungseffizienz wie Sonnenblumen, Mais und Hartweizen, ggf. auch Soja und Hirse genannt werden (MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS 2007). Für Großbritannien schlagen GIBBONS & RAMSDEN (2008) vor, verstärkt Sonnenblumen für Bioenergie anzubauen, da sich diese besser an den Klimawandel anpassen können. GARCÍA-VILA et al. (2008) empfehlen für Spanien eine bessere Schulung der Landwirte im Umgang mit Wasser und dem Anbau effizienterer Fruchtfolgen.

Der Klimawandel kann sich auf die landwirtschaftliche Produktion negativ auswirken (MU 2008). In einigen Bereichen könnten aber auch positive Auswirkungen für die Landwirtschaft auftreten. So nimmt z. B. die Frostgefahr durch die ansteigenden Temperaturen ab (TODISCO & VERGNI 2007). Dies kann sich nicht nur positiv auf die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen auswirken, sondern kann auch die Grundwasserneubildung im Winter erhöhen. Außerdem wird sich die Vegetationsperiode vermutlich verlängern. Wahrscheinlich würde dies allerdings eine erhöhte Beregnung nach sich ziehen.

Zur Vermeidung verstärkter Konflikte um das Grundwasser könnte untersucht werden, ob die Feldberegnung auch aus anderen Quellen möglich ist. Im „No-Regret-Bericht“ (LWK 2008) ist bereits der Vorschlag gemacht worden, Wasser aus dem Elbe-Seitenkanal für die Feldberegnung zu nutzen. Die Umsetzung ist allerdings aufwändig und energetisch intensiv. Ein weiterer Ansatz des „No-Regret-Berichts“ (LWK 2008) ist die Umkultivierung von Nadelwäldern zu Laubwäldern, da die Grundwasserneubildung unter Laubwäldern höher ist. BREITSCHUH (2007) schlägt einen Rückbau von bereits bestehenden Speichieranlagen vor, die gegenwärtig anderweitig genutzt werden.

Abschließend sei zusammengefasst, dass dieser Bericht einen Ausblick auf die möglichen Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf die Landwirtschaft ermöglicht. Die Zunahme des Wasserbilanzdefizites durch die Veränderungen der Klimaparameter Temperatur und Niederschlag resultiert in einer Zunahme der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit und steigenden Beregnungswassermengen. Diese Ergebnisse erfordern die Entwicklung von Anpassungsstrategien.

10 Literatur

- ADAM, C., GLÄSSER, W. & HÖLTING, B. (2000): Hydrogeologisches Wörterbuch. – 311 S.; Stuttgart (Enke) – ISBN 3-13-118271-1.
- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover – ISBN 3-510-95920-5.
- BOESS, J., GEHRT, E., MÜLLER, U., OSTMANN, U., SBRESNY, J. & STEININGER, A. (2004): Erläuterungsheft zur digitalen nutzungsdifferenzierten Bodenkundlichen Übersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50n) von Niedersachsen. – Arb.-H. Boden 2004/3: 61 S., 10 Abb., 35 Tab.; Hannover (NLfB) – ISSN 0949-1538.
- BREITSCHUH, G. (2007): Die Wasserversorgung der Pflanzen als wesentlicher Ertragsfaktor. – DLG-Fachtagung Bewässerung 2007, 3–5; Jena; <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/h2ot0707.pdf>> [29.10.2008].
- BÜK 50N: Digitale nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte von Niedersachsen 1 : 50 000. – digitaler Datensatz des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover.
- CEC - CLIMATE & ENVIRONMENT CONSULTING POTSDAM GMBH (Hrsg.) (2007): Szenarien mit WettReg - Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode. – <<http://www.cec-potsdam.de/Produkte/Klima/WettReg/wettreg.html>> [16.10.2008].
- CLM COMMUNITY - CLIMATE LIMITED-AREA MODELLING COMMUNITY (2008): Model System. – <<http://www.clm-community.eu/index.php?menuid=47>> [16.10.2008].
- DVWK - DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E. V. (Hrsg.) (1984): Beregnungsbedürftigkeit - Beregnungsbedarf: Modelluntersuchungen für die Klima- und Bodenbedingungen der Bundesrepublik Deutschland. – Merkblätter zur Wasserwirtschaft **205**: 39 S.; Bonn (Parey) – ISBN 3-490-30597-3.
- DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1997): DIN 19685 - Klimatologische Standortuntersuchung, Ermittlung der meteorologischen Größen. – 7 S.; Berlin (Beuth).
- DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1994): DIN 4049-3 – Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – Berlin (Beuth).
- ECKELMANN, W. & RENGIER, M. (1981): Erfassung und Darstellung der Trockengefährdung landwirtschaftlich genutzter Standorte am Beispiel der Bodenkundlichen Standortkarte i. M. 1 : 200 000. – Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung **22**: 224–231, 3 Abb., 1 Tab.; Berlin (Parey) – ISSN 0044-2984.
- EG-WRRL (2005): EG-WRRL-Bericht 2005 - Grundwasser: Betrachtungsraum NI07 - Obere Aller: Ergebnisse der Bestandsaufnahme. – erstellt vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLfB) und dem Niedersächsischen Landesamt für Ökologie (NLÖ).
- ELBRACHT, J., MEYER, R. & REUTTER, E. (2007): Hydrogeologische Räume und Teilräume in Niedersachsen. – mit Beiträgen von LINDER, B. & MAI, C., GeoBerichte **3**: 107 S., 25 Abb.; Hannover (LBEG) – ISSN 1864-6891.
- EEA - EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2004): Impacts of Europe's changing climate - An indicator-based assessment. – Report No. 2: 100 S.; Kopenhagen.
- FRICKE, E. (2006): Zusatzwasser für mehr Qualität. – <<http://www.fachverband-feldberegnung.de/basisinfo.htm>> [16.10.2008].
- FRICKE, E. & HEIDORN, H. (2003): Effizientes landwirtschaftliches Beregnungs-Management. – <<http://www.fachverband-feldberegnung.de/basisinfo.htm>> [16.10.2008].
- FRICKE, E. & RIEDEL, A. (2008): Wirtschaftlichkeit der Beregnung steigt. – <<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/pflanze/nav/185/article/10154.html>> [16.10.2008].
- GARCÍA-VILA, M., LORITE, I. J., SORIANE, M. A. & FERERES, E. (2008): Management trends and responses to water scarcity in an irrigation scheme of Southern Spain. – Agricultural Water Management **95**: 458–468; Córdoba (Elsevier).
- GERSTENGARBE, F.-W. (Hrsg.), BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOE, F., WECHSUNG, F. & WERNER, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst-

- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – Report No. **83**; Potsdam.
- GIBBONS, J. M. & RAMSDEN, S. J. (2008): Integrated modelling of farm adaption to climate change in East Anglia, UK: Scaling and farmer decision making. – *Agriculture, Ecosystem and Environment* **127**: 126–134; Bangor (Elsevier).
- GÜK 500: Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000. – digitaler Datensatz des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®); Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover.
- HEUNISCH, C., CASPERS, G., ELBRACHT, J., LANGER, A., RÖHLING, H.-G., SCHWARZ, C. & STREIF, H. (2007): Erdgeschichte von Niedersachsen - Geologie und Landschaftsgeschichte. – *GeoBerichte* **6**: 85 S., 57 Abb., 18 Tab.; Hannover (LBEG) – ISSN 1864-6891.
- HEIDT, L. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens. – Diplomarbeit am Institut für Bodenkunde, 148 S., 66 Abb., 14 Tab., 5 Kt., Leibniz Universität Hannover [Unveröff.].
- 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. – CLM Technical Report; Hamburg – [Entwurf].
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Hrsg.) (2000): Emissions Scenarios - Summary for Policymakers. – IPCC Special Report Working Group III, 20 S.; o. O. – ISBN 92-9169-113-5.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (Hrsg.) (2007): Klimaänderungen 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. – Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR 4), 89 S.; Stuttgart – ISBN 978-3-907630-28-0.
- JACOB, D. & PODZUN, R. (1997): Sensitivity Studies with the Regional Climate Model REMO. – *Meteorol. Atmos. Phys.* **63**: 119–129; Hamburg (Springer).
- JOSOPAIT, V., RAISSI, F. & MÜLLER, U. (2008): Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Anträge zur Grundwasserentnahme für die Feldberegnung. – 2. Aufl., *Geofakten* **3**: 5 S., 1 Tab.; Hannover (LBEG) – <http://cdl.niedersachsen.de/blob/images/C38207272_L20.pdf> [27.10.2008].
- KOMPASS - KOMPETENZZENTRUM KLIMAFOLGEN UND ANPASSUNG (2008): Klimaszenarien. – <http://www.anpassung.net/nn_700470/DE/Klimaszenarien/klimaszenarien__node.html?__nnn=true> [16.10.2008].
- KRAUSE, A. (2008): Der Klimawandel in Niedersachsen. Analyse und Bewertung vorhandener Datensätze. – Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Leibniz Universität Hannover **74**, 121 S.; Hannover.
- KRÖCHER, U. VON (1991): Grundwassernutzung und Grundwasserschutz aus landwirtschaftlicher Sicht. – *Grundwasser in Niedersachsen* **7**: 83–87, 1 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart) – ISSN 0936-7063.
- KUES, J. & OELKERS, K.-H. (1996): Die Böden in Niedersachsen: Potentiale, Empfindlichkeiten und Schutz. – *Wasser und Boden - Nutzung, Belastung und Schutz in Niedersachsen* **11**: 18–34, 10 Abb., 2 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart) – ISSN 0936-7063.
- LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2008): Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit. – <http://www.lbeg.niedersachsen.de/master/C42400006_N42375458_L20_D0_I31802357.html> [16.10.2008].
- LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.): Grundwasserneubildung in Niedersachsen. – digitaler Datensatz des Niedersächsischen Boden-informationssystems (NIBIS®); Hannover.
- LSKN - LANDESBETRIEB FÜR STATISTIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE NIEDERSACHSEN (Hrsg.) (2008): Basisdaten Niedersachsens - Statistische Grundzahlen auf Landes- oder Bezirksebene. – <http://www.nls.niedersachsen.de/html/basisdaten_niedersachsen.html> [16.10.2008].
- LWK - LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN (Hrsg.) (2008): No Regret - Genug Wasser für die Landwirtschaft?! – 179 S.; Uelzen.

- MARTÍNEZ-SANTOS, P., LLAMAS, M. R. & MARTÍNEZ-ALFARO, P. E. (2008): Vulnerability assessment of groundwater resources: A modelling-based approach to the Mancha Occidental aquifer, Spain. – *Environmental Modelling and Software* **23** (9): 1145–1162; Madrid (Elsevier).
- MINACAPILLI, M., IOVINO, M. & D'URSO, G. (2007): A distributed agro-hydrological model for irrigation water demand assessment. – *Agricultural Water Management* **95**: 123–132; Palermo (Elsevier).
- MLUV - MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHE ENTWICKLUNG, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES BRANDENBURG (Hrsg.) (2005): Leitfaden zur Berechnung landwirtschaftlicher Kulturen. – Potsdam – <http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2331/bereg_lf.pdf> [27.10.2008].
- MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS (Hrsg.) (2007): Klimaschutz und Folgen des Klimawandels in Mecklenburg-Vorpommern. – 47 S.; Schwerin – <http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/wm/_Service/Publikationen/index.jsp?&publikid=1239> [27.10.2008].
- MU - NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT UND KLIMASCHUTZ (Hrsg.) (2008): Klimawandel - Herausforderung für Staat und Gesellschaft. – 19 S.; Hannover – <<http://www.umwelt.niedersachsen.de/servlets/download?C=50378819&L=20>>.
- MÜLLER, J. (1991): Wasserversorgung und Grundwasserschutz in Niedersachsen. – *Grundwasser in Niedersachsen* **7**: 7–12, 4 Abb., 2 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart) – ISSN 0936-7063.
- MÜLLER, J. (1996): Grundwasser - ein schutzbedürftiger Rohstoff. – *Wasser und Boden - Nutzung, Belastung und Schutz in Niedersachsen* **11**: 5–12, 3 Abb., 2 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart) – ISSN 0936-7063.
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 7. erw. u. erg. Aufl., Arb.-H. Boden 2004/2: 409 S., 3 Abb., 405 Tab.; Hannover (NLfB) – ISSN 0949-1538.
- NLFB - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.) (1997): Böden in Niedersachsen, Teil 1: Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodenschutz, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS®. – 125 S., 36 Abb., 1 Tab., 63 Prof.; Hannover – ISBN 3-510-95814-4.
- NLWKN - NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2008): Fließgewässernetz. – digitaler Datensatz des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®), Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG); Hannover.
- POLLACK, E. (1996): Grundsätze und Ziele des Boden- und Grundwasserschutzes in der niedersächsischen Raumordnung. – *Wasser und Boden - Nutzung, Belastung und Schutz in Niedersachsen* **11**: 13–17; Stuttgart (Schweizerbart) – ISSN 0936-7063.
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1980a): Beregnungsbedarf landwirtschaftlicher Kulturen in Abhängigkeit vom Boden. – *Wasser und Boden* **12**: 572–575, 6 Abb., 4 Tafeln; Hannover.
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1980b): Wasserverbrauch und Ertrag von Pflanzenbeständen. – *Kali-Briefe* **15** (2): 135–143; Hannover.
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1981a): Beregnungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Kulturen in Niedersachsen in Abhängigkeit von Klima und Boden. – *Meteorol. Rdsch.* **34**: 10–16; Hannover.
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1981b): Bestimmung der Beregnungsbedürftigkeit wichtiger Standorte Niedersachsens. – Abschlussbericht, Archiv LBEG **0091414**: 97 S.; Hannover [Unveröff.].
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1982): Beregnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzflächen in Niedersachsen. – *Geol. Jb.* **F13**: 3–66, 43 Abb., 26 Tab.; Hannover.
- RENGER, M., STREBEL, O. & GIESEL, W. (1974): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten. – *Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung* **15**: 148–160, 6 Abb., 5 Tab.; Berlin (Parey) – ISSN 0044-2984.

- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1993): Bestimmung des Beregnungsbedarfs. – Wasser und Boden **9**: 731–734; Berlin.
- RIESBECK, F. (2007): Wasser weltweit - Die Bedeutung der landwirtschaftlichen Bewässerung. – DLG-Fachtagung Bewässerung 2007, 6–8; Jena – <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/h2ot0707.pdf>> [29.10.2008].
- ROECKNER, E., BÄUML, G., BONAVENTUR, L., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, S., HAGEMANN, S., KIRCHNER, I., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., RHODIN, A., SCHLESE, U., SCHULZWEIDA, U. & TOMPKINS, A. (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5 - Part 1: Model description. – Report No. **349**: 127 S.; Hamburg – ISSN 0937-1060.
- ROECKNER, E., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, S., HAGEMANN, S., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., SCHLESE, U. & SCHULZWEIDA, U. (2004): The atmospheric general circulation model ECHAM5 - Part 2: Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution. – Report No. **354**: 56 S.; Hamburg – ISSN 0937-1060.
- ROECKNER, E., BRASSEUR, G. P., GIORGETTA, M., JACOB, D., JUNGCLAUS, J., REICK, C. & SILLMANN, J. (2006): Klimaprojektionen für das 21. Jahrhundert. – 28 S.; Hamburg – <<http://edoc.mpg.de/display.ep?mode=doc&id=251080&col=39&grp=221>> [27.10.2008].
- SCHALLER, M. & WEIGEL, H.-J. (2007): Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. – FAL Landbauforschung Völkenrode **316**: 248 S., 21 Abb., 12 Tab.; Braunschweig – ISBN 978-3-86576-041-8.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. – unter Mitarbeit von BLUM, H.-P., BRÜMMER, G. W., SCHWERTMANN, U., HORN, R., KÖGEL-KNABNER, I., STAHR, K., AUERSWALD, K., BEYER, L., HARTMANN, A., LITZ, N., SCHEINOST, A., STANJEK, H., WELP, G., WILKE, B.-M., 15. Aufl.: 593 S., Heidelberg (Spektrum) – ISBN 3-8274-1324-9.
- SEEDORF, H. H. & MEYER, H.-H. (1992): Landeskunde Niedersachsen: Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes. Band 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung. – 517 S., 252 Abb., 62 Tab.; Neumünster (Wachholtz) – ISBN 3-529-05112-8.
- SPEKAT, A., ENKE, W. & 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. – Publikationen des Umweltbundesamtes: 112 S.; Potsdam.
- THOMAS, AXEL (2007): Agricultural irrigation demand under present and future climate scenarios in China. – Global and Planetary Change **60**: 306–326; Gießen (Elsevier).
- TODISCO, F. & VERGNI, L. (2007): Climatic changes in Central Italy and their potential effects on corn water consumption. – Agricultural and Forest Meteorology **148**: 1–11; Perugia (Elsevier).
- UBA - UMWELTBUNDESAMT FÜR MENSCH UND UMWELT (Hrsg.) (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. – 203. S.; Dessau, < http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennnummer&Suchwort=2947>.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT FÜR MENSCH UND UMWELT (Hrsg.) (2006): Künftige Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. – Hintergrundpapier April 2006, aktualisiert im September 2006, <<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3552.pdf>>.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT FÜR MENSCH UND UMWELT (Hrsg.) (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen - Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. – 27 S. Dessau – <<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/Regionale-Klimaaenderungen.pdf>> [27.10.2008].
- UBA - UMWELTBUNDESAMT FÜR MENSCH UND UMWELT (Hrsg.) (2008a): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. – Dessau.

UBA - UMWELTBUNDESAMT FÜR MENSCH UND UMWELT (Hrsg.) (2008b): Umwelt Deutschland - Wassernutzung in der Landwirtschaft. – <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=3385> [29.10.2008].

VALDÉS, J. B., SEOANE, R. S. & NORTH, G. R. (1994): A methodology for the evaluation of global warming impact on soil moisture and runoff. – *Journal of Hydrology* **16**: 389–413 (Elsevier).

WESSOLEK, G., RINGER, M. & STREBEL, O. (1987): Einfluss der Beregnung auf den regionalen Wasserhaushalt. – *Wasser & Boden* **3**: 112–114, 4 Abb.; Berlin.

WESSOLEK, G., RINGER, M., STREBEL, O., DUYNISVELD, W. H. M., FACKLAM, M., BRAUN, G. & LIST, B. (1988): Gezielte Beregnungssteuerung zur Ertragsoptimierung und Verringerung des beregnungsbedingten Versickerungsanstieges. – 69 S.; Berlin.

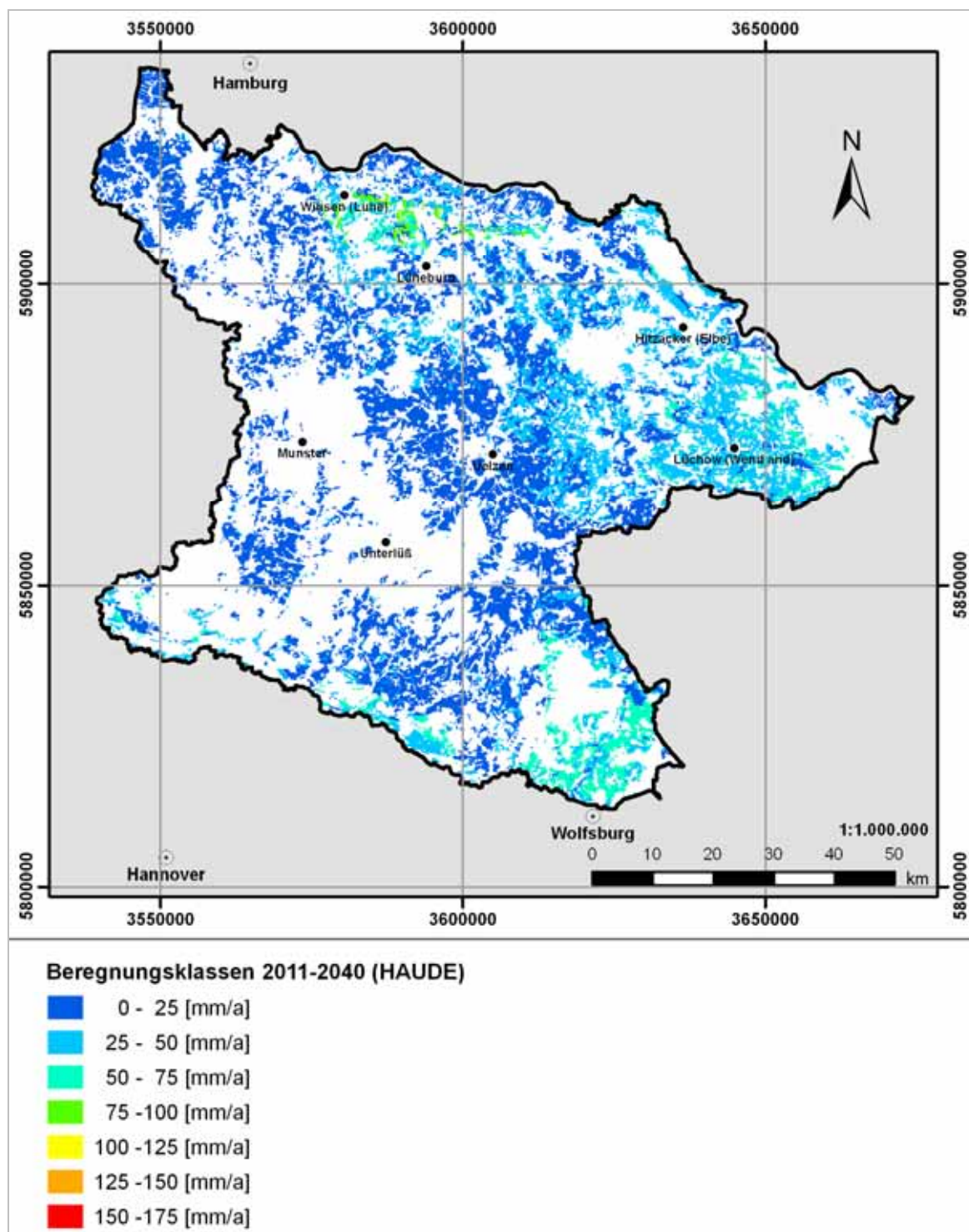
WISSENSCHAFTLICHES ZENTRUM FÜR UMWELTSYSTEMFORSCHUNG DER UNIVERSITÄT KASSEL (Hrsg.) (2005): Klimawandel und Landwirtschaft in Hessen: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge. – 22 S.; Kassel.

WIXWAT, T. (2009): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen. – *GeoBerichte* **12**: 80 S., 45 Abb., 8 Tab.; Hannover (LBEG).

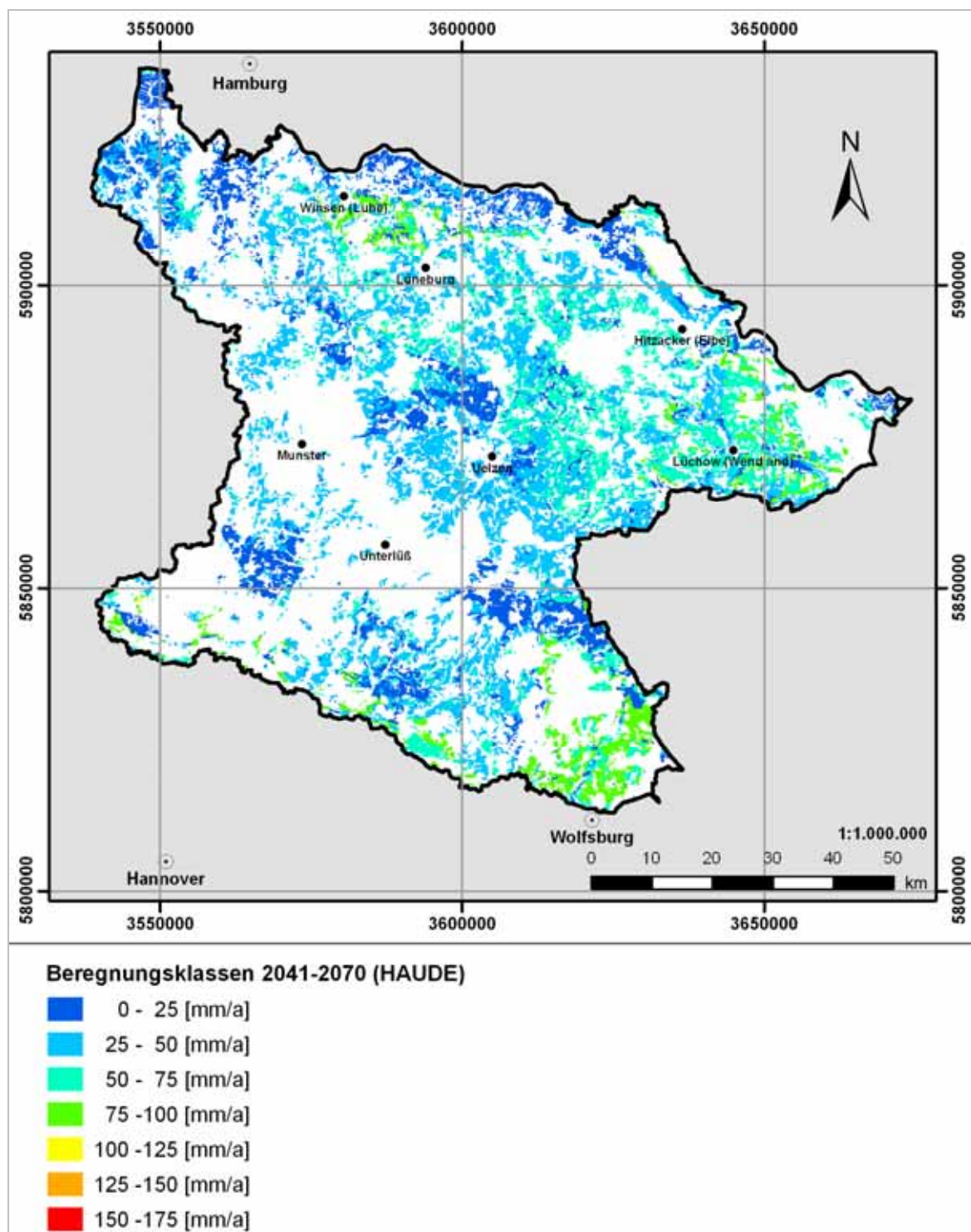
11 Abkürzungen

BÜK 50n	digitale nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte 1 : 50 000
CEC	Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH
CLM	Climate Limited Area Model
DWD	Deutscher Wetterdienst
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.
ECHAM5	European Climate Hamburg Model
EEA	European Environment Agency
EG-WRRL	Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft
ETPv	Evapotranspiration der Hauptvegetationsperiode
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GÜK 500	Geologische Übersichtskarte 1 : 500 000
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KA	kapillarer Aufstieg [mm]
KWBb	berechnungswirksame Klimatische Wasserbilanz [mm/v]
KWBv	Klimatische Wasserbilanz der Hauptvegetationsperiode [mm/v]
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LSKN	Landesamt für Statistik und Kommunikationstechnologie Niedersachsen
LWK	Landwirtschaftskammer
mBm	mittlere Berechnungsmenge [mm/a]
MeMaS®	Methodenmanagementsystem
mm	Millimeter
mm/a	Millimeter pro Jahr
mm/dm	Millimeter pro Dezimeter
mm/v	Millimeter pro Vegetationsperiode
MPI-M	Max-Planck-Institut für Meteorologie (Hamburg)
MU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz
nFK	nutzbare Feldkapazität [mm/dm]
nFKWe	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes [mm]
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Nv	Niederschlag der Hauptvegetationsperiode
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
REMO	Regionalmodell
SRES	Special Report on Emissions Scenarios
UBA	Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt
WETTREG	Wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode
Wpfl	Pflanzenverfügbares Bodenwasser [mm]

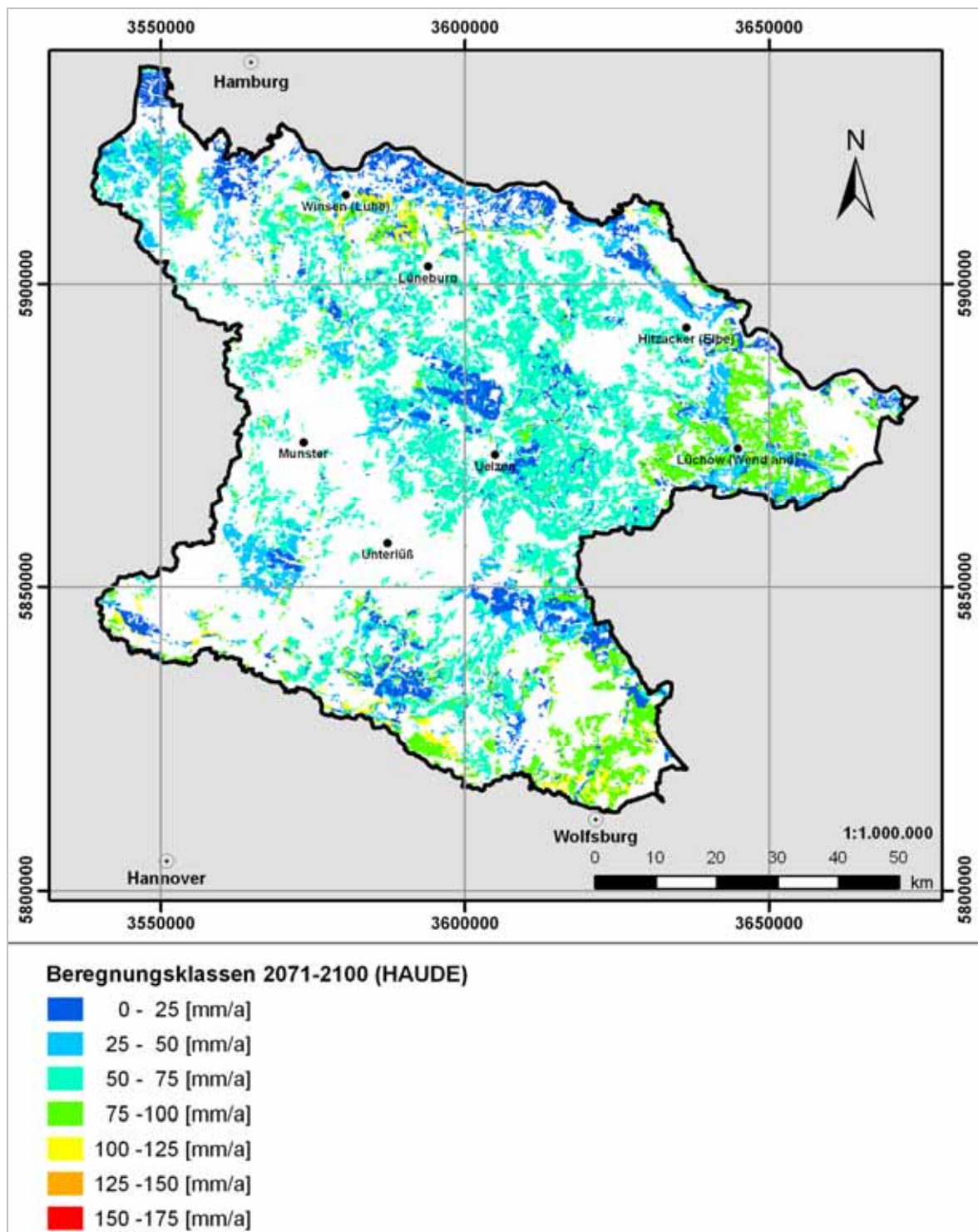
12 Anhang



Anhang 1: Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040 (HAUDE).



Anhang 2: Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070 (HAUDE).



Anhang 3: Potenzielle Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100 (HAUDE).

13 Karten

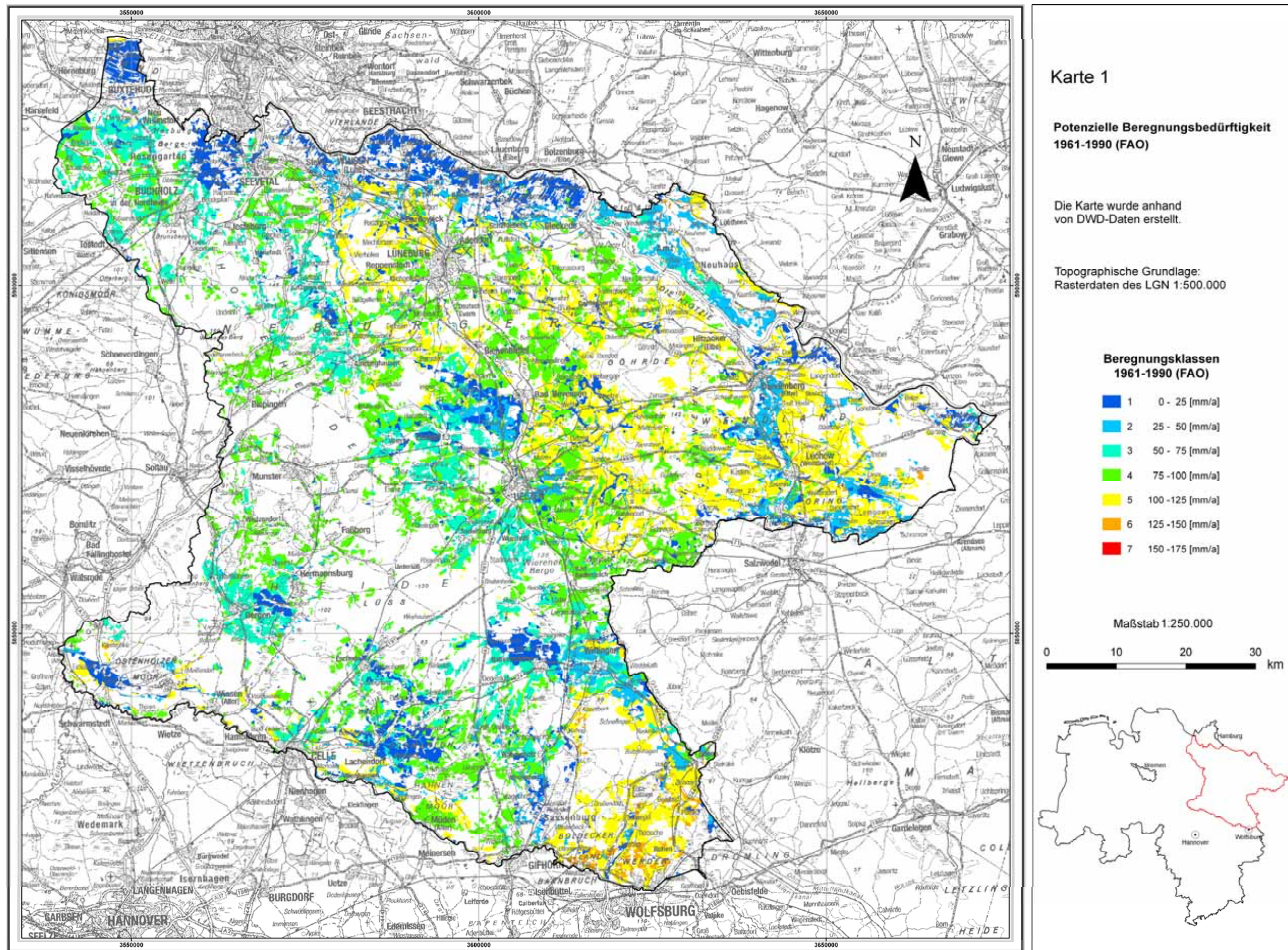
Karte 1: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 1961–1990 (FAO).

Karte 2: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040 (FAO).

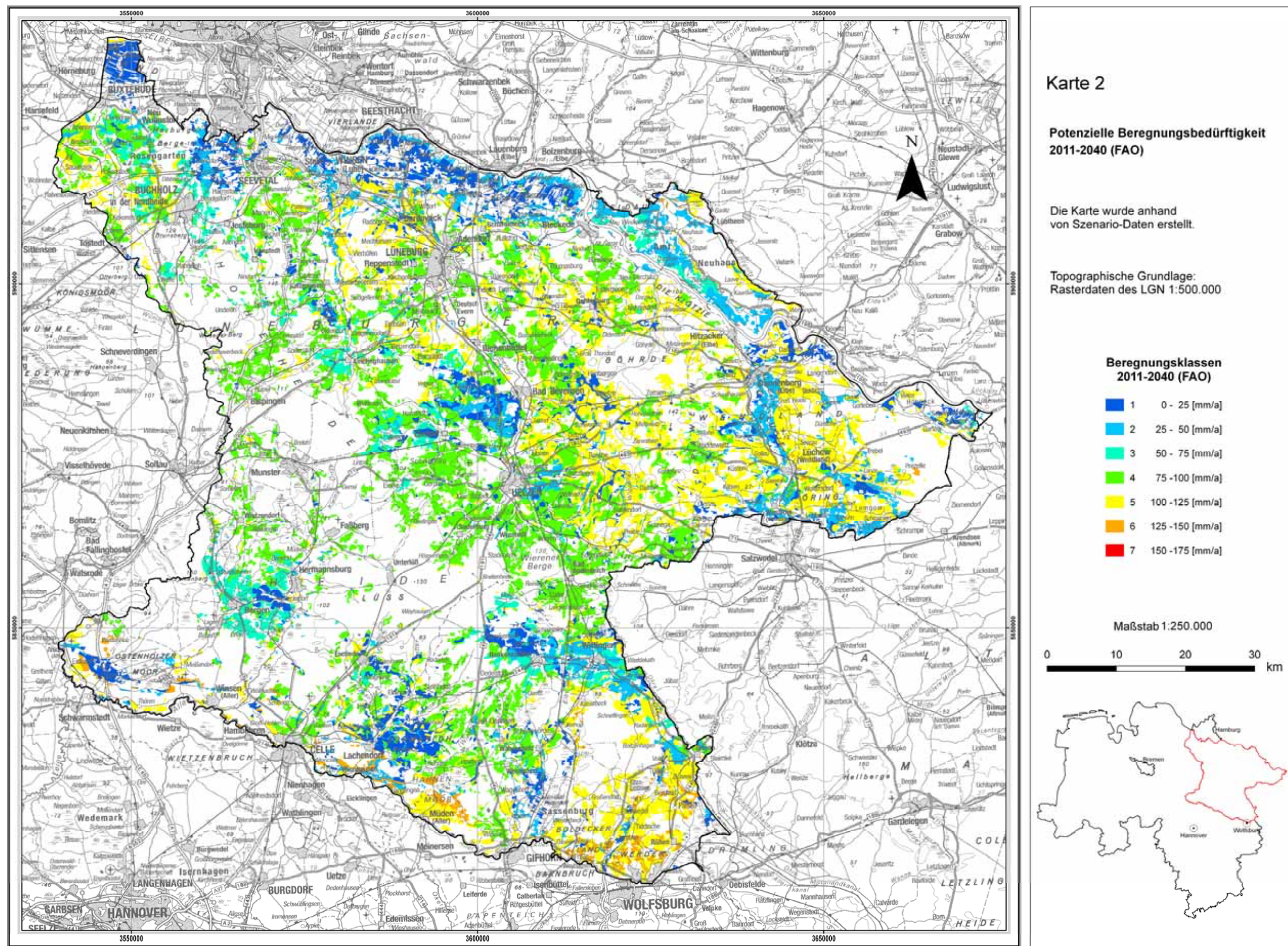
Karte 3: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070 (FAO).

Karte 4: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100 (FAO).

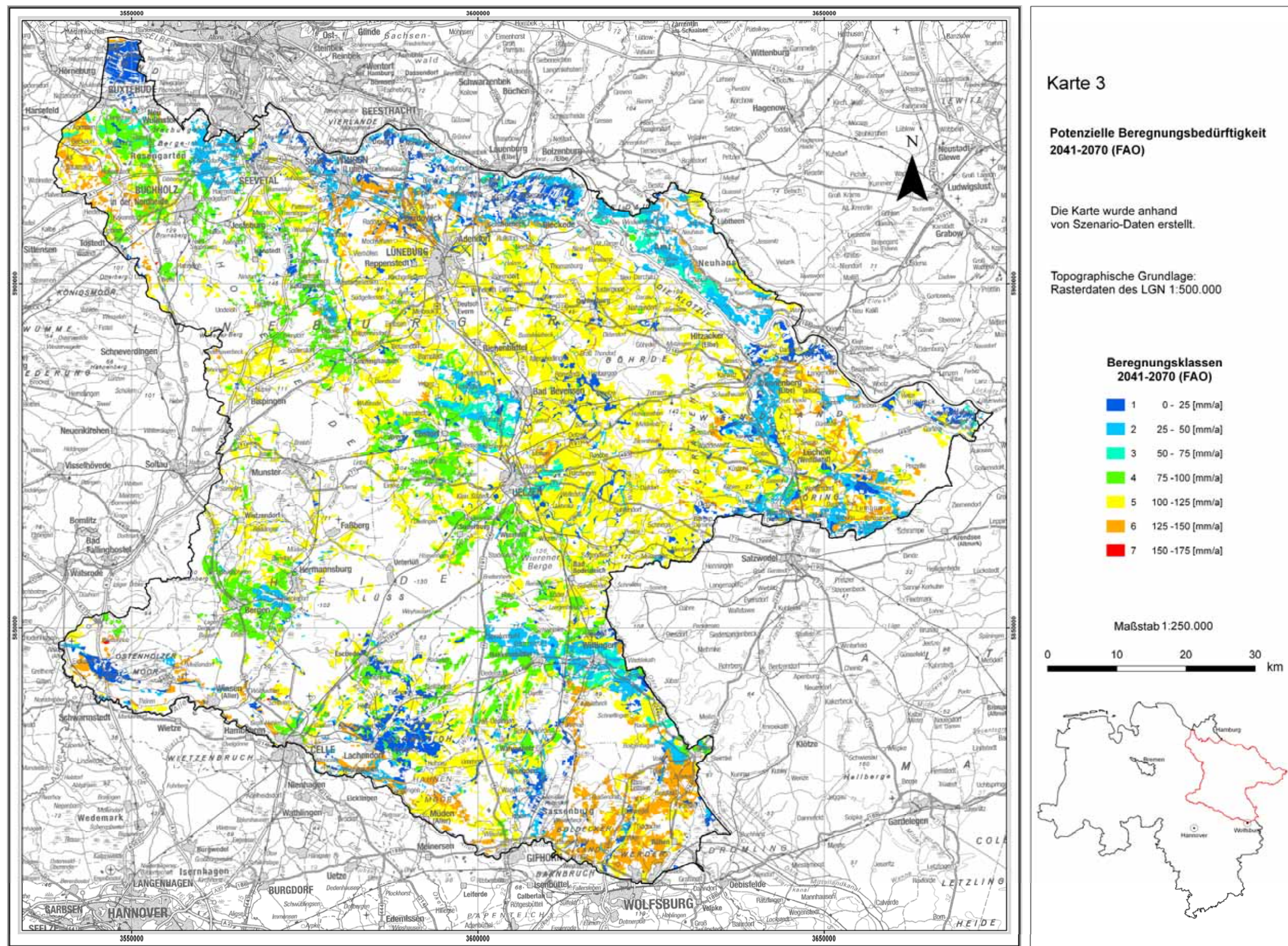
Karte 5: Karte der Abweichung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100 vom Referenzzeitraum 1961–1990.



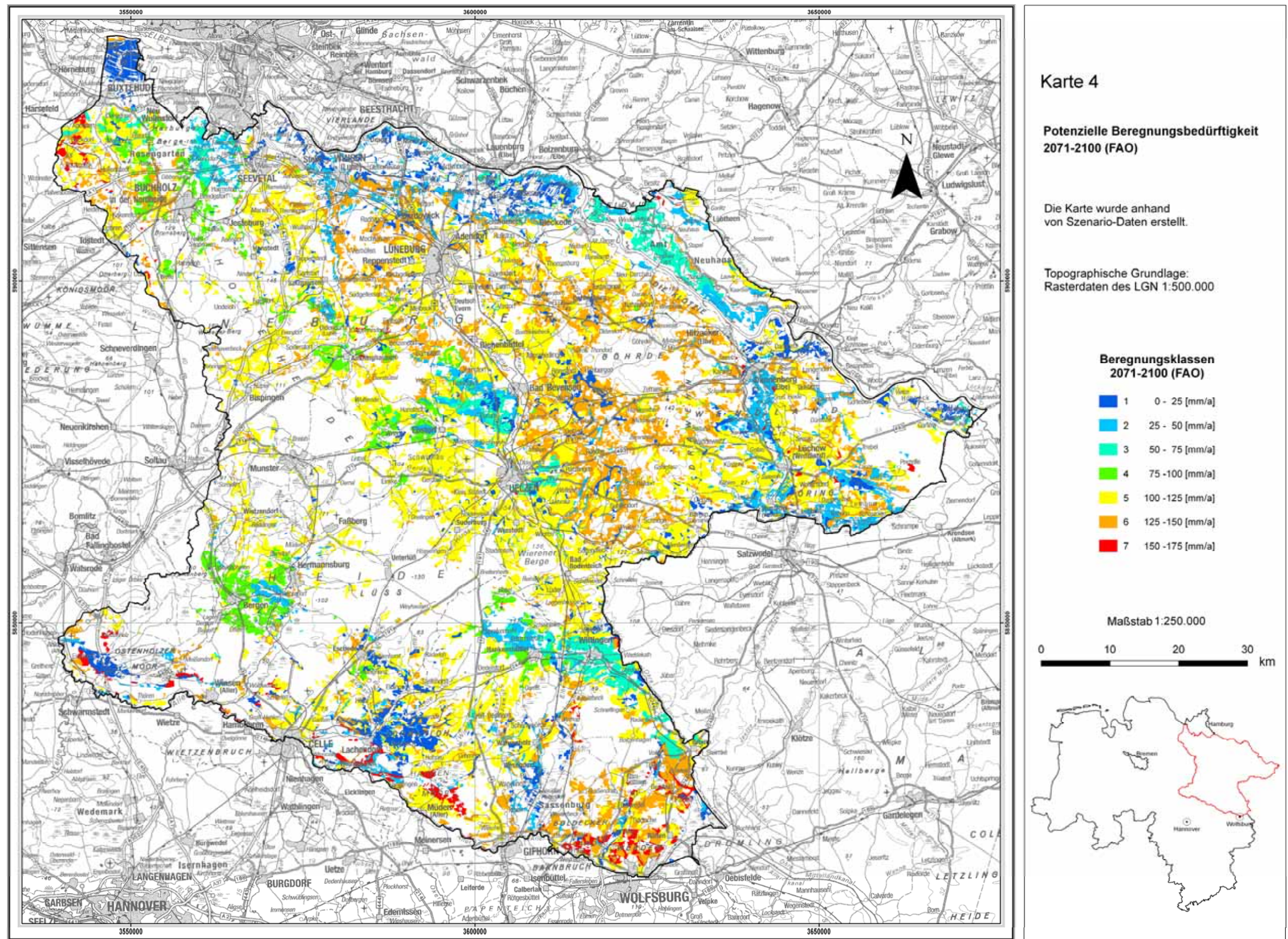
Karte 1: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 1961–1990 (FAO).



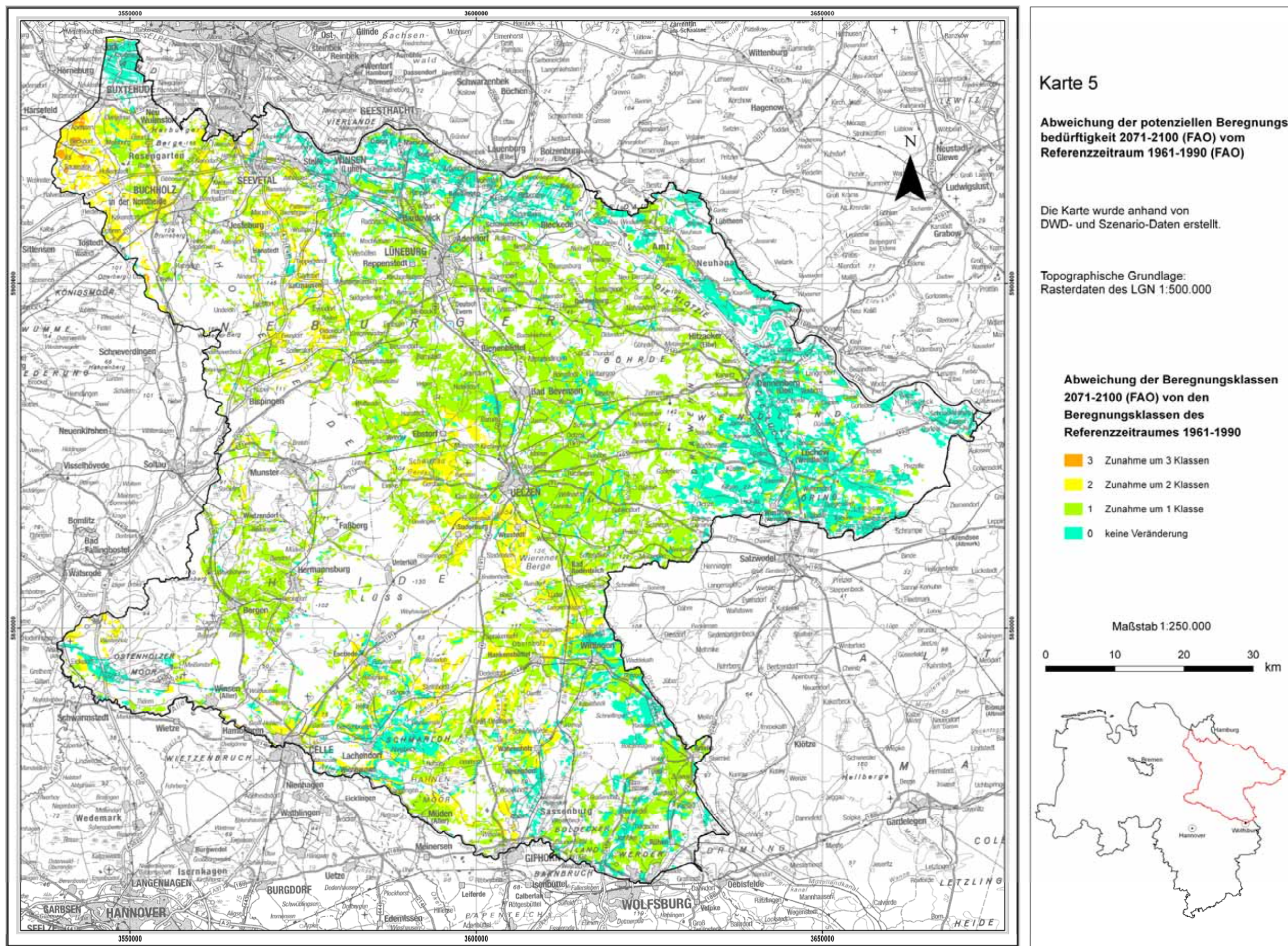
Karte 2: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2011–2040 (FAO).



Karte 3: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2041–2070 (FAO).



Karte 4: Karte der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100 (FAO).



Karte 5: Karte der Abweichung der potenziellen Beregnungsbedürftigkeit 2071–2100 vom Referenzzeitraum 1961–1990.

Autorin

- Dipl.-Geowiss. Lena Heidt
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.3 „Landwirtschaft und
Bodenschutz, Landesplanung“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

ISSN 1864 – 7529