

GeoBerichte 12



LANDESAMT FÜR
BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE



Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen



Niedersachsen



GeoBerichte 12

Landesamt für
Bergbau, Energie und Geologie

Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen

TINA WIXWAT

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 > Publikationen > Geoberichte

1. Auflage.

Version: 19.01.2021

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

Titelbild: Jader Kreuzmoor, Foto: T. Wixwat (LBEG).

ISSN 1864–6891 (Print)

ISSN 1864–7529 (digital)

DOI 10.48476/geober_12_2009

GeoBer.	12	S. 1 – 80	45 Abb.	8 Tab.	Hannover 2009
---------	----	-----------	---------	--------	---------------

Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen

TINA WIXWAT

Kurzfassung

Zur Untersuchung, welche Auswirkung eine Klimaänderung auf unterschiedliche Naturräume in Niedersachsen haben könnte, wurden drei verschiedene Bearbeitungsgebiete gewählt: Nordost-Heide, Solling und Oldenburger Geest. Dem regionalen Klimamodell WETTREG wurden die Daten für Niederschlag, Temperatur und Sonnenscheindauer (zur Berechnung der Verdunstung) für die Jahre 2071–2100 entnommen, und zwar für das A1B-Szenario (Bevölkerungswachstum, schnelles Wirtschaftswachstum, höchster CO₂-Ausstoß, Temperaturerwärmung von 2–3 °C in Niedersachsen). Berechnet wurde die Grundwasserneubildung sowohl für den Zeitraum von 2071–2100 als auch für den Vergleichszeitraum von 1961–1990 mit dem Grundwasserneubildungsmodell GRO-WA06. Ziel der Berechnung war es, eine Differenzkarte für die Höhe der Grundwasserneubildung zu erstellen. Für die Berechnung wurden für die Jahre 2071–2100 lediglich Niederschlag, Temperatur und Verdunstung verändert. Alle anderen Faktoren, z. B. die Flächennutzung, blieben denen der Jahre 1961–1990 gleich.

Alle drei Untersuchungsgebiete weisen für 2071–2100 eine Verschiebung der Niederschlagspitzen von den Sommermonaten in die Wintermonate auf. Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasserneubildung. Trotz erhöhter Verdunstungsraten durch den Temperaturanstieg weisen die Untersuchungsgebiete meist eine gleichbleibende Grundwasserneubildung auf. In einzelnen Bereichen der Untersuchungsgebiete kann es zu Zunahmen von bis zu 100 mm/a und zu Abnahmen von bis zu 50 mm/a der Grundwasserneubildungsrate in Abhängigkeit von den Standortvoraussetzungen (Grundwasserflurabstand, Vegetation) kommen.

Inhalt

1	Einleitung	5
1.1	Bisheriger Forschungsstand	5
1.2	Durchführung der Arbeit.....	5
2	Klimamodelle	7
2.1	Globale Modelle	7
2.2	Klimaszenarien.....	7
2.2.1	A1-Szenario	7
2.2.2	A2-Szenario	7
2.2.3	B1-Szenario	7
2.2.4	B2-Szenario	8
2.3	Regionales Klimamodell WETTREG	8
2.3.1	Verfahren	8
2.3.2	Klimaänderung in Niedersachsen auf Basis der WETTREG-Daten.....	10
2.3.3	Auswertungsprogramm IDP	12
3	Grundwasserneubildung	12
3.1	Grundwasserneubildung – Definitionen und Begriffe	12
3.2	Berechnungsverfahren GROWA06.....	14
3.2.1	Niederschlag	14
3.2.2	Grasreferenzverdunstung	15
3.2.3	Pflanzenverfügbares Bodenwasser	16
3.2.4	Nutzungsart.....	16
3.2.5	Versiegelung	17
3.2.6	Hangneigung und Exposition	17
3.2.7	A/A _v -Verhältnis	18
3.3	Klimastationen.....	19
4	Untersuchungsgebiete	21
4.1	Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide.....	21
4.1.1	Allgemeines.....	21
4.1.2	Veränderung der Grundwasserneubildung – Variante 1	27
4.1.3	Veränderung der Grundwasserneubildung – Variante 2	39
4.1.4	Zusammenfassung	43
4.2	Untersuchungsgebiet II – Solling	44
4.2.1	Allgemeines.....	44
4.2.2	Veränderung der Grundwasserneubildung	50
4.2.3	Zusammenfassung	58
4.3	Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest	60
4.3.1	Allgemeines.....	60
4.3.2	Veränderung der Grundwasserneubildung	66
4.3.3	Zusammenfassung	75
5	Schlussbetrachtung	75
6	Literatur	77
6.1	Schriften	77
6.2	Karten.....	79

1 Einleitung

Der Klimawandel ist zurzeit ein viel diskutiertes Thema. Auswirkungen auf den Wasserhaushalt werden auch für Niedersachsen erwartet. Da die Grundwasserneubildung unter anderem direkt mit Niederschlag und Temperatur zusammenhängt, kann diese ebenfalls durch den Klimawandel Änderungen unterzogen sein. Auch die Sonnenscheindauer hat Einfluss auf die Verdunstung und somit auch auf die Grundwasserneubildung.

Das Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) veröffentlichte mehrere mögliche Szenarien (A1B, B1, B2), wie sich Klima, Wirtschaft und Bevölkerung bis zum Jahr 2100 verändern und den CO₂-Ausstoß beeinflussen könnten. Für die verschiedenen Szenarien wurden mit dem globalen Klimamodell ECHAM5-MPI-OM Berechnungen durchgeführt (ROECKNER et al. 2006), die einen Temperaturanstieg von 2–3 °C prognostizieren. Diese Daten bilden die Grundlage für das regionale Klimamodell WETTREG (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Erst das Modell WETTREG hat Daten geliefert, die Rückschlüsse auf kleinräumige Klimaänderungen in Niedersachsen zulassen.

In Deutschland ist die Höhe der Grundwasserneubildungsrate von besonderem Interesse, da im Mittel mehr als 68 % des Trinkwassers aus dem Grundwasser stammen (HAD 2003). In Niedersachsen sind es sogar 86 % des Trinkwassers, die aus dem Grundwasser gewonnen werden (REUTTER 2005). Demnach ist für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung von Bedeutung, ob sich die Grundwasserneubildung verändern könnte.

1.1 Bisheriger Forschungsstand

In Niedersachsen wurden bisher noch keine Untersuchungen zu Auswirkungen von möglichen Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt durchgeführt, so dass die Anregung zu dieser Arbeit vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) gegeben wurde.

Für das Bundesland Hessen wurden mögliche Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung untersucht. Der Szenario-Zeitraum wurde hier von 2011–2050 gewählt und der Referenzzeitraum von 1971–2000. Danach sollen in Hes-

sen die Niederschläge durchschnittlich um 5 % zunehmen. Dabei soll sich die Verteilung der höchsten Niederschlagsmengen von den Sommermonaten in die Wintermonate verschieben, so dass es im Mittel zu einer Zunahme der Grundwasserneubildung um 25 % kommen soll (BERTHOLD & HERGESELL 2005).

In Brandenburg soll dies ganz anders aussehen. Für die entsprechende Studie wurden die Klimaprognosen von 2046–2055 und als Vergleich der Zeitraum von 1951–2000 verwendet. Hier sollen die ohnehin schon geringen Niederschläge noch weiter abnehmen, und zwar ungefähr um 8 %. Gleichzeitig soll die Verdunstung um 8 % zunehmen, so dass es zu einer Abnahme der Sickerwasserrate um bis zu 60 % kommen soll (GERSTENGARBE et al. 2003).

Es stellt sich nun die Frage, wie sich eine mögliche Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen auswirken könnte.

1.2 Durchführung der Arbeit

Der vorliegende Geobericht entstand im Rahmen einer Diplomarbeit der Leibniz Universität Hannover in Zusammenarbeit mit dem LBEG. Er beschäftigt sich mit den möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen.

Verwendet wurden die WETTREG-Daten des A1B-Szenarios, welches das höchste Bevölkerungswachstum und den höchsten CO₂-Ausstoß und damit die stärkste Temperaturzunahme annimmt. Untersucht werden sollten die Differenzen in der Grundwasserneubildungsrate des Szenario-Zeitraums 2071–2100 im Vergleich zum Bezugszeitraum 1961–1990. Die Berechnung der Grundwasserneubildungsrate erfolgte als dreißigjähriger Mittelwert.

Da es den Rahmen einer Diplomarbeit überschreitet, die Berechnungen der Grundwasserneubildung für zwei verschiedene Dreißigjahresabschnitte für ganz Niedersachsen flächendeckend durchzuführen, weil die Rechnerkapazitäten dies in der vorgegebenen Zeit nicht zulassen, und diese danach auszuwerten, wurden drei Untersuchungsgebiete ausgewählt (s. Abb. 1). Außerdem war es nicht möglich, mit regionalisierten Klimadaten zu rechnen. Ziel dieser Arbeit ist es, für diese drei Untersuchungsgebiete in Niedersachsen Differenzen-

karten zu erstellen, die eine Veränderung der Grundwasserneubildung von 1961–1990 bis 2071–2100 zeigen sollen.

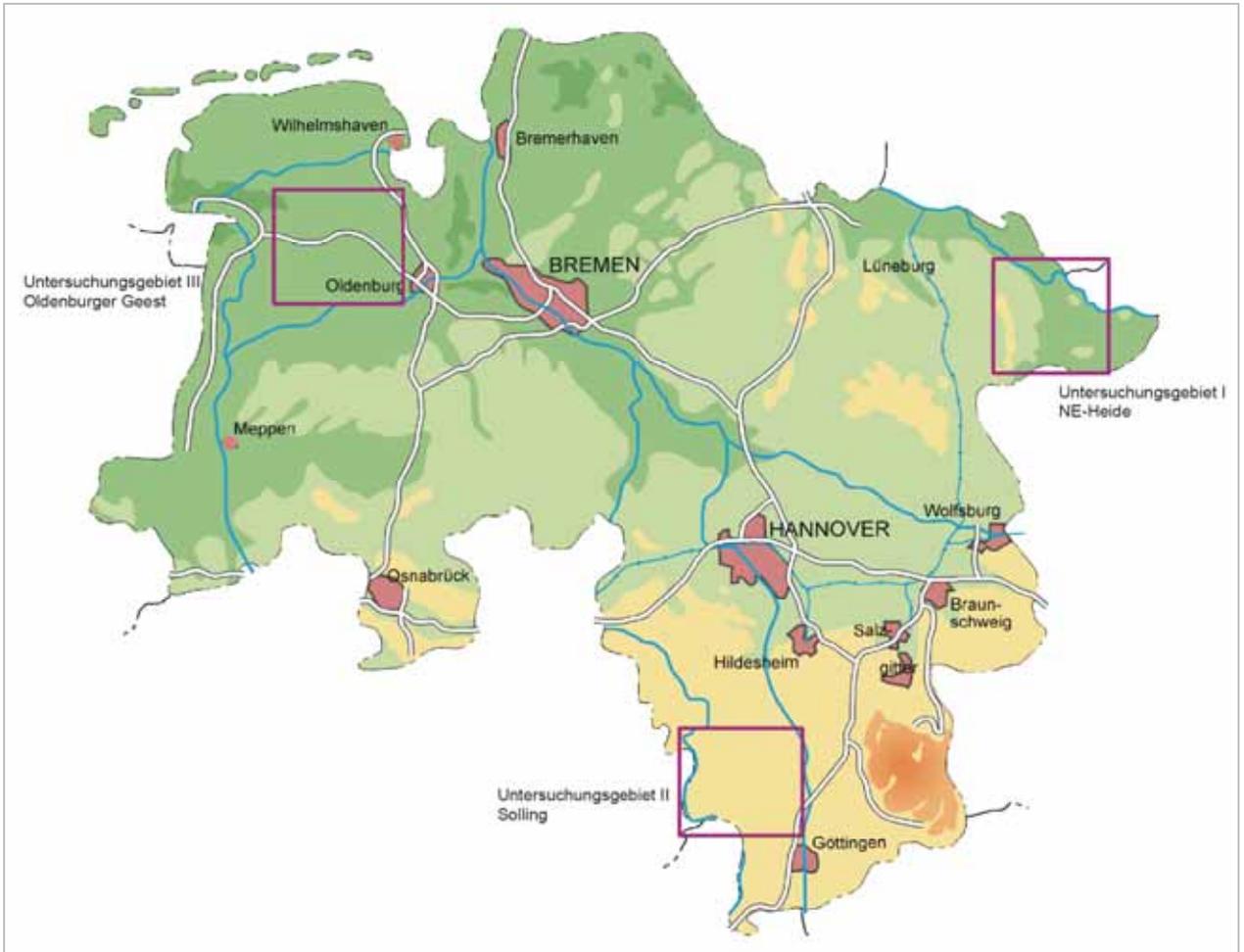


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete (Grundlage: Topographische Übersichtskarte 1 : 1 000 000, LBEG).

Die Untersuchungsgebiete befinden sich in der Nordost-Heide, dem Solling und der Oldenburger Geest. Durch die Wahl dieser Untersuchungsgebiete sollen naturräumliche Unterschiede berücksichtigt werden. Der Solling repräsentiert ein Festgesteinsgebiet mit hohen Niederschlägen, die Nordost-Heide ein Gebiet mit mächtigen quartären Ablagerungen und geringen Niederschlägen und die Oldenburger Geest ein Gebiet mit einem küstennahen Einfluss, also maritimem Klima und relativ geringen Grundwasserflurabständen.

Durch das Programm GROWA06 kann über die Berechnung der Sickerwasserrate die Grundwasserneubildungsrate bestimmt werden. Bei den Eingangsdaten werden in dieser Diplomarbeit lediglich Niederschlag, Temperatur und Verdunstung verändert. Berücksichtigt werden also keine Änderungen der Landnutzung oder der Besiedelung, die sich zweifellos in den nächsten 90 Jahren ereignen werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll auch geprüft werden, ob GROWA06 sensitiv genug ist, die Änderungen von Temperatur, Niederschlag und Verdunstung in den Eingangsdaten im Endergebnis darzustellen.

2 Klimamodelle

2.1 Globale Modelle

Als Basis für das in dieser Arbeit verwendete regionale Klimamodell WETTREG diente das globale Klimamodell ECHAM5/MPI-OMT63L31 des Max-Planck-Instituts für Meteorologie und des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). ECHAM5 ist ein Atmosphären- und Landoberflächenmodell, und MPI-OM ist ein Ozeanmodell. Beide Modelle arbeiten mit einem Gitter mit unterschiedlichen Weiten. Beim atmosphärischen Modell beträgt die Gitterweite etwa 200 km (1,875°) und beim Ozeanmodell etwa 160 km am Äquator (1,5°). Die Modelle enthalten die Prozesse, die für Transporte von Impuls, Energie und Wasser auf der Erde wichtig sind. Aus dem IPCC-Bericht (NAKICENOVIC & SWART 2000) gehen bestimmte Konzentrationen von Aerosolen (CO₂, CH₄, N₂O usw.) in das Modell ein. Es ist mit diesem Modell auch möglich, bestimmte CO₂-Emissionen anzugeben, die dann bei der Berechnung und der Entwicklung eines Klimamodells berücksichtigt werden. Das globale Modell wurde an Hand von beobachtetem Klima der Vergangenheit geeicht (ROECKNER et al. 2006).

2.2 Klimaszenarien

Das IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change) hat vier Klimaszenarien für die Zukunft bis zum Jahr 2100 in den SRES-Berichten (SRES: Special Report on Emissions Scenarios) entworfen (NAKICENOVIC & SWART 2000).

2.2.1 A1-Szenario

Das A1-Szenario beschreibt eine Welt mit einem schnellen und erfolgreichen Wirtschaftswachstum, jedoch mit einer geringen Bevölkerungszunahme. Es wird angenommen, dass die Weltbevölkerung bis zum Jahr 2050 ihren Höhepunkt erreicht und danach bis 2100 wieder abnimmt. Es gibt eine schnelle Einführung von neuen und effizienten Techniken. Die regionalen Unterschiede im Pro-Kopf-Einkommen werden geringer, so dass die Differenzierung

gen zwischen „reichen“ und „armen“ Ländern zunehmend verschwinden. Der Energieverbrauch in diesem Szenario ist sehr hoch. Das A1-Szenario wird in vier Untergruppen unterteilt, die verschiedene Änderungen im Energiesystem von Kohle über Gas und Öl bis zu nicht-fossilen Brennstoffen beinhalten. Eine Untergruppe ist das A1B-Szenario. Es beschreibt das „höhere Emissionsszenario“, bei dem der Ausstoß von fossilem CO₂ bis 2050 weitergeht, um danach bis 2100 wieder etwas abzunehmen. Im A1T-Szenario wird der CO₂-Ausstoß durch die Verwendung von nicht-fossilen Brennstoffen gemindert.

2.2.2 A2-Szenario

Das A2-Szenario beschreibt eine sehr heterogene Welt. Die Betonung liegt auf Eigenständigkeit und Erhaltung der lokalen Identitäten. Die Geburtenrate in den unterschiedlichen Ländern auf der Welt nähert sich sehr langsam an; die Folge ist ein starkes Bevölkerungswachstum. Die wirtschaftliche Entwicklung dieses Szenarios ist vorwiegend regional orientiert. Es herrscht immer noch ein Gefälle von Industrie- zu Entwicklungsländern. Das Pro-Kopf-Einkommen wächst bis 2100 kontinuierlich an. Der technologische Wandel schreitet langsam voran. Der Energieverbrauch ist hoch, und die Energiegewinnung ist an die jeweilige Region angepasst. Der CO₂-Ausstoß in diesem Szenario soll bis 2100 stetig zunehmen.

2.2.3 B1-Szenario

In diesem Szenario wird die Welt zunehmend globaler. Das Bevölkerungswachstum ist jedoch gering. Es kommt zu einer schnellen Veränderung der wirtschaftlichen Strukturen zu einer Service- und Informationswirtschaft. Es wird mehr Aufmerksamkeit auf Umwelt und Gesellschaft gerichtet, so dass es zur Einführung sauberer und effizienter Technologien kommt. Die Betonung liegt auf globalen Lösungen für wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Nachhaltigkeit. In diesem Szenario werden keine zusätzlichen Klimaschutzinitiativen ergriffen. Bis 2040 soll der CO₂-Ausstoß leicht zunehmen und von da an wieder absinken, bis 2100 weniger CO₂ aus-

gestoßen wird, als es im Jahr 2000 der Fall war.

2.2.4 B2-Szenario

Im B2-Szenario werden hauptsächlich regionale Lösungen in wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und ökologischer Nachhaltigkeit erarbeitet. Das Bevölkerungswachstum ist mittelmäßig, ebenso der Energieverbrauch und das Pro-Kopf-Einkommen. Es kommt zu einem langsamen, aber vielfältigen technologischen Wandel. Auch in diesem Szenario werden zunehmend lokale und regionale Bereiche betrachtet. Im B2-Szenario soll der CO₂-Ausstoß bis 2100 stetig, aber langsam ansteigen. Im Jahr 2100 soll ein ähnlicher Wert wie im A1B-Szenario erreicht werden.

2.3 Regionales Klimamodell WETTREG

Die Klimadaten, die in dieser Arbeit verwendet werden, wurden durch das statistische regionale Klimamodell WETTREG (wetterlagenbasierte Regionalisierungsmethode) generiert. Klimamodelle sind keine Wettervorhersagen für bestimmte Tage in der Zukunft, sondern zeigen, wie sich das Klima entwickeln könnte, wenn bestimmte CO₂-Emissionen in Verbindung mit Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung eintreten (UBA 2007). Bei einem statistischen Klimamodell wird davon ausgegangen, dass die globalen Modelle die Strukturen der atmosphärischen Zirkulation entsprechend beschreiben (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Aus diesen globalen Modellen werden statistische Beziehungen von Großwetterlagen entwickelt, die dann in größerem Maßstab angewendet werden können.

2.3.1 Verfahren

Das WETTREG-Modell erzeugt auf dieser Grundlage simulierte Zeitreihen für das zukünftige Klima im Zeitraum von 2010–2100. Ziel dieses Modells soll es sein, die regionalen klimatologischen Unterschiede herauszuarbeiten (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). In diesem Klimamodell ist die räumliche Auflösung so hoch, wie Daten von Klima- und Nieder-

schlagsstationen vorliegen. Statistisch gesehen berücksichtigt das Programm Jahre mit hohen bzw. niedrigen Temperaturen sowie starken bzw. geringen Niederschlägen. Die Häufigkeit, mit der solche Jahre vorkommen, ist abhängig von den unterschiedlichen Emissionsszenarien. In einem so genannten Kontrolllauf wurden die Daten der Jahre 1961–2000 zur Eichung des Modells verwendet; bis für das Jahr 2100 erfolgten dann die Berechnungen.

Um ein regionalisiertes Modell zu erhalten, mussten anfangs räumliche Muster aus den Daten der Klimastationen erstellt werden. Auf Grundlage der Messwerte wurden die Klimastationen in zehn Größenklassen für das Temperaturregime und acht Größenklassen für das Feuchteregime eingeteilt. Berücksichtigt wurde zudem die Breitenkreislage der Klimastationen, da die atmosphärische Zirkulation unterschiedliche Auswirkungen auf den Norden, die Mitte und den Süden Deutschlands hat (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Über die Temperatur- bzw. Feuchteregime wurde nun in Zehnjahresschritten das Klima analysiert, um herauszufinden, an welchen Tagen und wie häufig bestimmte Klimabedingungen vorherrschen.

Um die statistische Sicherheit zu erhöhen, wurden für jede Dekade zehn Realisierungen erzeugt, wobei eine Realisierung aus 7 300 Tagen (also 20 Jahren) besteht (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Da das Modell Jahre mit unterschiedlich hohen Niederschlägen berücksichtigt, wurden in sich zusammenhängende Zehnjahresbereiche identifiziert, in denen der Niederschlag im Mittel entweder besonders hoch, niedrig oder durchschnittlich ist. Diese Zehnjahresbereiche wurden dann als „feucht“, „trocken“ und „normal“ bezeichnet (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Um die Ergebnisse validieren zu können, wurden unterschiedlich generierte Daten verglichen. Die zehn WETTREG-Realisierungen je Dekade wurden gemittelt; diese wurden dann mit den Mittelwerten der Dekaden von 1971–1980, 1981–1990 und 1991–2000 verglichen. Für die Temperatur konnte festgestellt werden, dass die Ähnlichkeit der beiden Datenarten groß ist (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Von 1971–1980 sind die Angaben des Modells zu hoch, es ist also wärmer. Bis 1991 stimmen Modell und Messungen überein. In den folgenden zehn Jahren bis zum Jahr 2000 sind die

Berechnungen des Modells zu kalt. Für die gesamten 30 Jahre ist das Modell jedoch ausgeglichen. Der konkrete zeitliche Verlauf des Klimas kann also mit Hilfe des Programms nicht dargestellt werden, wohl jedoch eine Mittelung der Temperatur über längere Perioden von mehr als zehn Jahren (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Auch für die Validierung des Niederschlags werden gemittelte Werte von 30 Jahren genommen, da der Niederschlag zeitlich und räumlich sehr unterschiedlich ist (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Wird ganz Deutschland betrachtet, so fällt auf, dass die Werte für den Niederschlag im Nordwesten zu niedrig sind. Im Südwesten sind vor allem im Sommer und im Nordosten vor allem im Winter die Werte der Niederschläge zu hoch. Beim Vergleich der Beobachtungen und Messwerte bei zwölf ausgewählten Klimastationen wurde ersichtlich, dass die Klimabeobachtungen vom Modell qualitativ dargestellt werden; sogar regionale Unterschiede und Überschreitungswahrscheinlichkeiten für größere Niederschlagsmengen werden berücksichtigt. Über 30 Jahre gemittelte Werte weisen eine hohe Qualität auf (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der Temperaturanstieg in den Wintermonaten bis zum Jahr 2100 mit 3,5 K mehr als der Durchschnitt der Jahre von 1981 bis 1990 relativ hoch ist. Der Frühling verzeichnet die geringsten Temperaturzunahmen; sie liegen teilweise unter 0,5 K (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Werden die Werte der Szenarien A1B, A2 und B1 miteinander verglichen, so zeigt sich, dass die stärkste Erwärmung im A1B-Szenario, dem „höheren Emissionsszenario“, auftritt. Die Erwärmung ist in den Wintermonaten stärker als in anderen Szenarien; zudem tritt auch im Frühjahr eine nennenswerte Erwärmung auf (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Generell ist zu sagen, dass es in Gebieten, in denen es von 1961–2000 trocken war, bis zum Jahr 2100 noch weniger Niederschläge geben wird (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Das Modell zeigt für das Ende des 21. Jahrhunderts eine Abnahme der Eis- und Frosttage an, gleichzeitig nehmen die Sommertage zu (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). So berechnet das Programm, dass, wenn es Tage mit einer Höchsttemperatur $>30\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $<35\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibt, dann ist es mit einer höheren Wahrscheinlichkeit eine längere Wärmeperiode. Es ist jedoch

nicht der Fall, dass es laut den Berechnungen eine Zunahme heißer Tage gibt, je weniger kalte Tage es gibt (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Grundsätzlich nehmen die heißen Tage und die Sommertage zu. Heiße Tage haben eine Maximumtemperatur von über $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei Sommertagen ist die Maximumtemperatur $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eistage haben eine Maximumtemperatur $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Frosttage eine Minimumtemperatur $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Bei genauerer Unterteilung in Sommer und Winter fällt auf, dass die Temperaturen im dreißigjährigen Mittel im Sommer mit $+0,1\text{ K}$ zu hoch und im Winter mit $-0,4\text{ K}$ etwas zu niedrig sind. Diese Abweichungen sind nicht nur auf bestimmte Regionen bezogen (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Auch bei der Berechnung der Niederschläge kommt es zu Abweichungen, diese sind jedoch räumlich beschränkt. In Gebieten, die sich im Nordwesten Deutschlands befinden, fällt in den Modellberechnungen im Sommer sowie Winter bis zu 9 % weniger Niederschlag. Da jedoch im Südwesten und Nordosten Deutschlands höhere Niederschläge im Sommer bzw. Winter angenommen werden, ist die Niederschlagsbilanz für Gesamtdeutschland ausgeglichen (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Grundsätzlich ist die Erwärmung in Norddeutschland am höchsten, mit Ausnahme des Küstengebietes, denn dort findet die geringste Erwärmung statt. Über das gesamte Jahr ausgeglichen erscheinende Niederschlagsbilanzen setzen sich aus einer Abnahme der Niederschläge im Sommer und einer Zunahme der Niederschläge im Winter zusammen. Die Zunahme der Winterniederschläge ist im Küstengebiet und in den Mittelgebirgen besonders ausgeprägt (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

Da das A1B-Szenario die gravierendsten Auswirkungen auf Temperatur und Niederschlag simuliert, werden die Daten dieses Szenarios für die Berechnung der Grundwasserneubildung verwendet. Zu Vergleichszwecken wurden nicht die Extremwerte für „feuchte“ oder „trockene“ Jahre verwendet, sondern die Daten für „normale“ Jahre.

2.3.2 Klimaänderung in Niedersachsen auf Basis der WETTREG-Daten

2.3.2.1 Küste

Laut den WETTREG-Berechnungen kommt es an der Küste zu einem gemäßigten Temperaturanstieg. Für den in dieser Arbeit verwendeten Zeitraum von 2071–2100 werden zwischen 1,5 und 2,1 K erwartet (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Der nur geringe Temperaturanstieg entsteht durch den Einfluss der Nordsee, da Küstenklimate in der Regel ausgeglichen

sind (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Die Simulationen zeigen, dass die Zahl der Frosttage um ein Drittel im Vergleich zum Referenzzeitraum zurückgeht und sich im Gegensatz dazu die Zahl der Sommertage in diesem Gebiet mehr als verdoppelt. Bei der Betrachtung der Niederschlagswerte ist auffällig, dass es zu einer sehr starken Zunahme der Niederschläge in den Wintermonaten kommt. Im A1B-Szenario sollen es bis zu 50 % und im B1-Szenario 30 % bis zum Jahr 2100 sein (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Die Abnahme des Sommerniederschlags für das Ende des 21. Jahrhunderts beträgt an der Nordseeküste bis zu 30 %.

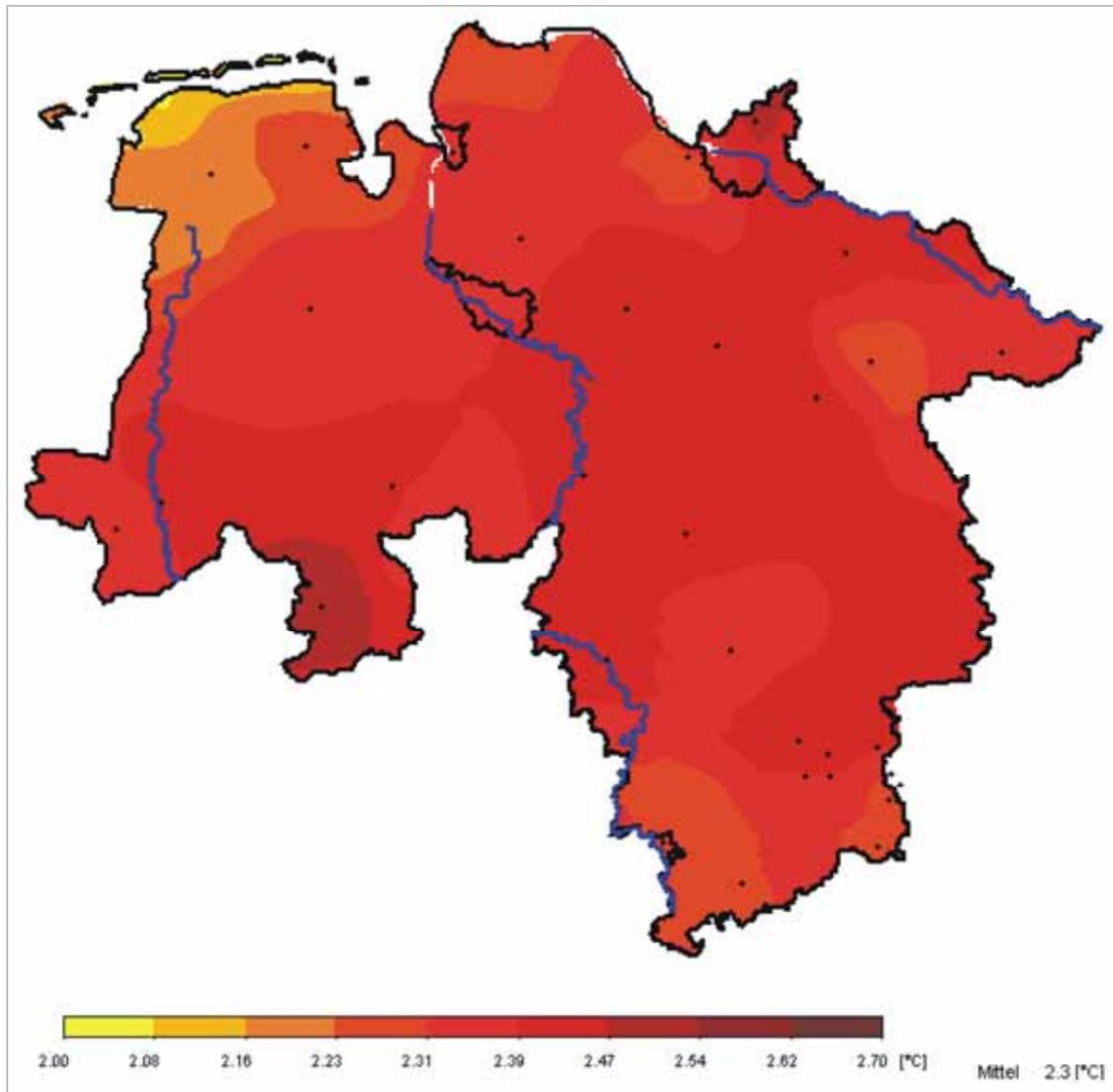


Abb. 2: Veränderung der mittleren Jahrestemperaturen in Niedersachsen von 1961–1990 zu 2071–2100. Die Vergleichsdaten von 1961–1990 sind Kontrolllaufdaten, keine Realdaten.

2.3.2.2 Nordwestdeutsches Tiefland

Da der Küsteneinfluss nur das Gebiet direkt an der Küste betrifft, simuliert WETTREG für das nordwestdeutsche Tiefland von 2071–2100 eine Erwärmung der Tagesmitteltemperatur von 2,5 K. Die stärkere Erwärmung des Hinterlandes wird auch darin deutlich, dass sich die Anzahl der heißen Tage sehr stark erhöht (SPE-

KAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Die Auswirkungen der Erwärmung werden auch beim Sommerniederschlag sichtbar. Dieser nimmt durchschnittlich um 10–20 % ab. Im Bereich der Elbmündung ist die Abnahme mit 20–25 % jedoch überdurchschnittlich stark (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Der Winterniederschlag nimmt um 15–25 % zu (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

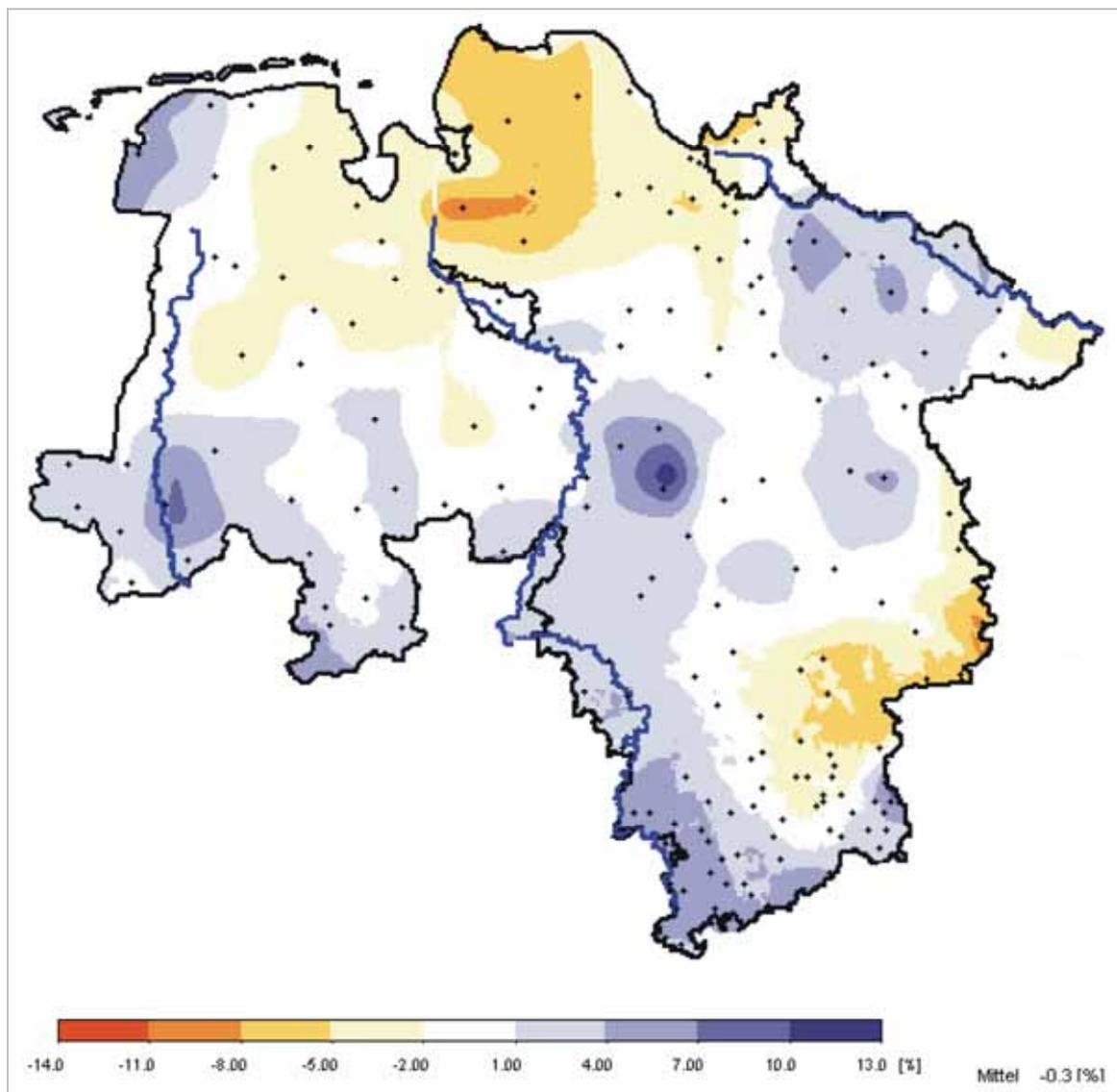


Abb. 3: Veränderung der mittleren Jahresniederschlagsmengen in Niedersachsen auf Basis der WETTREG-Daten von 1961–1990 zu 2071–2100. Die Vergleichsdaten von 1961–1990 sind Kontrolllaufdaten, keine Realdaten.

2.3.2.3 Zentrale Mittelgebirge und Harz

Auch diese Region erwärmt sich bis zum Jahr 2100 um 2,3 K; da diese Region jedoch kühlere Temperaturwerte zu Beginn des Jahrhunderts aufweist, bleibt sie, im Vergleich zu anderen Regionen, vergleichsweise kühl. Die Temperaturänderung ist auch hier wieder an der Zahl der Frosttage deutlich ersichtlich, sie verringern sich um etwa die Hälfte (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Zudem verdoppelt sich die Zahl der Sommertage. Heiße Tage und Tropennächte (Minimumtemperatur ≥ 20 °C) treten gegen Ende des Jahrhunderts vereinzelt auf; dies ist im Referenzzeitraum nicht der Fall (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007). Im Referenzzeitraum wird deutlich, dass das Gebiet des Harzes ein relativ hohes Niederschlagsniveau aufweist. Zum Ende des 21. Jahrhunderts nimmt der Sommerniederschlag um 20–30 % überdurchschnittlich stark ab, der Winterniederschlag nimmt um 20–45 % zu (SPEKAT, ENKE & KREIENKAMP 2007).

2.3.3 Auswertungsprogramm IDP

Die WETTREG-Daten können mit dem Programm IDP2006 (KREIENKAMP & SPEKAT 2006) ausgewertet, dargestellt oder in Tabellenform exportiert werden. Die Daten können beispielsweise klimastationsbezogen für Niederschlag, Temperatur etc. in Form eines Graphen auf Monate bezogen dargestellt werden. Es ist aber auch möglich, die Zahlen zu exportieren, z. B. als Monatsmittel, sofern die richtigen Einstellungen getroffen wurden. Hierfür muss nach dem Starten des Programms bei „Aufgaben“ „Stationsauswertungen“ gewählt werden. Für die vorliegende Arbeit wurde als „Projekt“ „UBA“ gewählt. Als „Modell“ wurde „ECHAM5“ gewählt. Diese Einstellungen bleiben gleich. Bei „Szenario“ wurde zunächst „A1“ gewählt, welches die Daten des A1B-Szenarios enthält, es wurde lediglich eine Abkürzung für das Bildschirmfenster in A1 vorgenommen (KREIENKAMP & SPEKAT 2006). Des Weiteren können hier die Szenarien A2 und B1 gewählt werden. Auch im Feld „Simulation“ gibt es für den Benutzer viele Möglichkeiten zu wählen. Zuerst wurde hier die Einstellung „nor“ gewählt. Die Simulationen werden entsprechend ihrer Niederschlagsmengen sortiert. „Nor“ bedeutet mittlere Niederschlagsmenge, „tro“ enthält die Simulationen mit den geringsten

Niederschlägen und „feu“ die Simulationen mit den höchsten Niederschlägen. Im Feld „Daten“ wurden nacheinander die Dekaden 2071–2080, 2081–2090 und 2090–2100 angewählt. Da für die weiteren Berechnungen der Verdunstung Monatsmittel benötigt werden, wurde als „Aufgabe“ „Monatswerte“ gewählt und für den „Zeitraum“ „hydrologisches“ Jahr. Als „Variable“ wurde „Niederschlag“ gewählt. Dies ist jedoch nur für die Darstellung von Bedeutung. Die Ausgabedateien enthalten für die Klimastationen die Niederschlagssumme pro Tag, die Tagesmaximumtemperatur, die Tagesmitteltemperatur, die Tagesminimumtemperatur, das Tagesmittel der relativen Feuchte, das Tagesmittel des Luftdrucks, das Tagesmittel des Dampfdrucks, die Sonnenscheindauer, das Tagesmittel der Bedeckung und das Tagesmittel der Windgeschwindigkeit. Bei Niederschlagsstationen werden nur Niederschlagswerte angegeben.

3 Grundwasserneubildung

3.1 Grundwasserneubildung – Definitionen und Begriffe

Die DIN 4049-3 (DIN 1994) beschreibt die Grundwasserneubildung als Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser, wobei Grundwasser unterirdisches Wasser ist, das die Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird. Grundwasser wird durch Versickerung von Niederschlägen und Oberflächenwasser gebildet, wobei die Versickerung wegen jahreszeitlicher Unterschiede des Niederschlages nicht kontinuierlich erfolgt (ADAM, GLÄSSLER & HÖLTING 2000). Zudem wird die Grundwasserneubildung von der Verdunstung beeinflusst. Grundwasser ist ein Teil des hydrologischen Wasserkreislaufes der Erde (s. Abb. 4). Niederschläge gelangen auf die Erde. Jedoch tragen sie nicht komplett zur Grundwasserneubildung bei, da ein Teil der Niederschläge über Transpiration, Evaporation oder Interzeption verdunstet. Ein Teil der Niederschläge fließt oberflächlich ab. Der restliche Teil der Niederschläge infiltriert in den Boden und wird somit zu Grundwasser. Befinden sich im Untergrund jedoch weniger durchlässige

Schichten, so kann sich das infiltrierte Wasser auch stauen und bei vorhandenem Gefälle als Zwischenabfluss abfließen (JANKIEWICZ et al. 2005).

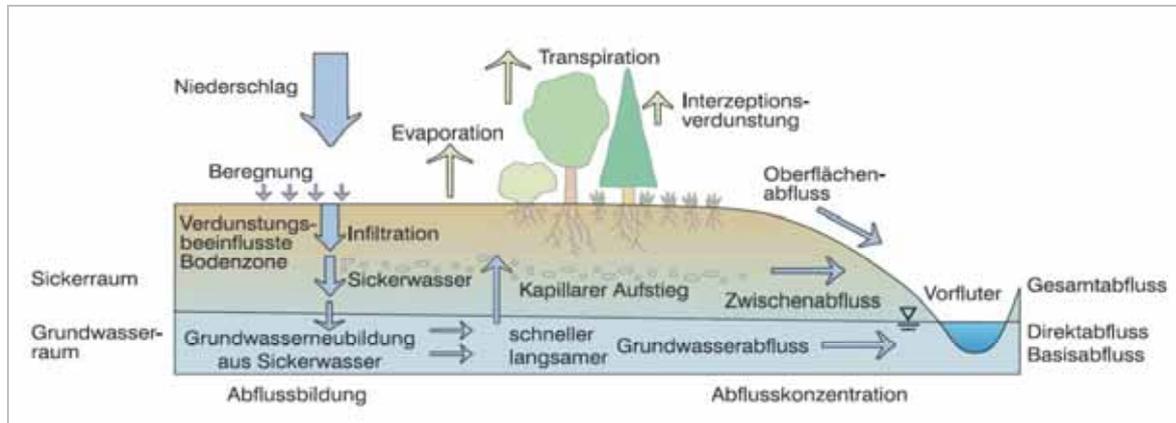


Abb. 4: Einflussfaktoren auf die Grundwasserneubildung (HAD 2003).

Der Wasserkreislauf lässt sich mit der folgenden hydrologischen Grundgleichung beschreiben:

$$N = A + V \quad (\text{Gl. 1})$$

- N = Niederschlag, aus der Lufthülle ausgeschiedenes Wasser,
- V = Verdunstung vom Boden oder freien Wasserflächen,
- A = Abfluss.

Die hydrologische Grundgleichung gilt nur für einen längeren Zeitraum, bei dem mit mehrjährigen Mitteln gerechnet wird (HÖLTING 1996). Werden kürzere Zeiträume berechnet, so müssen jährliche witterungsbedingte Schwankungen des Niederschlags, der Verdunstung und des Abflusses eingehen (HÖLTING 1996). Die hydrogeologische Grundgleichung lautet dann:

$$N = A_o + A_u + V \quad (\text{Gl. 2})$$

und

$$N = A_o + V + (R - B) \quad (\text{Gl. 3})$$

- A_o = oberirdischer Abfluss (Bäche, Flüsse usw.),
- A_u = unterirdischer Abfluss, Anteil am Abfluss, der in den Untergrund und in das Grundwasser übergeht.

$$A_u = R - B \quad (\text{Gl. 4})$$

- R = Rücklage, Vergrößerung des Wasservorrats eines Gebietes für eine bestimmte Zeitspanne (d. h. Zunahme des Grundwasservorrats),
- B = Verbrauch, Verkleinerung des Wasservorrats eines Gebietes für eine bestimmte Zeitspanne (d. h. Abnahme des Grundwasservorrats).

Wichtig für die Grundwasserneubildung ist, dass die Bodenzone genügend durchlässig für das Niederschlagswasser sein muss (HAHN 1991). In Festgesteinsgebieten wird das Grundwasser vorwiegend in Klüften und Störungsbereichen gespeichert, in denen es sich auch bewegen kann (HAHN 1991).

Der Niederschlag versickert durch die ungesättigte Zone bis zum Grundwasser (DYCK & PESCHKE 1995). Durch kapillaren Aufstieg kann Grundwasser bis in die Wurzelzone gelangen und so Grundwasser gezehrt werden.

Die Grundwasseroberfläche ist Schwankungen unterworfen, die durch Zu- oder Abfluss von Grundwasser, kapillaren Aufstieg oder auch künstliche Entnahmen hervorgerufen werden. Diese Schwankungen sind ferner abhängig von den Eigenschaften des Grundwasserleiters, also der Porosität und der Porengrößenverteilung, der Tiefenlage, der Mächtigkeit und der Neigung der Sohle. Die Schwankungen der Grundwasseroberfläche unterliegen des Weite-

ren jahreszeitlichen Schwankungen. Da die Wintermonate die entscheidende Zeitspanne für die Grundwasserneubildung sind, stellen sich die höchsten Grundwasserstände im Frühling ein. Die geringsten Grundwasserstände sind am Ende der Vegetationsperiode im Herbst anzutreffen, da in den Sommermonaten die Evapotranspiration meist größer ist, als der Niederschlag (DYCK & PESCHKE 1995). Bei geringen Grundwasserflurabständen kann es jedoch auch zu kurzfristigen Schwankungen der Grundwasseroberfläche nach Niederschlagsereignissen kommen. Die Grundwasserneubildung ist ebenfalls abhängig von der Flächennutzung, da diese einen Einfluss auf die Verdunstung hat. Bei einer gleichbleibenden nutzbaren Feldkapazität nimmt die Grundwasserneubildung zu, wenn sich die Nutzung von Wald zu Grünland oder Ackerland (Weizen) ändert. Die höchsten Zunahmen werden unter Kartoffeläckern verzeichnet (RENGER & WESSOLEK 1990) Bei einer geringen nutzbaren Feldkapazität im Boden nimmt mit zunehmendem Grundwasserflurabstand die Grundwasserneubildung zu.

3.2 Berechnungsverfahren GROWA06

Die Grundwasserneubildung wurde in dieser Diplomarbeit mit dem Berechnungsverfahren GROWA06 berechnet. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in LEMKE & ELBRACHT (2008). GROWA06 baut auf dem empirischen Verfahren von RENGER & WESSOLEK (1996) zur Berechnung der realen Verdunstung auf. Ursprünglich wurde dieses Verfahren als Modell GROWA98 zur Berechnung der Sickerwasser rate entwickelt (DÖRHÖFER et al. 2001). Es erfolgte eine Weiterentwicklung zum Modell GROWA06. Damit die Grundwasserneubildung durch GROWA06 berechnet werden kann, sind verschiedene Eingangsparameter notwendig, aus denen dann über Zwischenergebnisse wie z. B. den Basisabfluss die endgültige Grundwasserneubildung ermittelt wird. Für die Ermittlung der Zusickerung zum Grundwasser mit dem Modell GROWA06 werden folgende Daten benötigt:

- mittlerer Jahresniederschlag,
- mittlerer Niederschlag im Winterhalbjahr,
- mittlerer Niederschlag im Sommerhalbjahr,
- mittlere jährliche FAO-Grasreferenzverdunstung (WENDLING 1997),

- pflanzenverfügbares Bodenwasser (berechnet aus der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und dem mittleren kapillaren Aufstieg),
- Nutzungsart,
- Versiegelungsgrad oder Versiegelungsstufe,
- Hangneigung,
- Exposition,
- A/A_v -Verhältnis (aus Grundwasserstufe, Staunässestufe und Hangneigung),
- hydrologische Gesteinseinheiten (Bodenausgangsgestein in der BÜK 50).

Da im Modell GROWA06 derzeit kein Modul zur Regionalisierung der Klimadaten vorhanden ist, wurde das Verfahren vereinfacht, um die Berechnungsergebnisse für die o. g. Dreißigjahresperioden miteinander vergleichen zu können. Im Rahmen dieser Arbeit wurde einer Klimastation ein bestimmtes Gebiet zugeordnet. Das heißt, jeder Fläche in diesem Gebiet werden dieselben Daten für Niederschlag, Temperatur und Verdunstung zugeordnet. Je größer also ein Gebiet ist, das einer Klimastation zugeordnet wurde und je weiter eine Fläche vom Standort einer Klimastation entfernt ist, desto ungenauer können die Klimadaten für eine Fläche in diesem Gebiet sein.

Um Wasserhaushaltsuntersuchungen durchführen zu können, ist es notwendig, für die ausgewählte Zeitspanne Daten über Niederschlags- und Verdunstungshöhen zu kennen.

3.2.1 Niederschlag

Der mittlere Jahresniederschlag wird für den Zeitraum 1961–1990 den Daten des DWD und für den Zeitraum 2071–2100 den WETTREG-Daten entnommen. Die Niederschläge werden auf eine Klima- bzw. Niederschlagsstation bezogen, und die Werte werden über 30 Jahre gemittelt. Da die Daten sowohl in Monats- als auch Jahreswerten für die einzelnen Klimastationen vorliegen, ist es möglich, sowohl den mittleren Sommerniederschlag (01.04.–30.09.) wie auch den mittleren Winterniederschlag (01.10.–31.03.) über 30 Jahre gemittelt zu berechnen.

3.2.2 Grasreferenzverdunstung

Die mittlere jährliche Grasreferenzverdunstung wurde für diese Arbeit nach Wendling berechnet. Grundsätzlich kann die Verdunstung von bewachsenen Flächen nur schwer quantifiziert werden (WENDLING 1997). Deshalb wird als einheitliche Methode die FAO-Grasreferenzverdunstung (ET_0) nach Wendling verwendet, da sie unabhängig von den Parametern der Pflanzenentwicklung und des Bodenwasservorrates ist und somit eine komplexe Klimagröße darstellt (WENDLING 1997). Die Penman-Monteith-Beziehung zur Berechnung der realen Verdunstung ist Grundlage für die Referenzverdunstung ET_0 . Diese wird unter der Annahme berechnet, dass über das gesamte Jahr ein Grasbestand von 0,12 m Höhe vorhanden ist. Des Weiteren wird angenommen, dass die Pflanzen keinem Wasserstress ausgesetzt sind, d. h. die Bodenfeuchte ist größer als 50–70 % nFk (WENDLING 1997). Mit dieser Formel lassen sich Tages- und Monatswerte der Referenzverdunstung für die gewählten Klimastationen berechnen, sofern alle benötigten Werte vorliegen. Die Formel wurde so entwickelt, dass sie nun besonders gut für die Berechnung von Monatswerten und langjährigen Mitteln angewendet werden kann (WENDLING 1997).

Eine Nord-Süd-Betrachtung von Deutschland zeigt, dass eine Abhängigkeit der Verdunstung von der Höhe h [m ü. NN] vorliegt. Die höhenabhängige Kalibrierung berücksichtigt das Sättigungsdefizit und die Windgeschwindigkeit, die als mittlere Werte in die Formel eingehen. Da die Verdunstung mit zunehmender Höhe abnimmt und die Verdunstungsformel für das Flachland entwickelt wurde, muss ein Höhenfaktor berücksichtigt werden (WENDLING 1997). Bei $h > 600$ m ist $h = 600$ m zu setzen.

Für Pflanzen von höherem Wuchs ergibt sich eine höhere Verdunstung. Dieses wird bei GROWA06 durch die Nutzungsart berücksichtigt (s. u.).

Die Formeln zur Berechnung von Monatssummen der Grasreferenzverdunstung (GLUGLA et al. 2003) lauten:

$$ET_0^* = \frac{s}{s + \gamma} \cdot (0,65 \cdot R_G^* + 0,25 \cdot n \cdot k) \cdot \frac{1}{1 \cdot 0,0002 \cdot h}$$

[mm/mon] (Gl. 5)

- ET_0^* = Grasreferenzverdunstung nach Wendling,
- s = Änderung des Sättigungsdampfdrucks mit der Temperatur,
- γ = Psychrometerkonstante ($\gamma = 0,655$ hPa/K),
- R_G^* = Globalstrahlung als Verdunstungsäquivalent,
- n = Anzahl der Tage im Monat,
- k = Küstenfaktor,
- h = Geländehöhe.

Änderung des Sättigungsdampfdrucks s mit der Temperatur:

$$s = e_{sw}(T_{2m}) \cdot \left(\frac{4284}{(243,12 + T_{2m})^2} \right) [\text{hPa} \cdot \text{K}^{-1}]$$

(Gl. 6)

T_{2m} = Tagesmitteltemperatur in 2 m Höhe [°C].

Sättigungsdampfdruck e_s über Wasser, da Temperaturen über 0 °C:

$$e_{sw}(T_{2m}) = 6,11 \cdot e^{\frac{17,62 \cdot T_{2m}}{243,12 + T_{2m}}}$$

(Gl. 7)

$$R_G^* = R_0^* \cdot \left(0,19 \cdot 0,55 \cdot \frac{S_{MOSU}}{S_{0MOSU}} \right)$$

(Gl. 8)

- R_0^* = Monatssumme der extraterrestrischen Strahlung als Verdunstungsäquivalent [mm/Monat] nach DIN 19685 (DIN 1997 und Tab. 1),
- S_{MOSU} = Monatssumme der Sonnenscheindauer [h/Monat],
- S_{0MOSU} = Monatssumme der astronomisch möglichen Sonnenscheindauer [h/Monat] nach DIN 19685 (DIN 1997 und Tab. 2).

Tab. 1: Verdunstungsäquivalent der extraterrestrischen Strahlung $R_0 = L$ [mm/Monat] in Abhängigkeit von der geographischen Breite nach DIN 19685 (DIN 1997).

geogr. Breite	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
48°	133	185	304	390	493	516	510	443	336	242	150	115
49°	124	179	298	384	491	515	509	440	330	236	144	105
50°	118	171	291	381	489	514	508	437	327	229	135	99
51°	109	162	285	375	487	513	507	434	321	223	126	90
52°	102	157	307	369	485	512	506	431	318	217	120	84
53°	93	148	273	366	483	511	505	428	312	208	111	74
54°	84	143	267	360	481	510	504	425	306	202	105	68

Tab. 2: Astronomisch mögliche Sonnenscheindauer S_0 [h/Monat] in Abhängigkeit von der geographischen Breite nach DIN 19685 (DIN 1997).

geogr. Breite	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
48°	273	286	370	408	471	480	484	443	379	338	279	257
49°	270	285	370	411	474	486	490	446	379	336	276	254
50°	267	283	369	414	477	492	493	449	380	335	273	251
51°	264	282	369	416	481	495	499	452	380	333	270	248
52°	257	280	368	418	487	501	505	455	381	332	266	242
53°	254	279	368	420	493	507	508	458	381	330	263	236
54°	248	277	367	423	499	513	515	462	382	329	259	229

3.2.3 Pflanzenverfügbares Bodenwasser

GROWA06 benötigt für die Berechnungen Angaben zum pflanzenverfügbaren Bodenwasser. Diese setzen sich zusammen aus der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes ($nFkWe$) und dem mittleren kapillaren Aufstieg (KA). Hierbei ist die $nFkWe$ die Summe der nutzbaren Feldkapazitäten (nFk) einzelner Schichten von der Geländeoberfläche bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe (We) (MÜLLER 2004). Der mittlere kapillare Aufstieg ist das Produkt aus mittlerer kapillarer Aufstiegsrate [mm/d] und der Dauer des kapillaren Aufstiegs [d].

3.2.4 Nutzungsart

Die Nutzungsart der verwendeten Flächen wird der Bodenübersichtskarte BÜK 50 entnommen. Unterschieden wird nach Ackerland, Grünland und Forst. Bei Ackerflächen werden zu der jährlichen klimatischen Wasserbilanz 75 mm addiert, bei forstwirtschaftlich genutzten Flächen werden 50 mm subtrahiert. Wird eine Fläche als Grünland genutzt, so wird keine direkte Veränderung der jährlichen klimatischen Wasserbilanz vorgenommen. Jedoch wird in diesem Fall die Evaporation mit einem kulturspezifischen Faktor multipliziert. Hierbei werden Gerste, Winterweizen, Zuckerrüben, Mais und Intensivweide unterschieden (MÜLLER 2004).

Zuerst wird die reale Verdunstung berechnet. Diese setzt sich aus der potenziellen Evapotranspiration abzüglich der Interzeptionsverdunstung und den Diffusionswiderständen zusammen, die abhängig von der Vegetationsdecke und dem Widerstand des Wassers in Boden und Pflanze sind (DÖRHÖFER et al. 2001).

Die Nutzung eines Standortes ist stark von der Feuchtesituation des Bodens abhängig. Um diese zu charakterisieren, müssen bodenkundliche, bodenhydrologische, morphologische und klimatische Parameter berücksichtigt werden (BENZLER, ECKELMANN & OELKERS 1978). Als bodenkundlicher Parameter wird die Bodenart betrachtet, da z. B. Grob-, Mittel- und Feinsande die bodenkundliche Feuchte unterschiedlich stark beeinflussen, so dass die Sande entsprechend ihrer Bodenarten und den zugeordneten nutzbaren Feldkapazitäten im effektiven Wurzelraum eingeteilt werden. Hierbei wird eine mittlere Lagerungsdichte vorausgesetzt. Die bodenhydrologischen Parameter werden aus den Grundwasserstufen gewonnen.

Weitere wichtige Faktoren, die die bodenkundliche Feuchtesituation eines Bodens bestimmen, sind die klimatischen Bedingungen. Dies geschieht über die klimatische Wasserbilanz im hydrologischen Sommerhalbjahr, da dieser Abschnitt eines Jahrs für die Feuchte eines Bodens entscheidend ist. Die klimatische Wasserbilanz wird ermittelt, indem vom Niederschlag die Evaporation abgezogen wird.

3.2.5 Versiegelung

Das Modell GROWA06 berücksichtigt bei seinen Berechnungen auch den Versiegelungsgrad einer Fläche. Dies ist für die Berechnung der Grundwasserneubildung sehr wichtig, da die Verdunstung abnimmt, je höher der Versiegelungsgrad ist. Des Weiteren ist zu beachten, dass der Oberflächenabfluss mit zunehmender Versiegelung zunimmt. Aus diesem Grund wird ein weiterer Korrekturfaktor f_v eingeführt.

$$ET_{\text{real,versiegelt}} = ET_{\text{Renger}} + f_v \cdot G \quad (\text{Gl. 9})$$

$ET_{\text{real, versiegelt}}$ = reale Verdunstung auf versiegelten Flächen,

ET_{Renger} = nach der Renger-Wessolek-Formel berechnete reale Verdunstung [mm/a],

f_v = Koeffizient zur Berücksichtigung des Einflusses der Versiegelung [mm/a],

G = Versiegelungsgrad [%].

Tab. 3: Korrekturfaktoren zur Berechnung der realen Verdunstung versiegelter Standorte in Abhängigkeit des Versiegelungsgrads (WESSOLEK 1989).

Versiegelungsstufe	Versiegelungsgrad	Korrekturfaktor $f_v \cdot G$
I	10–50	-96
II	45–75	-190
III	70–90	-256
IV	>90	-318

Mit dem so berechneten Korrekturfaktor muss die Verdunstung nach Renger und Wessolek berechnet werden (DÖRHÖFER et al. 2001). Diese Verdunstung wurde bis zur Modellvariante GROWA98 (LEMKE & ELBRACHT 2008) verwendet. Die FAO-Grasreferenzverdunstung, die für diese Arbeit verwendet wurde, wird jedoch auch mit diesem Korrekturfaktor multipliziert.

Einen weiteren Einfluss auf die reale Verdunstung hat bei geringem Flurabstand der Grundwassereinfluss; durch kapillaren Aufstieg erhöht sich die reale Verdunstung, so dass diese der potenziellen gleichgesetzt wird (DÖRHÖFER et al. 2001).

3.2.6 Hangneigung und Exposition

Die Verdunstung ist bei Böden mit gleicher Hangneigung auf den Südhängen größer als auf den nordexponierten Standorten. Grund dafür ist, dass auf Nordhängen das Strahlungsangebot vermindert ist (WESSOLEK 1996). Also schreitet die Austrocknung im Boden auf Südhängen stärker voran, als auf Nordhängen. Bei weit verbreiteten Hangneigungen von ca. 5–10 % betragen die Unterschiede in der Grundwasserneubildung bei Lössstandorten zwischen Nord- und Südhang ca. 20–50 mm/a (WESSOLEK 1996). Die Berechnung von GROWA06 erfolgt zunächst für ebene (Hangneigung $\leq 3,5$ %), grundwasserferne und unversiegelte Standorte, da für diesen Fall die Sickerwasserrate des Bodens der Grundwasserneubildung entspricht. Für die Berücksichtigung anderer Geländebedingungen müssen Korrekturfaktoren berücksichtigt werden. Um das GROWA06-Verfahren anwenden zu können, muss der Jahresniederschlag auf Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden, < 800 mm und auf forstwirtschaftlich genutzten

Flächen < 1300 mm sein (DÖRHÖFER et al. 2001).

Um die Exposition und Hangneigung zu berücksichtigen, muss allerdings noch ein Korrekturfaktor f_H eingeführt werden, da diese die reale Verdunstung beeinflussen. Je steiler der Hang ist, desto höher ist die reale Verdunstung bei südlicher Exposition und je geringer bei nördlicher Exposition (GOLF 1981).

$$f_H = (\alpha, \phi) \left[1,605 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(\phi - 90) - 2,5 \cdot 10^{-4} \right] \cdot \alpha + 1 \quad (\text{Gl. 10})$$

α = mittlere Hangneigung [°],

ϕ = Hangexposition gegenüber Nord [°].

3.2.7 A/A_u-Verhältnis

Das A/A_u-Verhältnis ist der Quotient aus Gesamtfluss und grundwasserbürtigem Abfluss. Für seine Ermittlung werden die Grundwasserstufe, die Staunässestufe und die Hangneigung benötigt. Je höher die Grundwasserstufe (1,0–2,0), desto geringer das A/A_u-Verhältnis. Je höher die Staunässestufe

(1–2,5) ist, desto höher ist das A/A_u-Verhältnis. Bei einem Grundwasserflurabstand < 20 dm unter GOK (Grundwasserstufen 1–5) und/oder Existenz von Staunässemerkmalen wird die Zielgröße ohne Berücksichtigung der Reliefposition des Standortes aus der Grundwasserstufe oder Staunässestufe abgeleitet. Bei gleichzeitigem Einfluss von Grundwasser und Staunässe wird nur die Grundwasserstufe gewählt. Bei fehlendem Grundwasser- oder Staunässeeinfluss wird die Zielgröße allein durch die Hangneigung bestimmt. Bei Hangneigung und Staunässe wird das A/A_u-Verhältnis aus der Hangneigung ermittelt. Je steiler ein Hang ist, desto höher ist das A/A_u-Verhältnis (MÜLLER 2004).

Zur Ermittlung der Grundwasserstufe werden die Horizontbezeichnung, der Bodentyp und der Grundwasserstand benötigt. Die Grundwasserstufe ist bei Böden von Bedeutung, die unter Einfluss von Grundwasser stehen. (AG BODENKUNDE 1982). Nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung erfolgt die Einstufung der Grundwasserstände nach Tabelle 4.

Tab. 4: Einstufung der Grundwasserstände.

vorherrschende Höhe des Grundwasserstandes [dm u. GOF]			Grundwasserstufe	
mittlerer Grundwasserhochstand (MHGW)	mittlerer Grundwasserstand (MGW)	mittlerer Grundwassertiefstand (MNGW)	Bezeichnung	Kurzzeichen
über GOF	< 2	< 4	sehr flach	GWS 1
oft über GOF	2–4	4–8	flach	GWS 2
gelegentlich über GOF	4–8	8–13	mittel	GWS 3
4–8 (< 4–8)	8–13	13–16	tief	GWS 4
8–13 (4–13)	13–16	16–20	sehr tief	GWS 5.1
13–16 (8–16)	16–20	> 20		GWS 5.2
16–20 (13–20)	> 20	> 20	äußerst tief	GWS 6

Benötigt werden hierzu der mittlere Grundwasserhochstand, der mittlere Grundwasserstand und der mittlere Grundwassertiefstand. Zu beachten ist hierbei, dass der mittlere Grundwasserstand nicht grundsätzlich die Mitte des entsprechenden Horizontes bildet, sondern bei gleichen Grundwasserhoch- und -tiefständen unterschiedlich sein kann (AG BODENKUNDE 1982).

Die jährliche Zusickerung zum Grundwasser berechnet sich dann nach der Formel

$$\text{GWN} = rB \cdot [N - V_{\text{real}}] \quad (\text{Gl. 11})$$

GWN = Grundwasserneubildung [mm/a],

rB = Basisflussanteil am Gesamtabfluss,

N = Niederschlagshöhe [mm/a],

V_{real} = reale Verdunstungshöhe [mm/a].

Der Basisabflussanteil (s. Tab. 5) ist ein dimensionsloser Faktor, der auf der Basis von hydrogeologischen Einheiten ermittelt wurde (MÜLLER 2004).

Tab. 5: Basisabflussanteil r_{B1} von Festgestein (MÜLLER 2004).

Nr.	Hydrogeologische Einheit des Festgesteins	r_{B1}
1	Tonstein-Wechselfolgen	0,05
2	paläozoische Schiefergesteine	0,2
3	Mergelstein	0,25
4	Sandstein	0,4
5	Kalkstein	0,7
6	Kalkstein, verkarstet	1,0
7	Sandstein-Schluffstein-Wechselfolgen oder Zersatz	0,3
8	Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolgen	0,35
9	Kristallingestein	0,1
10	Schluffstein	0,15

Somit ergibt sich, dass die Grundwasserneubildung umso höher ist, je höher der Basisabfluss ist.

Nach der Berechnung der Grundwasserneubildung mit GROWA06 für die Zeiträume 1961–1990 und 2071–2100 wurde die Differenz ermittelt, um Zu- oder Abnahmen direkt grafisch darstellen zu können. Zur Auswertung der Daten wurden die Bodenübersichtskarte 1 : 50 000 (BÜK 50, LBEG) und die Geologische Übersichtskarte 1 : 500 000 (GÜK 500, NLFB) verwendet. Des Weiteren wurde die Karte FAGWDF200_DM Grundwasserflurabstand/ Lage der Grundwasserdruckfläche 1 : 200 000 verwendet (Arbeitskarte). Diese Karte entstand auf der Grundlage der Differenz von Geländehöhe und Grundwasseroberfläche der Hydrologischen Übersichtskarte 1 : 200 000 (HÜK 200, LBEG). In der Karte ist damit die Druckfläche des oberen Hauptgrundwasserleiters dargestellt. Somit sind die angegebenen Werte nur als Richtwerte zu betrachten, da die Druckfläche nicht unbedingt die Grundwasseroberfläche ist. Außerdem werden schwebende Grundwasserstockwerke nicht berücksichtigt. Für das Untersuchungsgebiet II – Solling liegen in dieser Datei keine Angaben für den Grundwasserflurabstand vor.

3.3 Klimastationen

In den WETTREG-Daten sind nicht alle vom Deutschen Wetterdienst (DWD) für Niedersachsen angegebenen Stationen vorhanden. Für diejenigen Klimastationen, für die bei WETTREG keine Angaben vorhanden sind, wurden Klimastationen in der Nähe ausgewählt und deren Werte bei den fehlenden Klimastationen eingesetzt. Einige Klimastationen waren bei den WETTREG-Daten nur als Niederschlagsstationen vorhanden. Bei diesen Stationen wurden dann die vorhandenen Niederschlagswerte verwendet und die Temperatur- und Sonnenscheindauerwerte durch Werte von in der Nähe liegenden Klimastationen ergänzt (s. Tab. 6).

Tab. 6: Klimastationen, denen Daten von anderen Klima- bzw. Niederschlagsstationen zugeordnet wurden.

nicht vorhandene Klimastation bei WETTREG	ersetzt durch Klimastation	T-Wert von Klimastation	Niederschlag von Klimastation
Kaarsen-Laave	Lüchow		
Oldenburg	Aurich		
Holzminden		Walsburg	Dassel
Emden	Aurich		
Doerpen	Lingen		
Loeningen-Merdorf	Frisoythe		
Bremervörde	Rotenburg		
Celle		Hannover	
Salzgitter-Ringelheim		Hildesheim	
Bremen		Diepholz	
Neuhaus/Elbe		Lüneburg	

Tab. 7: Verwendete Niederschlagsstationen WETTREG.

Stationsname	Latitude	Longitude	Höhe ü. NN
Celle	52.63	10.03	38
Salzgitter-Ringelheim	52.03	10.02	130
Bremen	53.12	8.80	3
Neuhaus-Elbe	53.28	10.93	10

4 Untersuchungsgebiete

Für diese Diplomarbeit wurden drei Untersuchungsgebiete gewählt. Es sollten naturräumliche Unterschiede vorhanden sein, um zu sehen, wie sich die Grundwasserneubildung in unterschiedlichen Gebieten entwickelt. Das erste Untersuchungsgebiet liegt in der Nordost-Heide. Untersuchungsgebiet II befindet sich im Bereich des Sollings, und Untersuchungsgebiet III ist ein Gebiet in der Ostfriesisch-Oldenburgischen Geest. Es sind also zum einen das norddeutsche Tiefland und der Mittelgebirgsraum berücksichtigt worden sowie zum anderen ein Unterschied in der Geologie von quartären Lockergesteinen und mesozoischen Festgesteinen. Durch die Wahl dieser Untersuchungsgebiete wurden des Weiteren auch klimatische Unterschiede berücksichtigt. Das Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest ist küstennah und hat dadurch ein maritimes Klima mit relativ hohen Niederschlägen. Das Gebiet der Nordost-Heide weist im Gegensatz dazu bereits kontinentalere Einflüsse und niedrigere Niederschlagsmengen auf. Der Solling zeigt auf Grund seiner Lage im Mittelgebirgsraum ebenfalls erhöhte Niederschlagsmengen.

4.1 Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide

4.1.1 Allgemeines

Untersuchungsgebiet I wurde gewählt, weil es in der trockensten Region Niedersachsens liegt und dieses Gebiet intensiv landwirtschaftlich genutzt wird. Durch die geringen Niederschläge werden die landwirtschaftlich genutzten Flächen zusätzlich durch Feldberegnung bewässert. Für diese Region hat es somit eine große Bedeutung, inwieweit sich die Grundwasserneubildung im Rahmen des Klimawandels verändern könnte.

4.1.1.1 Geografischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet I befindet sich im Gebiet der Lüneburger Heide, es liegt in der Nordost-Heide im Uelzener Becken. Es umfasst etwa die TK 25-Blätter 2831–2833, 2931–2933 und 3031–3032. Dieses Gebiet wird vorwiegend durch intensive Land- und Forstwirtschaft genutzt. Größere Ortschaften und Städte in diesem Untersuchungsgebiet sind im Norden an der Elbe Hitzacker und Dannenberg, im Süden Lüchow und Wustrow sowie im Westen Zernien. Grundsätzlich ist dieses Gebiet eher dünn besiedelt. Der westliche Teil des Untersuchungsgebietes gehört zur Geest. Die höchste Erhebung in diesem Bereich ist der Hohe Mechtin südlich von Zernien mit 142,4 m ü. NN (s. Abb. 6). Im Süden des Gebietes sind zudem noch der 123 m hohe Ledigsberg und die 116 m hohen Fuchsberge zu erwähnen. Der östliche Teil des Untersuchungsgebietes ist durch weiträumige Niederungen gekennzeichnet.

Das Naturschutzgebiet Lucie, welches einen großen Teil der forstwirtschaftlich genutzten Fläche einnimmt, liegt zwischen 15 und 20 m ü. NN. Der überwiegende Teil des Niederungsgebietes weist eine Höhenlage zwischen 20 und 30 m ü. NN auf; vereinzelt sind sogar 35 m und westlich von Lüchow sogar über 40 m ü. NN möglich.

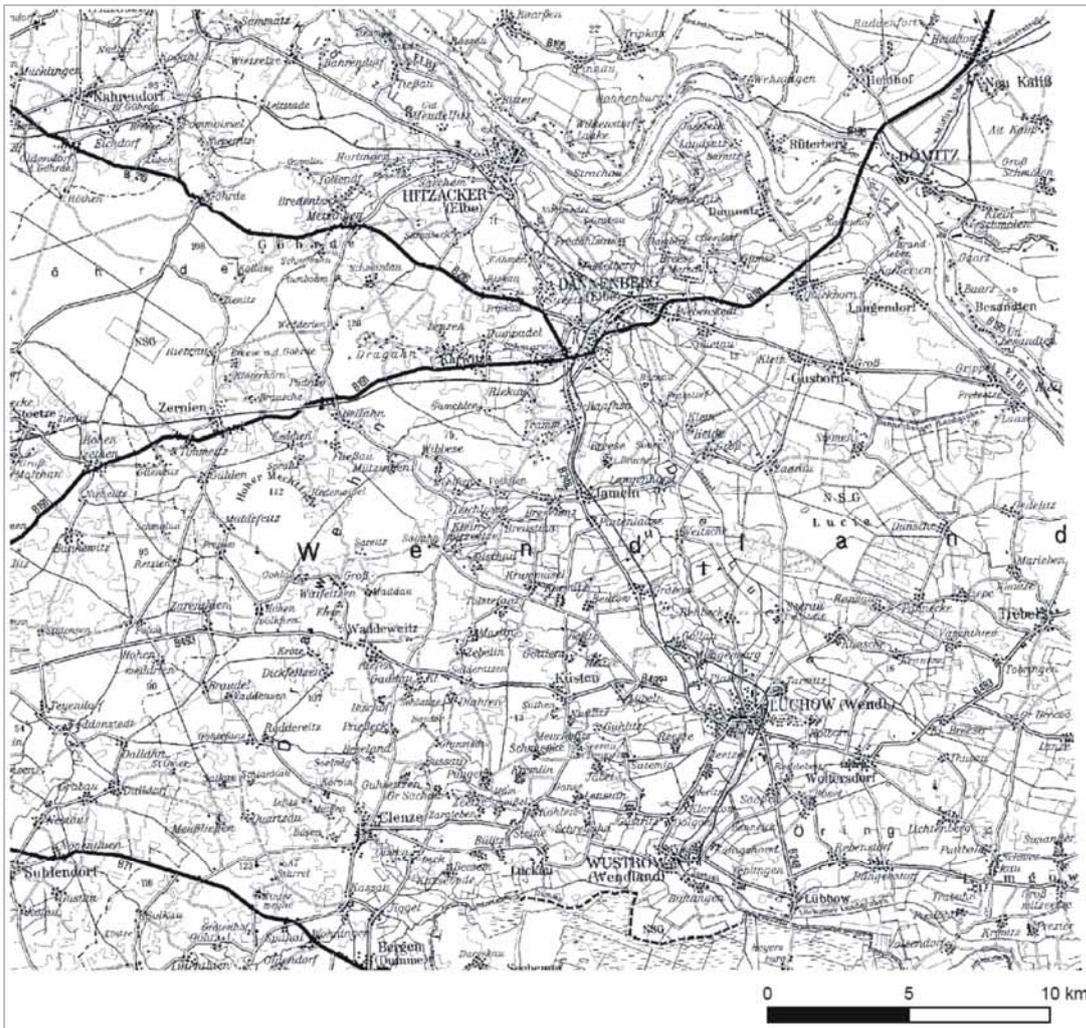


Abb. 6: Topografische Übersicht des Untersuchungsgebiets I – Nordost-Heide (Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1 : 200 000, Blatt CC 3126; BKG).

4.1.1.2 Geologischer Überblick

Zur Beschreibung der Geologie wurden die Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000 (GÜK 500, LBEG) und die Geologischen Schnitte „Ilmenau Lockergestein links, Geologischer Schnitt S2 und S3“ (RÖHM et al. 2007) herangezogen. Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes sind vorwiegend Schmelzwasserablagerungen aus dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit vorhanden. Flächig treten auch immer wieder Grundmoränenablagerungen aus dem Jüngeren Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit auf, welche sich aus Geschiebelehmen und -mergeln zusammensetzen.

Nördlich von Wustrow treten auch Geschiebelehne und -mergel des Warthestadiums auf. Beide Grundmoränenablagerungen weisen toniges, sandiges und kiesiges Material auf. Im südlichen und zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes treten vereinzelt holozäne Ablagerungen auf, die zum Teil als Niedermoore ausgebildet und als Torf- und Muddeablagerungen zu erkennen sind. Der nordöstliche Bereich des Untersuchungsgebietes besteht aus holozänen Flussablagerungen, wie z. B. Auelehmen und Auesanden, welche aus Ton, Schluff und Sand bestehen. Südlich daran schließt sich ein großes Gebiet an, welches aus weichselzeitlichen Flussablagerungen (Niederterrasse) besteht. Diese Ablagerungen werden teilweise durch Flugsand überdeckt,

der ebenfalls während der Weichsel-Kaltzeit abgelagert wurde. Südlich von Langendorf befinden sich ebenfalls Grundmoränenablagerungen des Jüngeren Drenthe-Stadiums. Grundmoränen treten auch wieder im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes auf (s. Abb. 7).

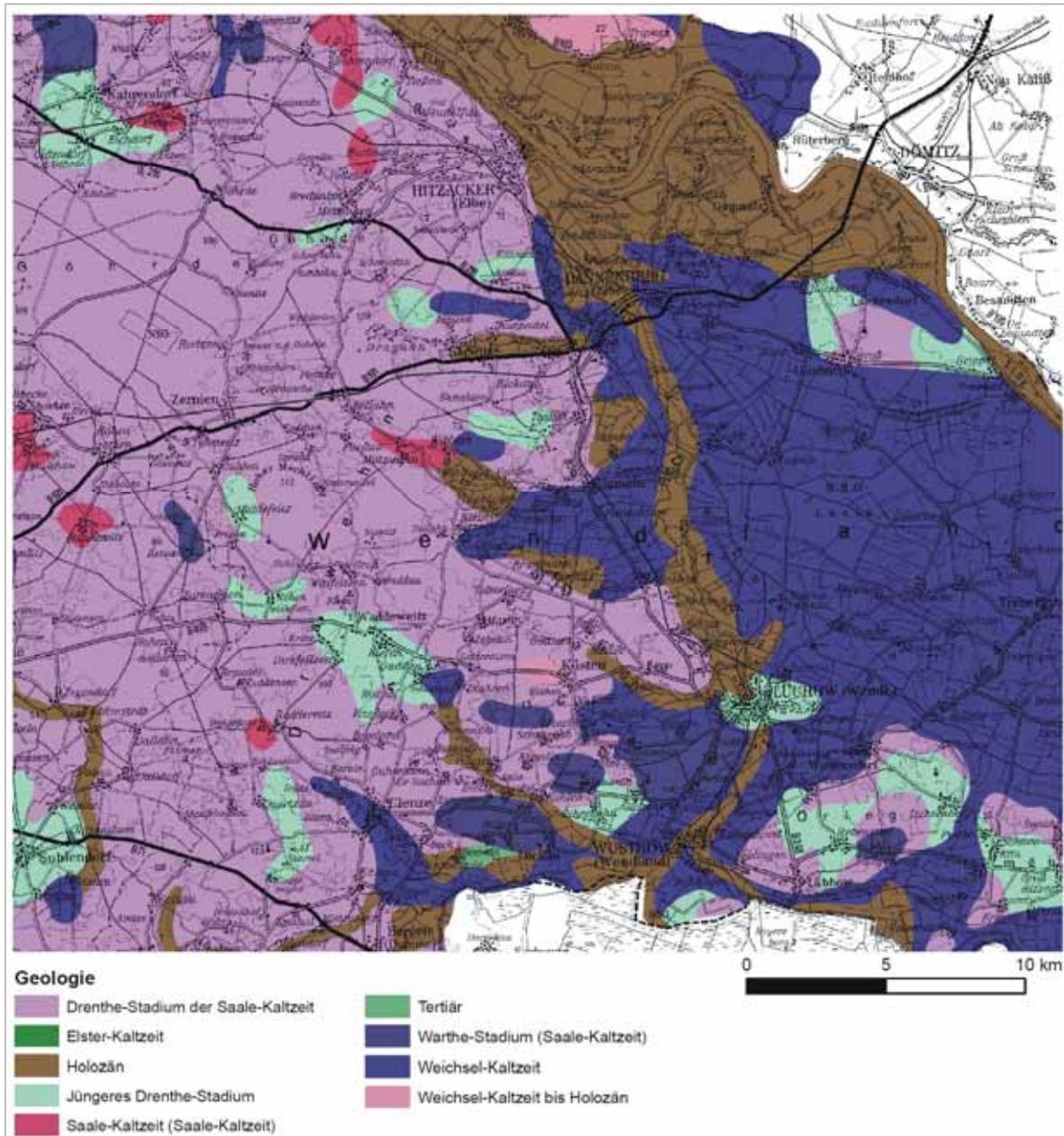


Abb. 7: Übersicht der Geologie im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide (GÜK 500, LBEG; verändert).

4.1.1.3 Hydrologischer und hydrogeologischer Überblick

Dem Untersuchungsgebiet werden, hydrologisch gesehen, drei Grundwasserkörper zugeordnet. Im Westen des Untersuchungsgebietes liegt der Grundwasserkörper „Ilmenau Lockergestein rechts“, die Mitte gehört zum Grundwasserkörper „Jeetzel Lockergestein links“ und

der Osten zum Grundwasserkörper „Jeetzel Lockergestein rechts“ (s. Abb. 8). Die Abgrenzung der Grundwasserkörper entstammt dem „C-Bericht“ der EG-WRRL (EG-WRRL 2005). Für das Gebiet sind die Jeetzel, die Ilmenau und die Elbe von Bedeutung. Die Grundwasserkörper entwässern in Ilmenau, Jeetzel und Elbe. Die Ilmenau und die Jeetzel entwässern in die Elbe, die in die Nordsee mündet.

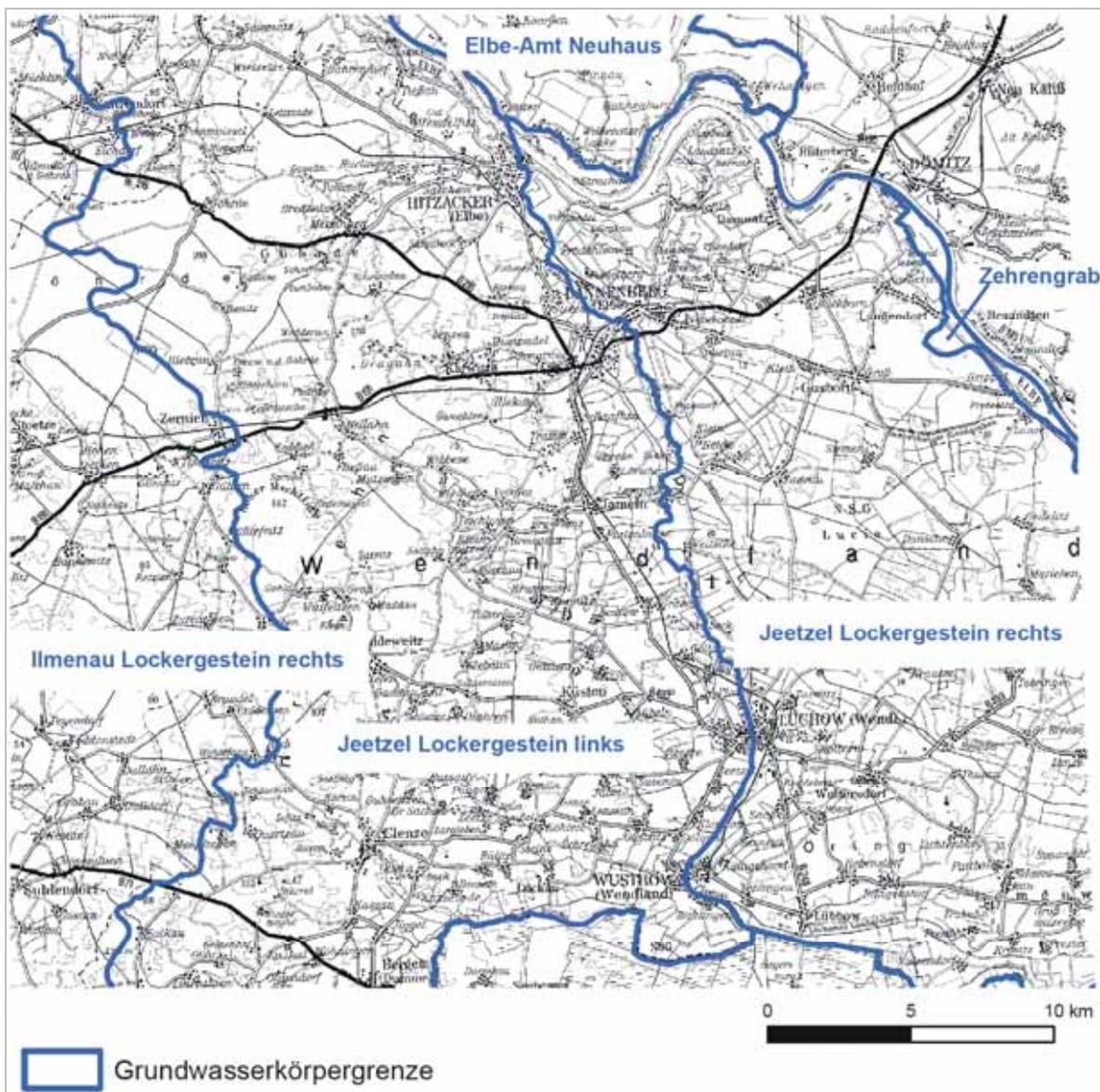


Abb. 8: Lage der Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide.

Die Basis dieses Gebietes bilden Rupeltone und Chattschluffe des Oligozäns oder im Miozän abgelagerte Tone und Schluffe (H7), die als Grundwasserhemmer wirken und den Grundwasserkörper nach unten begrenzen. Darüber befinden sich Ablagerungen der Unteren Braunkohlensande (L5–6) oder Sandablagerungen des Miozäns (L5, L5–6), die als Grundwasserleiter dienen. Sie befinden sich in Tiefen von 0 m ü. NN bis ungefähr -130 m ü. NN. Unterbrochen werden diese Ablagerungen durch eiszeitliche Rinnen, die sich teilweise bis zu den Tonen und Schluffen des Miozäns eingeschnitten und dann die Unteren Braunkohlensande komplett erodiert haben. Die Rinnen sind mit elsterkaltzeitlichen Ablagerungen wieder verfüllt worden und zwar sowohl mit grundwasserleitenden als auch mit grundwasserhemmenden Sedimenten. Die grundwasserleitenden Sedimente sind sandige und kiesige Schmelzwasserablagerungen (L4.2). Die Grundwasserhemmer in diesen Rinnen setzen sich aus Geschiebemergel (H4) und Beckenablagerungen (H4) zusammen. Im unteren und oberen Bereich der Rinnen können Geschiebemergel abgelagert sein, so dass sie den Zustrom des Grundwassers von oben in die Rinne hemmen. Die Beckenablagerungen können sogar die Oberfläche erreichen.

4.1.1.4 Böden

Das Untersuchungsgebiet ist von Gleyen, Podsolen und Braunerden geprägt. Im östlichen Bereich des ausgewählten Gebietes sind von Norden nach Süden zwischen Dannenberg und Lüchow weitflächig sehr tief reichende Gleye aus reinen Sanden ausgebildet. Weiter nach Osten schließen sich dann Gley-Podsole an, die jedoch wieder von reinen Gleyen unterbrochen werden. Diese Böden bildeten sich

über Flussablagerungen der Niederterrasse. Gleye und Podsole wechseln sich in diesem Bereich ab. Südöstlich von Lüchow schließen sich dann Podsole, Podsol-Braunerden und Braunerden an. Diese bildeten sich sowohl auf Grundmoränen des Jüngeren Drenthe-Stadiums (Podsole) als auch auf Schmelzwasserablagerungen (Braunerden). Allerdings treten auch hier wieder Gleye auf. Vereinzelt kommen in diesem Bereich Niedermoore vor, welche die Gleye zum Teil überlagern. Es treten immer wieder Hochmoorböden auf.

Westlich von Lüchow schließen sich ebenfalls Braunerden an, teilweise auch Pseudogley-Braunerden, da hier sowohl Grundmoränenmaterial des Warthe-Stadiums als auch Schmelzwasserablagerungen des Drenthe-Stadiums vorhanden sind. In diesem Bereich des Untersuchungsgebietes ändern sich die Bodentypen kleinräumiger. Hier kommen zudem noch Gleye und auch Gley-Podsole vor. Der Südwesten dieses Gebietes ist von Podsol-Braunerden geprägt. Es kommen jedoch auch reine Braunerden vor. Südlich von Clenze treten Gleye mit Niedermoorauflage auf. Im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes kommen vorwiegend Podsol-Braunerden über Schmelzwasserablagerungen vor. Bei Hitzacker und südlich von Zernien sind diese jedoch aus Lehmsanden über Reinsanden aufgebaut. Die restlichen Podsol-Braunerden bestehen überwiegend aus Reinsanden. Unterbrochen ist dieser Bodentyp nur in kleineren Bereichen von Pseudogley-Braunerden oder Pseudogley-Podsolen. Entlang der Elbe sind vorwiegend Gley-Braunauenböden zu finden, bei denen Lehmsande über Kiesen zu finden sind. Nördlich von Dannenberg treten Braunauenböden auf, die aus Lehmschluffen und Schlufftonen bestehen und sich über holozänen Flussablagerungen bildeten (s. Abb. 9).

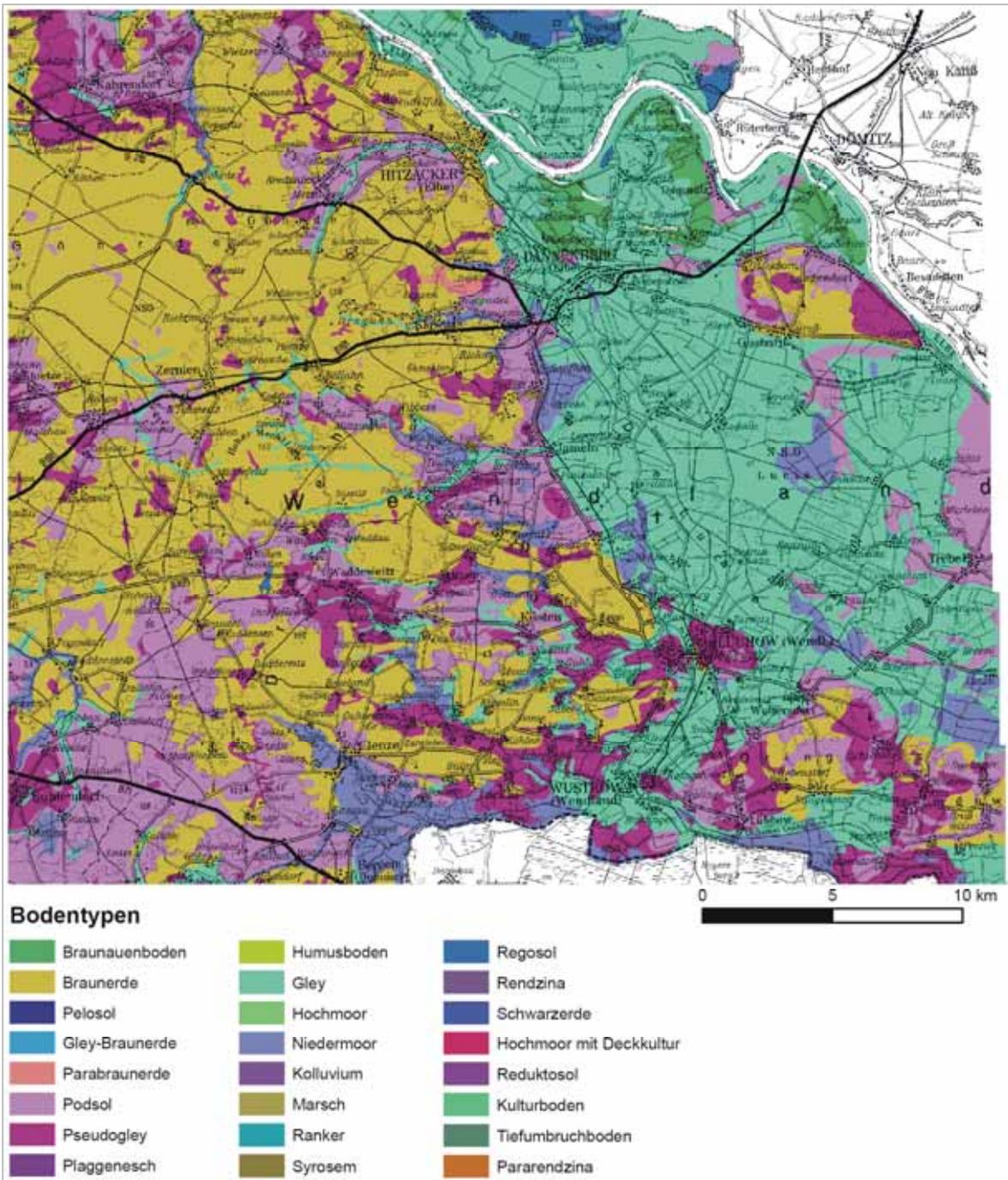


Abb. 9: Übersicht der Bodentypen im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide (BÜK 50, LBEG; verändert).

4.1.2 Veränderung der Grundwasserneubildung – Variante 1

Für das Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide wurde die Grundwasserneubildung zum einen für eine Dreißigjahrenspanne von 2071–2100 und zum anderen für einen Vergleichszeitraum von 1961–1990 berechnet. Für das ausgesuchte Gebiet sind die Klimastationen in Lüchow und Uelzen von Bedeutung. Außerdem werden die Klimastation Lüneburg und die umliegenden Niederschlagsstationen einbezogen.

4.1.2.1 Klima

Die Werte von Niederschlag, Temperatur und Grasreferenzverdunstung wurden für die drei Klimastationen Lüneburg, Lüchow und Uelzen verglichen. Die Werte für Niederschlag, Temperatur und Sonnenscheindauer (diese wird bei Berechnung der FAO-Grasreferenzverdunstung benötigt) wurden für den Zeitraum 2071–2100 den WETTREG-Daten entnommen. Das Untersuchungsgebiet wird durch die Klimastationen Uelzen und Lüchow repräsentiert, trotzdem wird zu Vergleichszwecken auch die Klimastation Lüneburg betrachtet. Die Klimastation Uelzen ist noch eher vom maritimen Klima geprägt, während bei der Klimastation Lüchow der kontinentale Einfluss größer wird. Die Niederschläge nehmen von der Küste zum Landesinneren hin ab.

4.1.2.2 Niederschlag, Temperatur, FAO-Grasreferenzverdunstung 1961–1990

In dem dreißigjährigen Mittel von 1961–1990 ergab sich für die Klimastation Lüneburg eine mittlere Jahrestemperatur von 8,8 °C. Die Klimastation Lüchow erreichte eine durchschnittliche Temperatur von 8,6 °C und die Klimastation Uelzen verzeichnete eine durchschnittlichen Temperatur von 8,4 °C, somit die geringste Temperatur der drei Klimastationen. Die Temperaturen der drei Stationen liegen dennoch sehr nahe beieinander, so dass sie als fast gleich angesehen werden können. Die höchsten Temperaturen wurden in den Monaten Juni, Juli und August erreicht. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen über das dreißigjährige Mittel lagen in diesen Monaten in Lüneburg und Lüchow knapp über und in Uelzen knapp unter 20 °C (s. Abb. 11).

Bei der Niederschlagsverteilung der drei Klimastationen sind schon etwas deutlichere Unterschiede erkennbar. Die Klimastation Lüchow weist für diesen Zeitraum mit 533 mm/a den geringsten mittleren Jahresniederschlag auf. Die Klimastationen Lüneburg und Uelzen verzeichnen mit 605 bzw. 615 mm/a schon eine deutlich höhere jährliches Niederschlagsmenge. Die höchsten mittleren monatlichen Niederschlagsmengen wurden in den Sommermonaten registriert. Die geringsten monatlichen Niederschlagsmengen werden bei allen drei Stationen im Oktober und im Februar verzeichnet (s. Abb. 10).

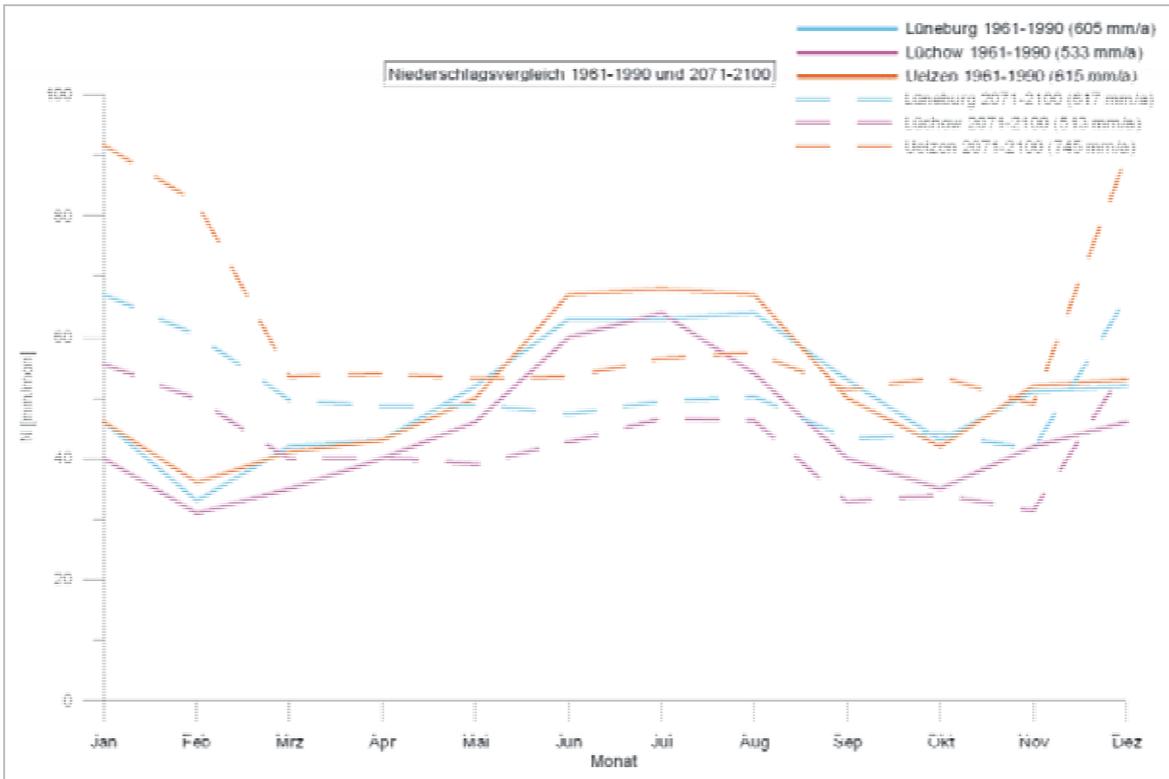


Abb. 10: Veränderung der mittleren monatlichen Niederschlagsmengen für die Klimastationen Lüneburg, Uelzen, Lüchow. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Messwerten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

Beim Vergleich der FAO-Grasreferenzverdunstung für diese drei Stationen über den Zeitraum von 1961–1990 fällt wiederum auf, dass alle drei Stationen einen ähnlichen Wert aufweisen. Dies erklärt sich damit, dass die Verdunstung von der Temperatur, die bei den drei Klimastationen ähnlich war, abhängig ist, ebenso wie von der Sonnenscheindauer. Da Lüchow, Lüneburg und Uelzen eine ähnliche geografische Breite aufweisen, erklärt sich, dass auch die Sonnenstundenzahl ähnlich ist. Die Verdunstung ist in den Sommermonaten am höchsten. Als dreißigjährige Mittel ergeben sich 537 mm/a für Uelzen, 543 mm/a für Lüneburg und 561 mm/a für Lüchow (s. Abb. 12).

Beim Vergleich der Stationen ist somit schon ein Trend erkennbar, dass es in Lüchow trockener ist und eine höhere Verdunstung im Referenzzeitraum stattfindet.

4.1.2.3 Niederschlag, Temperatur, FAO-Grasreferenzverdunstung 2071–2100

Für den Zeitraum von 2071–2100 nimmt die Temperatur an allen drei Klimastationen um ungefähr 2,5 °C zu. In Uelzen steigt nach den WETTREG-Daten die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur auf 10,9 °C. In Lüchow sollen es über das dreißigjährige Mittel 11,1 °C und in Lüneburg 11,4 °C werden (s. Abb. 11). Die Station Lüneburg soll eine geringe Zunahme der Niederschläge um 12 mm/a, die Station Lüchow eine Abnahme um 20 mm/a verzeichnen. Diese Werte können im Vergleich zu den Niederschlagswerten der 30 Jahre von 1961–1990 als ungefähr gleich bleibend angesehen werden. Erstaunlicherweise nimmt der Niederschlag der Klimastation Uelzen um 130 mm/a für das dreißigjährige Mittel von 2071–2100 zu. Bei der Überprüfung der umliegenden Niederschlagsstationen konnte jedoch nicht festgestellt werden, dass auch diese einen ähnlich hohen Anstieg der Niederschläge verzeichnen.

Bei der Betrachtung der Niederschlagsverteilungen ist auffällig, dass sich die höchsten monatlichen Niederschlagsmengen von den hydrologischen Sommermonaten in die hydrologischen Wintermonate verschieben. Dies ist sehr bedeutsam für die Grundwasserneubildung, da diese, auf Grund der geringen Verdunstung, vorwiegend in den Wintermonaten stattfindet (s. Abb. 10).

Bei näherer Betrachtung der FAO-Grasreferenzverdunstung ist zu erkennen, dass diese für die Jahre 1961–1990 bei den drei Klimastationen eine ähnliche Verdunstungshöhe von 540–550 mm/a Jahr aufweist. Dies resultiert daraus, dass die FAO-Grasreferenzverdunstung abhängig von Temperatur und Sonnenscheindauer in Abhängigkeit von der geographischen Lage ist. Somit ist auch zu erklären, dass sich die Werte für die Verdunstung im Zeitraum von 2071–2100 der Stationen nicht gravierend unterscheiden, da Anstieg und Sonnenscheindauer der Stationen ungefähr gleich sind (s. Abb. 12).

Auf Grund der ungewöhnlichen Erhöhung der Niederschläge an der Station Uelzen wurde ei-

ne Neuberechnung dieses Untersuchungsgebietes für den Zeitraum 2071–2100 durchgeführt. Nach der Betrachtung der benachbarten Niederschlagsstationen Eimke, Teyendorf und Wrestedt-Stederdorf im Vergleich zu den Werten der Klimastation Uelzen wurde angenommen, dass der Jahresniederschlag über das dreißigjährige Mittel um 35 mm/a steigt (s. Abb. 13). Die Berechnung erfolgt dann mit einem Jahresniederschlagswert von 650 mm/a. Der Niederschlag im hydrologischen Sommer beträgt bei den drei o. g. Stationen 42–46 % der mittleren Jahressumme. Für die Station Uelzen wurde daraufhin angenommen, dass der Niederschlag im hydrologischen Sommer 45 % des Ganzjahresniederschlags, also 293 mm/a, beträgt. Nach einer Neuberechnung der Grundwasserneubildung mit GROWA06 kommt es im Vergleich zu der vorherigen Berechnung zu nicht ganz so großen Zunahmen der Grundwasserneubildung.

Der westliche Teil des Untersuchungsgebietes wird der Klimastation Uelzen zugeordnet und der östliche Teil der Station Lüchow. Bei der Berechnung der Grundwasserneubildung fällt diese „Grenze“ bei der Darstellung deutlich auf.

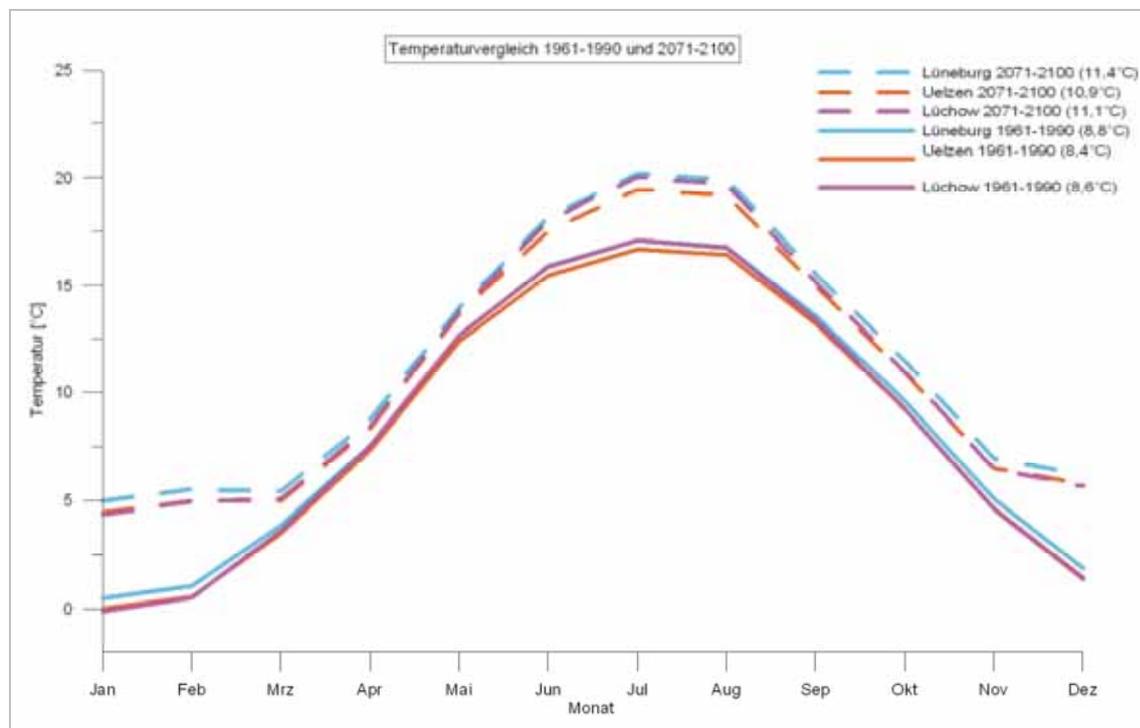


Abb. 11: Veränderung der mittleren Monatstemperaturen für die Klimastationen Lüneburg, Uelzen, Lüchow. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Messwerten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

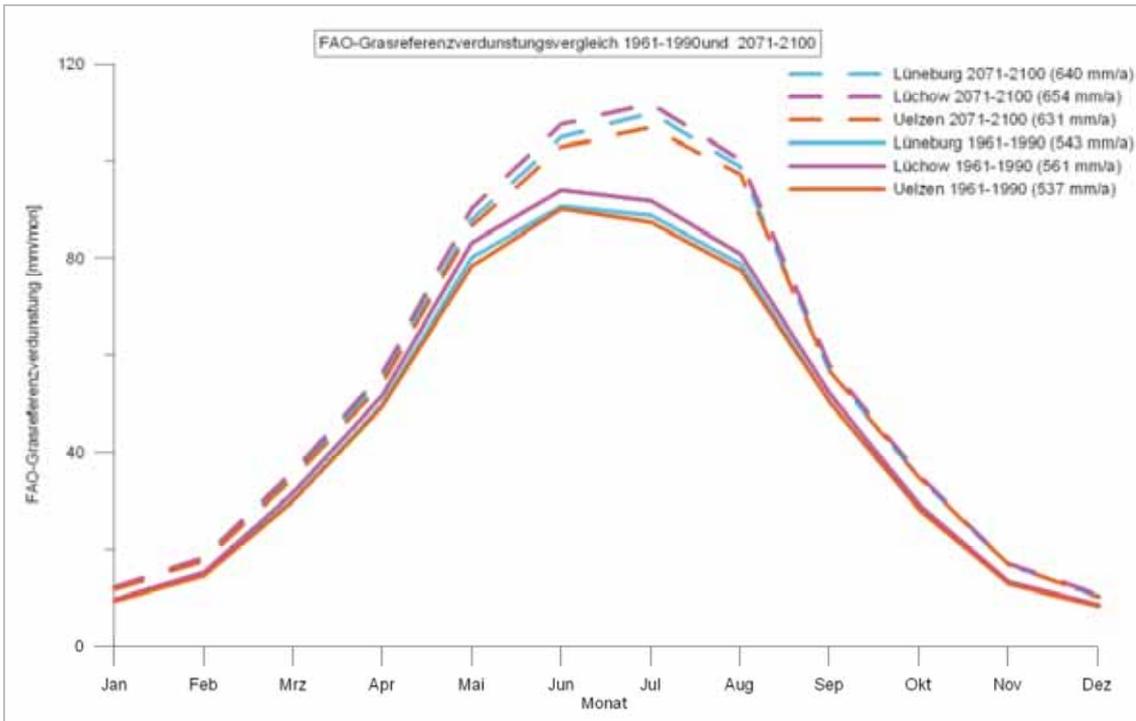


Abb. 12: Veränderung der FAO-Grasreferenzverdunstung für die Klimastationen Lüneburg, Uelzen, Lüchow. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Werten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.



Abb. 13: Veränderung der Niederschläge in der Nordost-Heide gemäß den WETTREG-Daten (Differenz von „Kontrolllauf“ zu Simulation) und den einer Klimastation zugehörigen Gebieten.

4.1.2.4 Grundwasserneubildung 1961–1990

Die Grundwasserneubildungsraten weisen im Untersuchungsgebiet I eine hohe Schwankungsbreite auf. Es gibt sowohl Flächen mit einer Grundwasserneubildungsrate von ungefähr 230 mm/a als auch Flächen mit einer Grundwasserzehrung von über 20 mm/a. Diese Flächen befinden sich vorwiegend im östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes, welcher der Klimastation Lüchow zugeordnet ist. Grundwasserzehrung oder eine leichte Zunahme der Grundwasserneubildung bis zu 35 mm/a treten entlang der Elbe, im Naturschutzgebiet Lucie, östlich von Lüchow und an der südlichen Grenze des Untersuchungsgebietes Richtung Sachsen-Anhalt auf. Eine Grundwasserneubildung von 36–85 mm/a kommt über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt vor. Im östlichen Bereich schließen sich Flächen mit dieser Grundwasserneubildung an die vorher genannten Flächen an. Im westlichen Bereich befinden sich Flächen mit Grundwasserneubildungsraten bis 85 mm/a, genauer südlich von Hitzacker, südöstlich von

Zernien im Bereich des Hohen Mechtin und im südlichen Drawehn. Auf wenigen Flächen des Untersuchungsgebietes kommt es zu Grundwasserneubildungen von 86–126 mm/a. Diese Flächen befinden sich vorwiegend im westlichen und südlichen Teil des untersuchten Gebietes. Grundwasserneubildungen von bis zu 170 mm/a befinden sich überwiegend im östlichen Untersuchungsgebiet.

Für diesen Teil ist dies auch gleichzeitig die höchste Grundwasserneubildung und nimmt somit die restlichen Flächen südöstlich von Dannenberg, nördlich und nordöstlich von Lüchow und nordöstlich von Clenze ein. Zu den höchsten Grundwasserneubildungen kommt es im westlichen Bereich dieses Untersuchungsgebietes. Dieser Teil wird der Klimastation Uelzen zugeordnet. Diese erhöhten Grundwasserneubildungsraten sind südlich von Zernien, in Bereich von Waddewitz und südwestlich des Drawehns zu finden. Insgesamt weist das östliche Untersuchungsgebiet einheitlichere Grundwasserneubildungsraten auf. Im westlichen Bereich ändert sich die Grundwasserneubildung kleinräumiger auf Grund von Reliefunterschieden (s. Abb. 14).

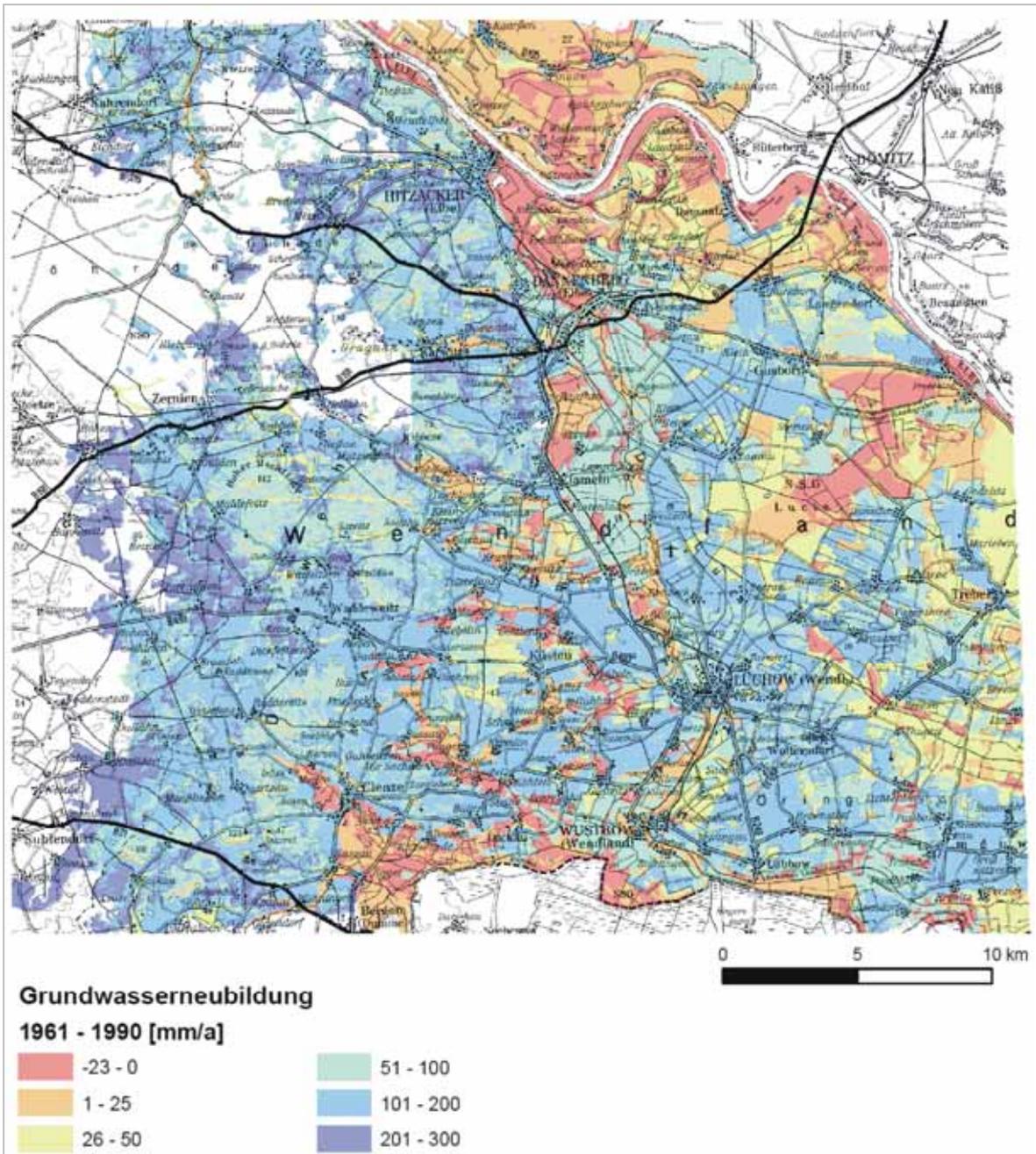


Abb. 14: Grundwasserneubildung von 1961–1990 im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide.

4.1.2.5 Veränderung der Grundwasserneubildung – Variante 1

Im westlichen Teil kommt es nach den Berechnungen für 2071–2100 zu einer starken Zunahme der Grundwasserneubildung. Einzelne Flächen in diesem Teilgebiet weisen eine Erhöhung der Grundwasserneubildung von 76–100 mm/a auf. Dieses entspricht einer Erhöhung der Grundwasserneubildung um ungefähr 45 %. Auf Flächen, bei denen die Grundwasserneubildung im Vergleichszeitraum 86–126 mm/a betrug, soll die Grundwasserneubildung um ungefähr 60 % zunehmen. Eine Erhöhung der Grundwasserneubildung um 26–50 mm/a wirkt sich auf Flächen aus, die von 1961–1990 eine Grundwasserneubildung von 36–85 mm/a hatten. Dieses würde einer Erhöhung um 60–70 % entsprechen. Flächen in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes, die keine oder nur eine geringe Grundwasserneubildung im Vergleichszeitraum aufgewiesen haben, können ihre Neubildung mehr als verdoppeln. Zu beachten ist dabei, dass die Neubildung dann trotzdem lediglich 70 mm/a betragen würde. Die starken Erhöhungen der Grundwasserneubildung kommen in diesem Teilstück durch die starke Erhöhung des Niederschlages für die Klimastation Uelzen im Zeitraum von 2071–2100 zu Stande (s. Abb. 15).

Im östlichen Bereich von Untersuchungsgebiet I, welcher der Klimastation Lüchow zugeordnet ist, kommt es bei den angenommenen Klimaänderungen der WETTREG-Daten zu deutlich anderen Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung, da der Niederschlag dieser Station um 20 mm/a abnimmt. Diese leichte Abnahme der Niederschläge um fast 4 % wirkt sich bei den meisten Flächen nicht auf die Grundwasserneubildung aus. Das bedeutet, dass auf den meisten Flächen, auf denen mehr als 35 mm Grundwasser pro Jahr gebildet wird, dies auch beibehalten wird. Bei einem geringen Teil dieser Flächen ist es jedoch so, dass es zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung um über 30 % kommen kann. Grundsätzlich erscheint es in diesem Teil des Untersuchungsgebietes so, dass, je weniger Grundwasser vorher gebildet wurde, diese geringe Menge dann auch noch abnimmt. Flächen, auf denen es von 1961–1990 zu Grundwasserzehrung kam, behalten diese bei. Auf einigen Flächen kommt die Grundwasserzehrung hinzu (s. Abb. 16), auch wenn dies in der Übersichtskarte als gleichbleibend zu erkennen ist, da sich die Werte der Veränderung in dem Bereich von 25–(-25) mm/a befinden. Dies lässt sich damit erklären, dass die Niederschläge abnehmen, sich aber gleichzeitig die Evapotranspiration erhöht. Aus diesem Grunde kann es auch zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung um 85 % oder mehr kommen. Die Mehrzahl der Flächen für das gesamte Untersuchungsgebiet I weisen eine Erhöhung der Grundwasserneubildung um 26–75 mm/a auf.

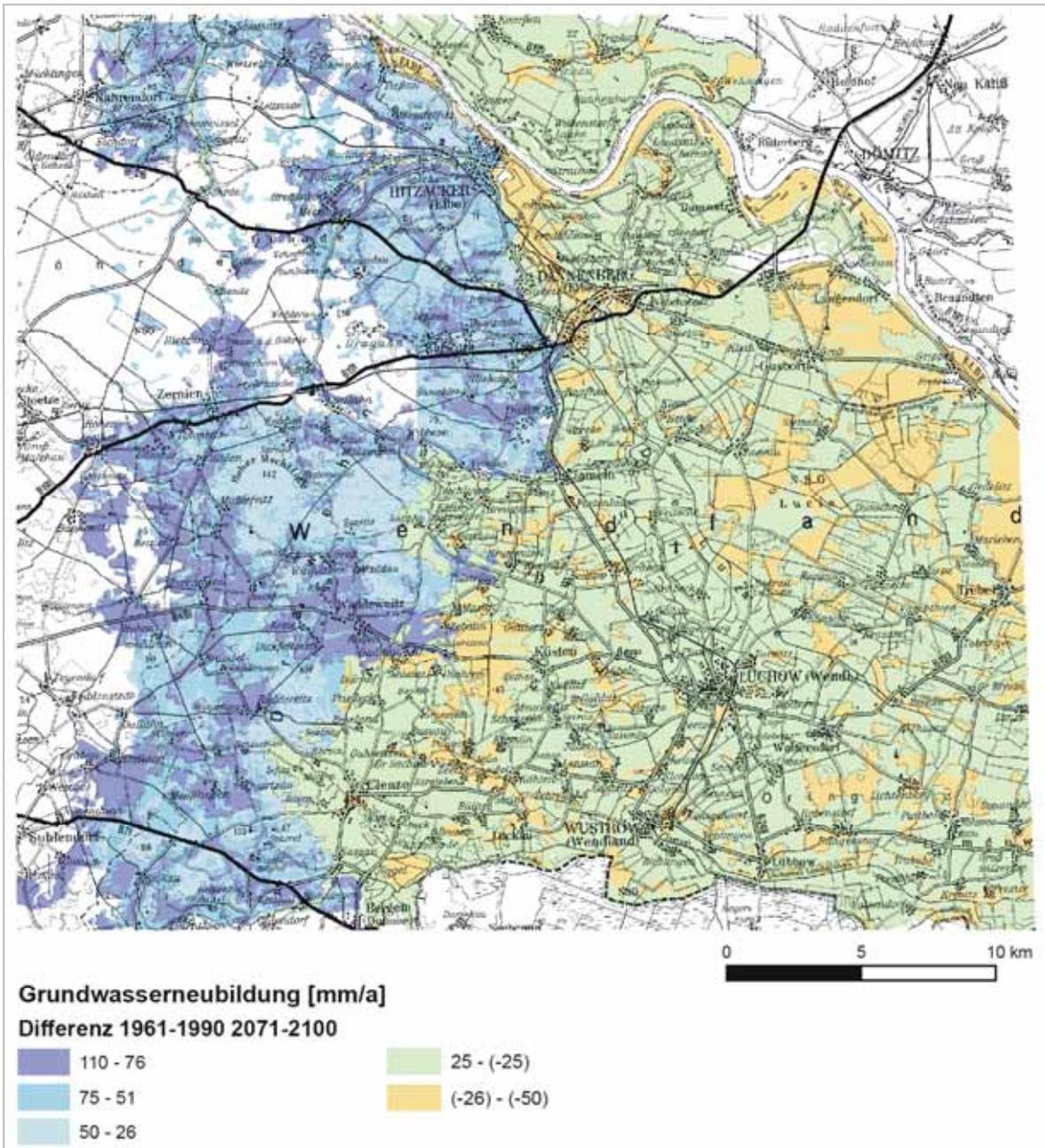


Abb. 15: Differenz der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide (Variante 1).

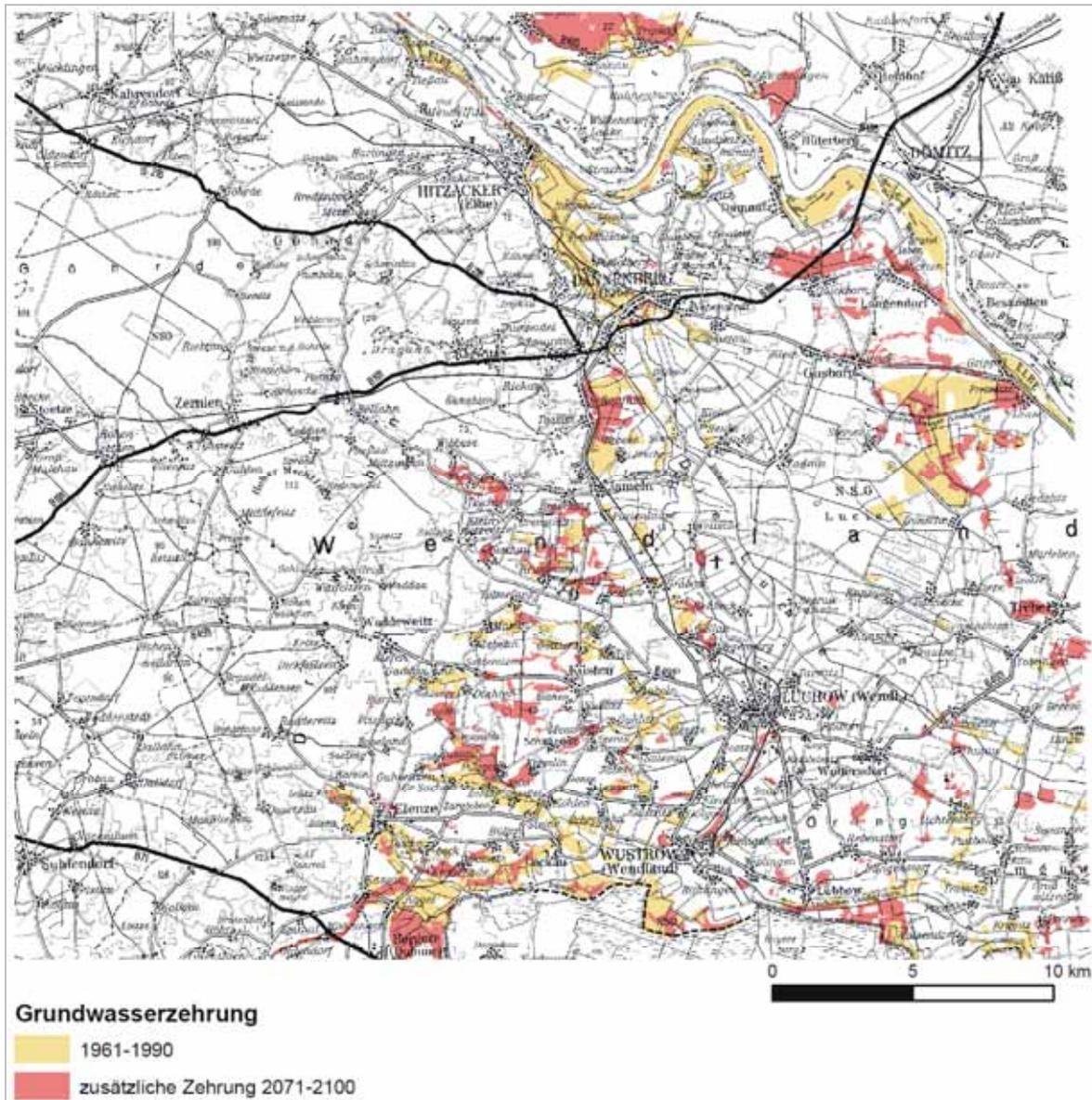


Abb. 16: Zunahme der Grundwasserzehrung im Untersuchungsgebiet I im Vergleich von 1961–1990 zu 2071–2100.

Im westlichen Teil des Gebietes, das von einer Zunahme der Grundwasserneubildung geprägt ist, scheint es so zu sein, dass unter bewaldeten Flächen, vorwiegend unter Nadelwäldern, die Grundwasserneubildung geringer ausfällt, als unter landwirtschaftlich genutzten Flächen. Die landwirtschaftlich genutzten Flächen weisen eine Zunahme der Grundwasserneubildung von 76–110 mm/a auf. Allerdings weisen auch Grünflächen diese Zunahmen auf, z. B. nordwestlich von Waddeweiß und südlich von Hitzacker. Vereinzelt kommen auch einige Flächen mit Nadelwaldbeständen und einer star-

ken Zunahme der Grundwasserneubildung vor, z. B. nördlich von Zarenthien. Hier ist es jedoch so, dass in diesem Bereich die meisten Flächen landwirtschaftlich genutzt werden, so dass die wenigen Flächen mit Nadelwald die Grundwasserneubildung nicht sehr stark zu beeinflussen scheinen. Die Grundwasserflurabstände liegen hier zwischen 30 und 40 m.

Eine Zunahme der Grundwasserneubildung von 51–75 mm/a kommt ebenfalls meistens auf landwirtschaftlich genutzten Flächen vor. Flächen mit Nadelwaldbewuchs, die ebenfalls die-

se Erhöhung der Grundwasserneubildung aufweisen, haben Grundwasserflurabstände von ungefähr 30 m. Überwiegend werden aber die Flächen mit einer Erhöhung von ungefähr 75 mm/a ackerbaulich genutzt.

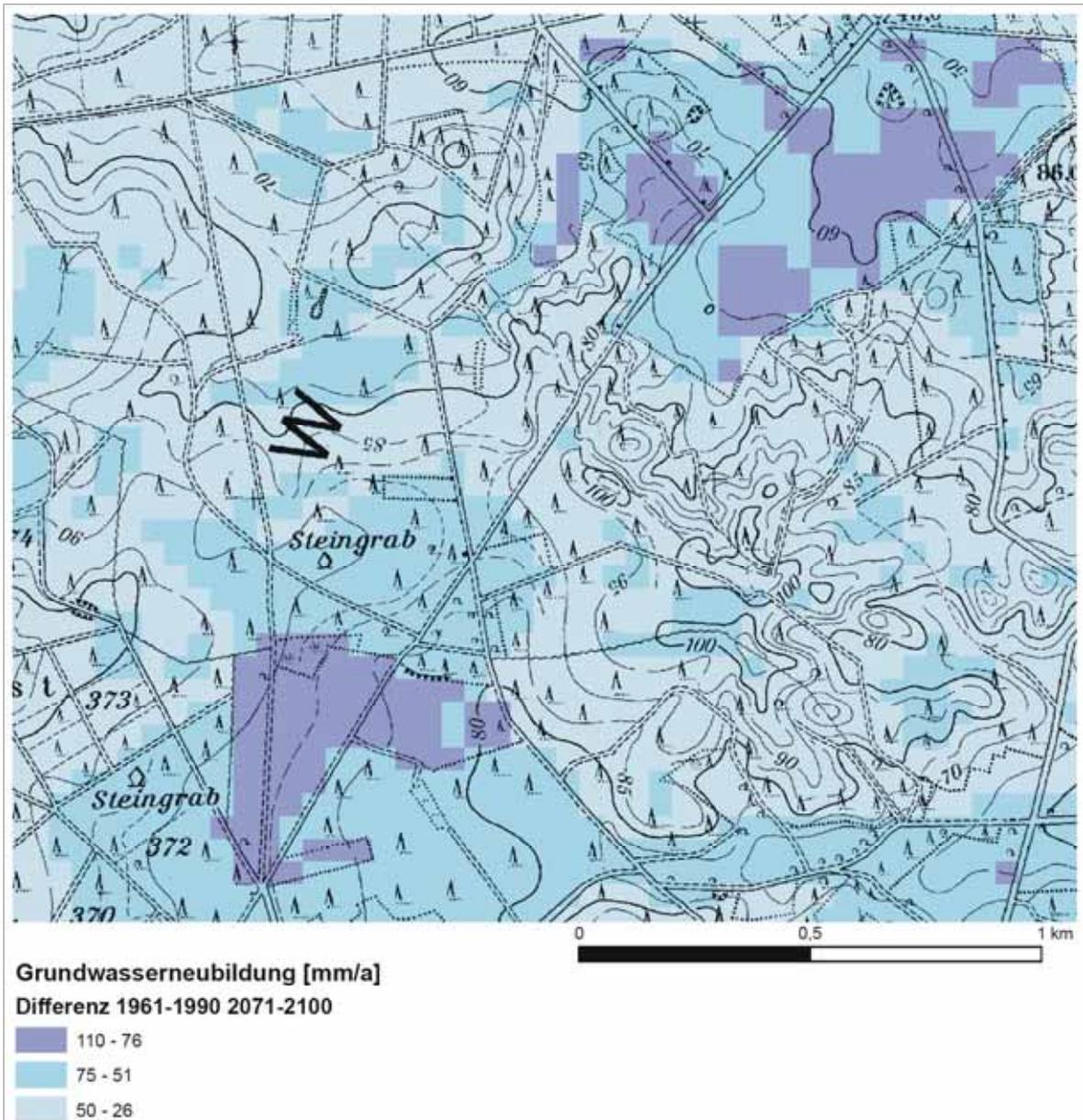


Abb. 17: Detailabbildung der Differenz der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide im Bereich des Drawehns.

Eine Zunahme der Grundwasserneubildung von 26–50 mm kommt südlich von Hitzacker auf forstwirtschaftlich genutzten Flächen vor. Die Grundwasserflurabstände variieren auf diesen Flächen von knapp unter einem Meter bis zu vier Meter auf höher gelegenen Flächen. Der größte Teil der Flächen, die eine derartige Zunahme der Grundwasserneubildung verzeichnen, befinden sich im Gebiet des Dra-wehns (s. Abb. 17) im Bereich des Hohen Mechtin. Diese Flächen werden vornehmlich als Nadelwald genutzt. Der Grundwasserflurabstand liegt in diesen Bereichen zwischen 30 und 60 m. Östlich des Hohen Mechtin sinkt der Grundwasserflurabstand und liegt dann zwischen einem und zwanzig Metern. Auch weiter südlich im Untersuchungsgebiet werden die Flächen mit Zunahmen der Grundwasserneubildung von 26–50 mm/a forstwirtschaftlich genutzt. Die Grundwasserflurabstände liegen zwischen einem und vier Meter. In diesem Bereich des Untersuchungsgebietes lässt sich keine eindeutige Tendenz der Flächennutzung in Verbindung mit einer Abnahme der Grundwasserneubildung ausmachen. Südöstlich von Hitzacker befindet sich entlang der Jeetzel eine große Anzahl von Grünflächen, auf denen die Grundwasserneubildung um 26–50 mm/a abnimmt. Jedoch fand hier im Vergleichszeitraum Grundwasserzehrung statt, die nun teilweise noch weiter zunehmen soll. Der Grundwasserflurabstand beträgt hier nur ungefähr einen Meter.

Nördlich von Jameln kommt es zu starker Grundwasserzehrung unter Nadelwald. Diese Flächen sind schon für den Vergleichszeitraum 1961–1990 von einer Grundwasserzehrung

gekennzeichnet, welche sich laut den Berechnungen für die Jahre 2071–2100 noch weiter um ungefähr 30 mm/a verstärkt.

Südlich von Clenze nimmt die Grundwasserneubildung um etwa 30 mm/a ab. Das Gebiet wird forstwirtschaftlich genutzt. Die Grundwasserflurabstände sind in diesem Bereich sehr gering; sie betragen ungefähr einen Meter. Auffällig ist, dass im südlichen Teil dieses Untersuchungsgebietes die Grundwasserneubildung häufig unter Grünland abnimmt. Allerdings sind auch geringe Grundwasserflurabstände von höchstens einem Meter zu verzeichnen. Unter Nadelwald nimmt die Grundwasserneubildung auf einigen Teilflächen, z. B. östlich von Wustrow, um etwa 40 mm/a ab. Zu großen Abnahmen der Grundwasserneubildung kommt es ganz im Osten des Untersuchungsgebietes. Dort sind wiederum größere Nadelwaldflächen anzutreffen, auf denen es zu einer Abnahme der Grundwasserneubildung kommt. Hier kommt noch hinzu, dass der Grundwasserflurabstand sehr gering ist und höchstens zwei Meter beträgt, so dass die Bäume bei Trockenheit ihren Wasserbedarf decken können. Das Naturschutzgebiet Lucie, welches aus Nadel- und Laubwäldern besteht, weist ebenfalls eine starke Abnahme der Grundwasserneubildung auf. Teilweise tritt in diesem Waldgebiet sogar Grundwasserzehrung auf, da durch das Gebiet mehrere Gräben verlaufen und der Grundwasserflurabstand sehr gering ist. Außerdem nimmt die Grundwasserneubildung südwestlich von Langendorf um ca. 70 % ab. Auch dieser Forst ist vorwiegend durch Nadelbäume gekennzeichnet (s. Abb. 18).

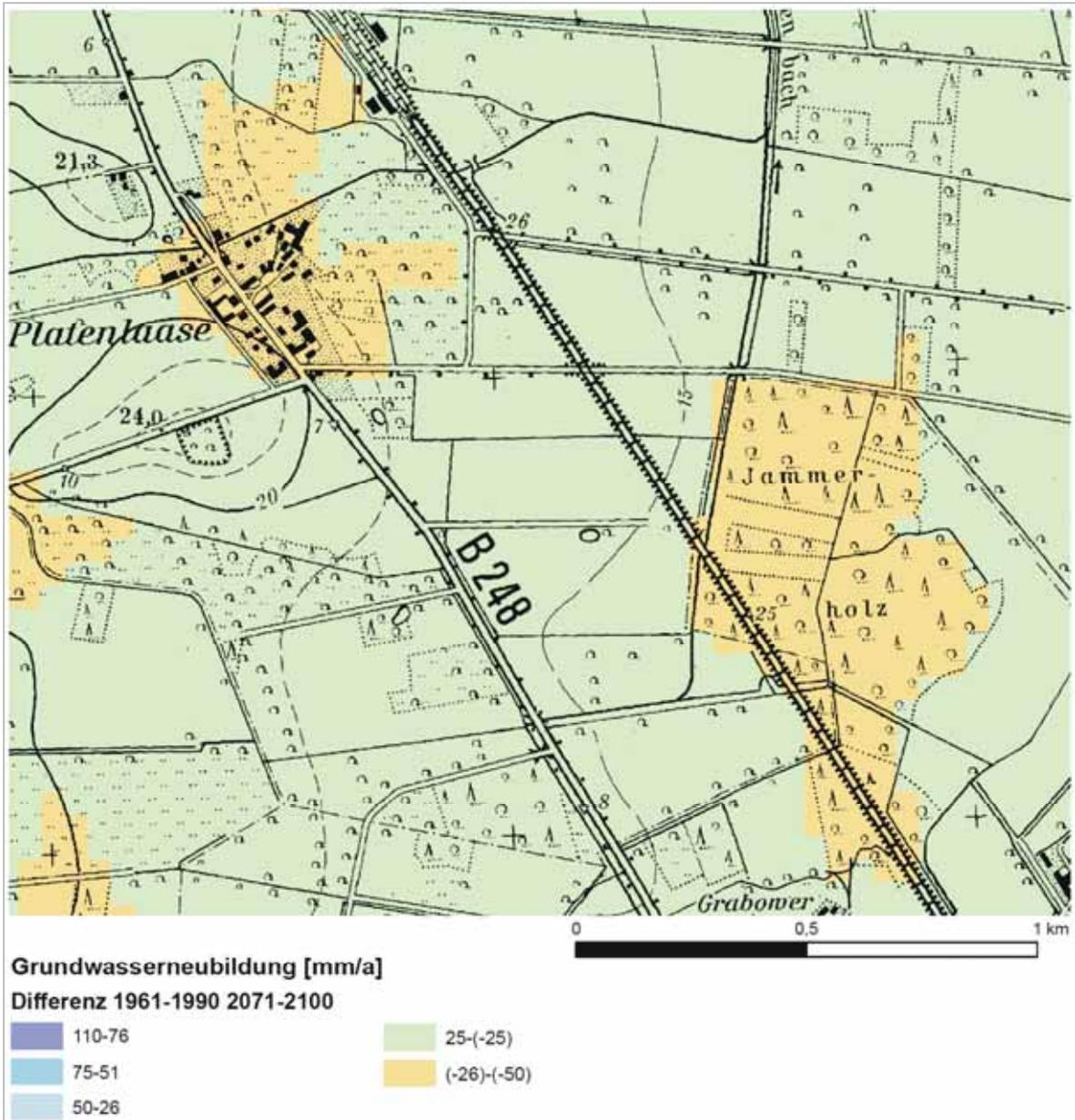


Abb. 18: Detailabbildung der Differenz der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide südlich von Dannenberg.

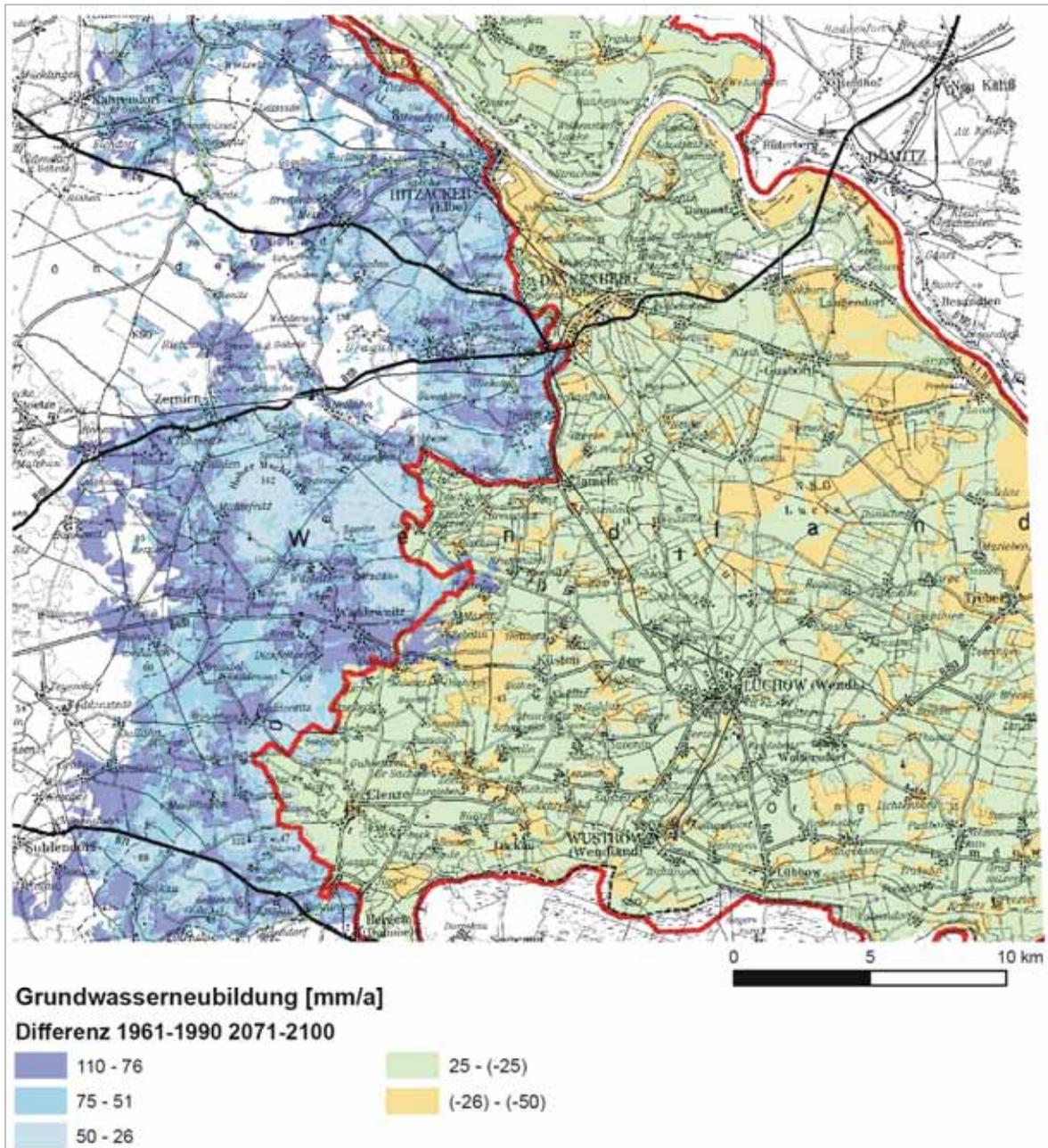


Abb. 19: Differenz der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide (Variante 1). Die rote Linie umgrenzt den Bereich, der der Klimastation Lüchow zugeordnet wurde.

4.1.3 Veränderung der Grundwasserneubildung – Variante 2

Nach Neuberechnung der Grundwasserneubildung mit den veränderten Niederschlagswerten für die Klimastation Uelzen kommt es in

dem dieser Station zugeordneten Gebiet zu einer wesentlich anderen Veränderung der Grundwasserneubildung, als auf Grundlage der original WETTREG-Daten (Variante 1). Auffällig ist, dass es für das gesamte westliche Gebiet nicht mehr zu einer Zunahme der Grundwasserneubildung für alle Teilflächen

kommt. Vielmehr ist es nun so, dass auf dem überwiegenden Teil der Flächen die Grundwasserneubildungsrate gleich bleibt (s. Abb. 20). Im Bereich um Hitzacker fällt auf, dass Flächen, die im Vergleichszeitraum eine erhöhte Grundwasserneubildung von 170–230 mm/a aufwiesen, diese nun noch um ca. 45 % erhöhen. Das Gebiet um Waddewitz und Zarenthien weist ebenfalls diese Erhöhung

der Grundwasserneubildung auf. Auch hier ist es so, dass die Flächen bereits vorher im Vergleich zu den umliegenden Flächen eine höhere Grundwasserneubildung aufwiesen. Bei näherer Betrachtung der Flächen, auf denen die Grundwasserneubildung noch weiter zunimmt, fällt auf, dass diese Flächen ackerbaulich genutzt werden.

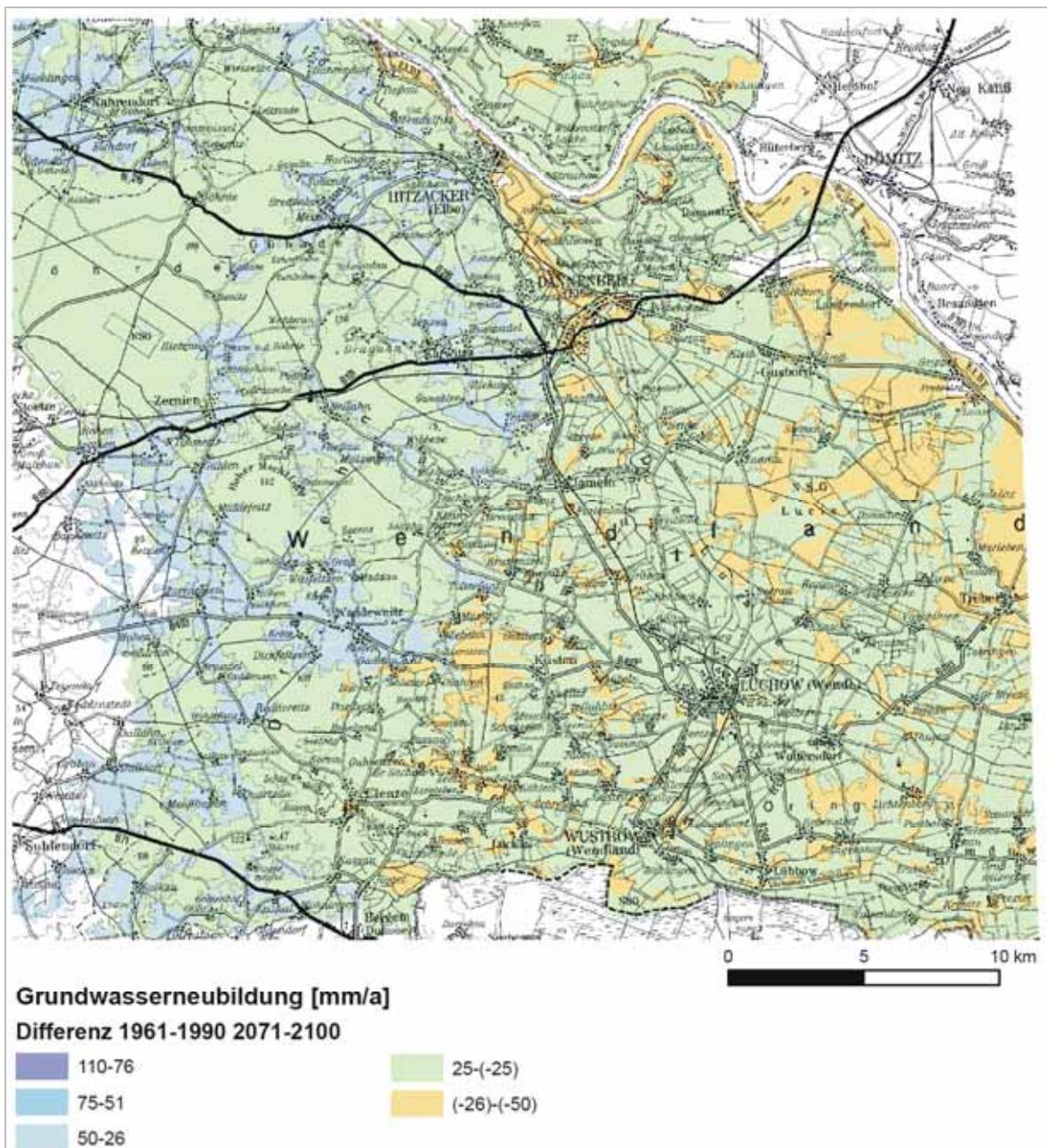


Abb. 20: Differenz der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 mit angepassten Niederschlagswerten (Variante 2).

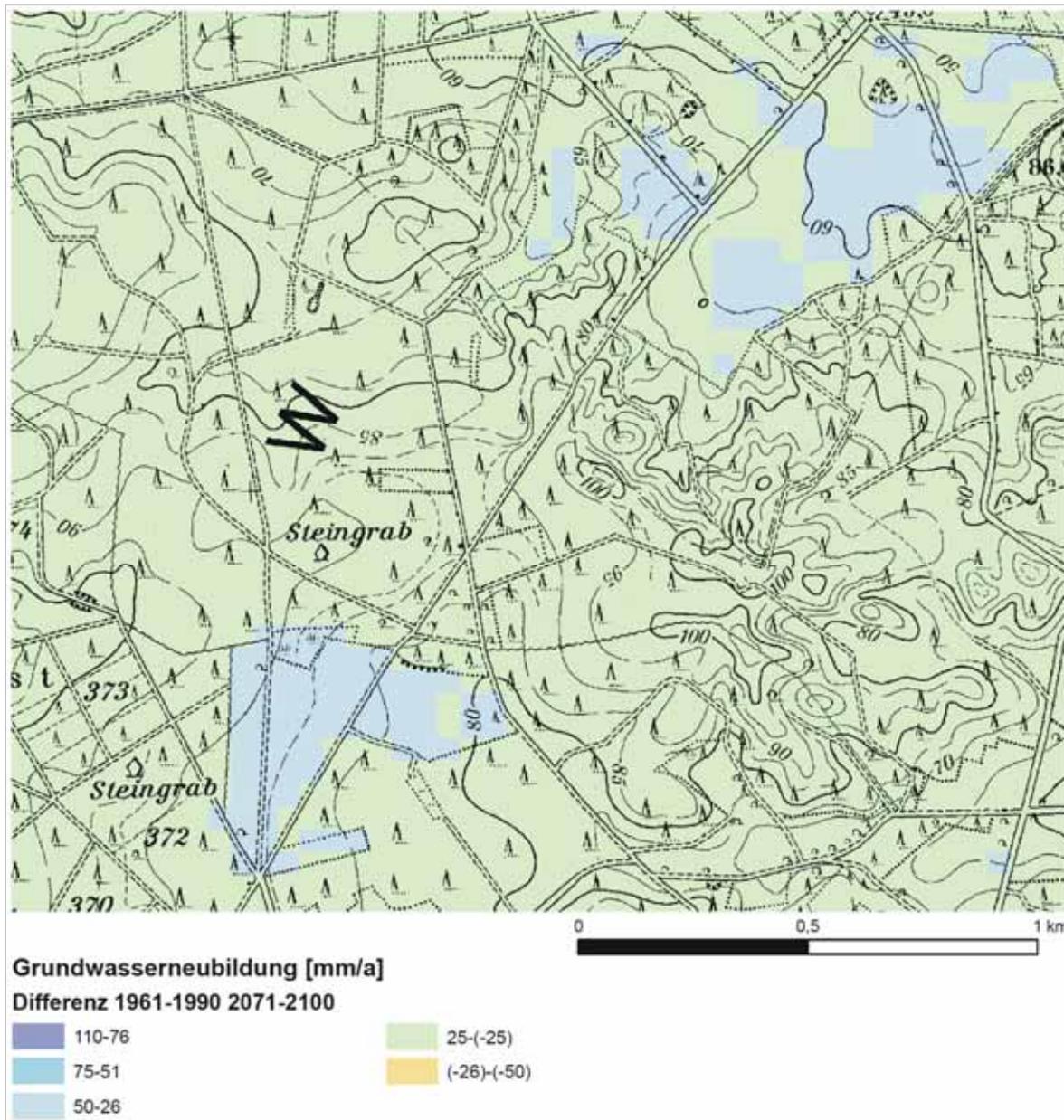


Abb. 21: Detailabbildung der Differenz der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 mit angepassten Niederschlagswerten im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide im Bereich des Drawehns (Variante 2).

Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes mit den veränderten Niederschlagsdaten für die Klimastation Uelzen nimmt die Grundwasserneubildung in den Niederungen und in Bereichen mit geringen Grundwasserflurabständen bis ungefähr 1,50 m um 26–50 mm/a zu. Allerdings ist dies nicht auf bestimmte Höhenlagen begrenzt, sondern außerdem von der Nutzung abhängig. Auf als Grün- und Ackerland genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung bei höheren Grundwasserflurabständen zu (s. Abb. 21).

Bei näherer Betrachtung der Grundwasserflurabstände dieser Region fällt auf, dass sich für das gewählte Untersuchungsgebiet zwei Bereiche ergeben: zum einen ein Bereich im Westen des Gebietes mit hohen und zum anderen im Osten des Gebietes ein Bereich mit geringeren Grundwasserflurabständen. Wird nun gleichzeitig die Grenze der stationsbezo-

genen Klimabereiche betrachtet, so fällt auf, dass diese genau mit dem Übergang von geringerem zu höherem Grundwasserflurabstand zusammenfällt. Demnach weist also das der Klimastation Uelzen zugeordnete Gebiet höhere Grundwasserflurabstände auf, als das der Klimastation Lüchow. Der der Klimastation Lüchow zugeordnete Bereich zeigt zum größten Teil einen Grundwasserflurabstand von höchstens 4,6 m (46 dm). Im südlichen Bereich dieses Gebietes kann es vereinzelt zu Grundwasserflurabständen bis zu 12,8 m (128 dm) kommen (s. Abb. 22). Des Weiteren kommen hier sogar zwei Bereiche vor, in denen der Grund-

wasserflurabstand auf einzelnen Flächen über 40 m betragen kann. Diese Höhe des Grundwasserflurabstandes kommt auch im nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebiets vor. Die Zunahme des Grundwasserflurabstandes geht einher mit einer Zunahme der Geländehöhe; das bedeutet, je höher das Gelände ist, desto höher ist auch der Grundwasserflurabstand. Diese Beobachtung ist auch in dem der Klimastation Uelzen zugeordneten Gebiet zu machen. Von der Grenze des stationsbezogenen Klimabereiches aus nach Westen nimmt der Grundwasserflurabstand, ebenso wie die Geländehöhe, immer weiter zu.

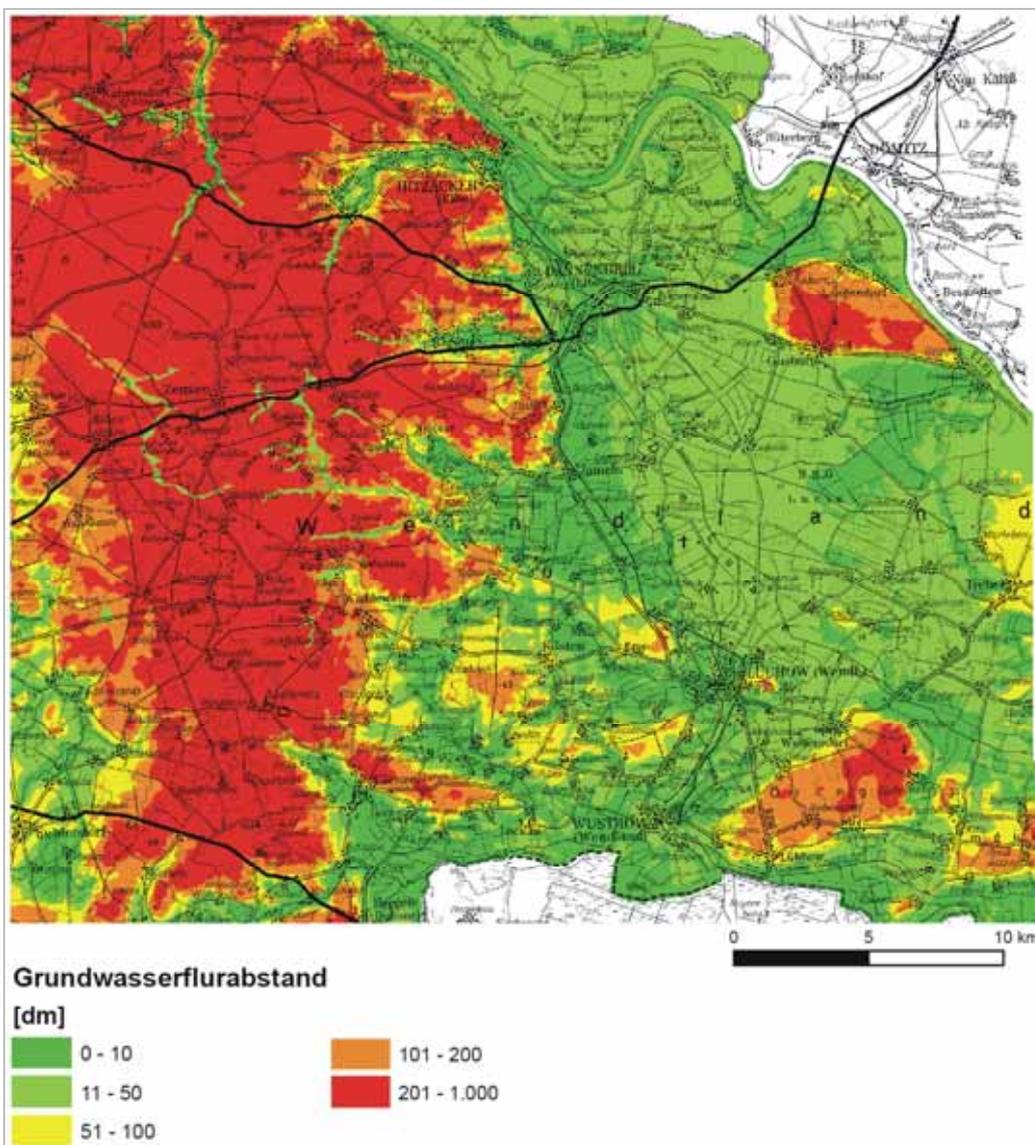


Abb. 22: Übersicht über die Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide (FAGWDF200_DM).

4.1.4 Zusammenfassung

Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes nimmt in der Variante 2 der Berechnungen die Grundwasserneubildung in den Niederungen und in Bereichen mit geringem Grundwasserflurabstand bis ungefähr 1,50 m zu. Allerdings ist dies nicht auf bestimmte Höhenlagen begrenzt, sondern vielmehr von der Nutzung abhängig. Auf als Grün- und Ackerland genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung bei höheren Grundwasserflurabständen zu. Auch bei der Berechnung der Grundwasserneubildung mit den WETTREG-Ausgangsdaten (Variante 1) ist zu erkennen, dass in den höheren Lagen mit größeren Grundwasserflurabständen eine Zunahme der Grundwasserneubildung zu verzeichnen ist. Zu beachten ist hierbei, dass bei diesen Berechnungen die Grundwasserneubildung für diesen Teil des Untersuchungsgebietes grundsätzlich zunimmt. Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes I ist eine gegenteilige Entwicklung der Grundwasserneubildung im Vergleich zum westlichen Teil bei beiden Varianten sichtbar. Der östliche Bereich dieses Untersuchungsgebietes wird, wie bereits weiter oben erwähnt, der Klimastation Lüchow zugeordnet. Da diese eine Abnahme der Niederschläge um 20 mm/a verzeichnet, aber gleichzeitig einen Anstieg von Temperatur und Sonnenscheindauer und damit der Evaporation aufweist, kommt es in diesem Bereich auf keiner Teilfläche zu einer Zunahme der Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 2071–2100. Der überwiegende Teil der Flächen weist jedoch eine gleichbleibende Grundwasserneubildung auf.

Bei einer Erhöhung der Temperatur um 2,5 °C und einer leichten Abnahme der Niederschläge um 12 mm/a im östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes bleibt die Grundwasserneubildung zum größten Teil fast gleich der Grundwasserneubildung des Zeitraumes von 1961–1990. Allerdings kommt es auf vielen als Nadelwald genutzten Flächen zu Abnahmen der Grundwasserneubildung bis zu 50 mm/a. Diese Flächen befinden sich mehrheitlich im Nordosten des Untersuchungsgebietes, vereinzelt auch im Bereich der südwestlichen Klimabereichsgrenze. Die Grundwasserflurabstände in diesen Bereichen sind sehr gering (maximal 0,5 m), so dass Pflanzen, z. B. Nadel- und Laubbäume, das Grundwasser leicht erreichen können, um ihren Wasserbedarf zu decken (s. Tab. 8). Bei einer Zunahme der Niederschläge um 35 mm/a (Variante 2) bleibt die Grundwasserneubildung unter Waldstandorten weitgehend gleich. Die Grundwasserflurabstände sind in dem westlichen Bereich des untersuchten Gebietes höher; sie können über 40 m betragen. Unter landwirtschaftlich genutzten Flächen nimmt die Grundwasserneubildung um bis zu 50 mm/a zu. Die Landnutzung hat bei einer Zu- oder Abnahme der Niederschläge großen Einfluss auf die Grundwasserneubildung. Im westlichen Bereich des Untersuchungsgebietes nimmt die Grundwasserneubildung bei der Berechnung mit den Original-WETTREG-Daten (Variante 1) unter Wald ebenfalls zu. Hierfür sind die hohen Grundwasserflurabstände verantwortlich, da hier der Einfluss der Grobporen des Bodens höher ist, als der Einfluss der Flächennutzung (DYCK & PESCHKE 1995).

Tab. 8: Mittlere effektive Durchwurzelungstiefen [dm] in Abhängigkeit von Baumalter, Baumart und Grundwassereinfluss nach LEHNARDT & BRECHTEL (1980).

Boden- und Grundwasserverhältnisse [dm]	Baumart	Baumalter [Jahre]		
		40	40-80	80
ohne Grundwassereinfluss; Flugsande, Terrassensande, sandige Lehme	Buche	–	10–12	–
	Fichte	bis 5	–	–
	Kiefer	–	–	5–18
	Lärche	–	–	18–25
ohne Grundwassereinfluss; Hochflutablagerungen, Lehme, Tone	Buche	–	5–10	8–18
	Stieleiche	10–11	9–10	–
	Erle	bis 17	–	–
	Fichte	–	bis 4	–
	Kiefer	–	bis 9	–
	Lärche	–	–	bis 28
mit Grundwassereinfluss, Grundwasserstände bis 15 dm	Buche	–	–	5–12
	Stieleiche	–	–	7–9
	Pappel	–	–	bis 10
	Fichte	je nach Grundwasser- stand	–	–
	Kiefer	–	–	7–11
mit Grundwassereinfluss (tiefere Grundwasserstände); Braunerde, Pseudogley etc.	Buche	–	–	12–30
	Stieleiche	–	–	15–30
	Erle	–	16–18	–
	Kiefer	–	–	bis 30

4.2 Untersuchungsgebiet II – Solling

4.2.1 Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet II – Solling wurde gewählt, weil es sich hierbei um ein Festgesteinsgebiet in Niedersachsen handelt. Die Niederschläge in diesem Bereich Niedersachsens sind wesentlich höher, als in den anderen beiden Testgebieten. Die Flächen in diesem Gebiet werden überwiegend forstwirtschaftlich und landwirtschaftlich genutzt. Somit ist die mögliche Entwicklung der Grundwasserneubildung auch für diese Region von Bedeutung, da es hier nach DÖRHÖFER (1991) zu Grundwasserneubildungsraten zwischen 250 und 350 mm/a kommt. Dieses Gebiet ist auch für die Trinkwassernutzung wichtig. Aus diesem Grunde ist eine mögliche Entwicklung der Grundwasserneubildung zu betrachten.

4.2.1.1 Geografischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet II – Solling befindet sich im südwestlichen Niedersachsen. Es umfasst folgende TK 25-Blätter: 4122–4125, 4222–4225 und 4322–4325. Dieses Gebiet wird vorwiegend forstwirtschaftlich genutzt. Größere Ortschaften und Städte sind im Nordosten Holzminden, im Süden Uslar, im Nordosten Einbeck, im Norden Stadtoldendorf und, ungefähr im Zentrum des Untersuchungsgebietes, Dassel. Die Besiedlung ist größtenteils auf diese Ortschaften konzentriert. Vor allem im Solling und im Gebiet der Ahlsburg findet eine forst- und zum Teil landwirtschaftliche Nutzung der Flächen statt. Zwischen beiden Höhenzügen sind jedoch immer wieder kleinere Ortschaften anzutreffen. Die höchsten Bereiche im Untersuchungsgebiet sind im Nordnordosten des Sollings bei Silberborn (Große Blöße, 528 m ü. NN, und der Große Ahrensberg, 525 m ü. NN) und im Südsüdosten des Sollings der Große Steinberg (493 m ü. NN). Des Weiteren gibt es immer wieder Erhebungen in

diesem Bereich, diese erreichen Höhen zwischen 300 und 400 m ü. NN. Außerdem ist im Nordosten des Untersuchungsgebietes noch die Ahlsburg zu erwähnen, mit einem höchsten Punkt von 441 m ü. NN (s. Abb. 23).

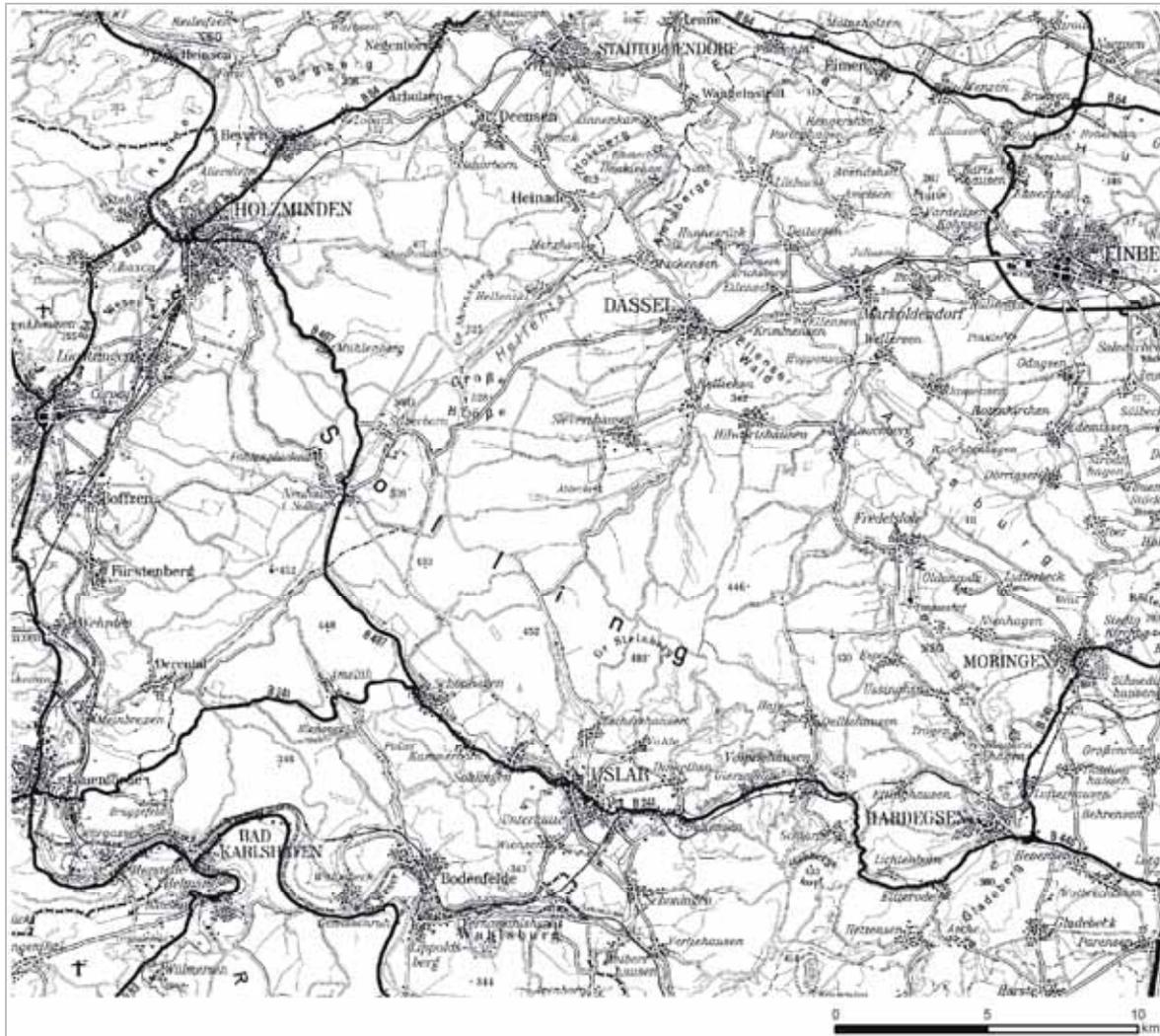


Abb. 23: Topografische Übersicht des Untersuchungsgebietes II – Solling (Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1 : 200 000, Blatt CC 4718; BKG).

4.2.1.2 Geologischer Überblick

Der größte Teil des Untersuchungsgebietes gehört zum Solling. Dieser ist eine einheitlich aufgebaute Buntsandstein-Gewölbestruktur, die in das Silberborner Teilgewölbe und das Volpriehausener Teilgewölbe unterteilt wird (DÖRHÖFER 1991). Im Solling verlaufen Gräben, die bei der Gewölbebildung aufbrachen und dann mit tertiären Sedimenten wieder ver-

füllt wurden (DÖRHÖFER 1991). Die ältesten Sedimente wurden während des Zechsteins abgelagert. Darüber folgen Ablagerungen des Unteren Buntsandsteins. Die nächst jüngeren Schichten wurden während des Mittleren Buntsandsteins abgelagert. Dieser wird noch einmal in vier verschiedene Sedimentationsfolgen untergliedert. Die älteste Schichtenfolge wird als Volpriehausen-Folge bezeichnet. Darüber lagerten sich die Detfurth- und die Hardegsen-

Folge ab. Die jüngsten Schichten des Mittleren Buntsandsteins werden als Solling-Folge bezeichnet. Des Weiteren kommen östlich des Sollings noch Rötablagerungen des Oberen Buntsandsteins vor, über denen und an sie angrenzend sich Muschelkalkablagerungen befinden (RÖHM et al. 2007). Zudem sind Keuperablagerungen vorhanden. Die Schichten der Solling- und auch der Hardeggen-Folge streichen zum Teil an die Oberfläche aus (DÖRHÖFER 1984). Der zentrale Solling besteht vorwiegend aus Gesteinen des Mittleren Buntsandsteins. Es kommen aber auch häufig periglaziale Hang- und Schwemmablagerungen und Fließerdren vor. Diese befinden sich zum größten Teil im Südwesten des Sollings (s. Abb. 24). Bei Holzminden kommen Löss- und Lösslehme, ebenso wie weichselzeitliche Flussablagerungen der Niederterrasse vor. Der Burgberg nördlich von Holzminden besteht aus Sandsteinen des Unteren Buntsandsteins sowie Ton- und Schluffsteinen des Oberen Buntsandsteins. Nach Westen folgen holozäne Flussablagerungen, an die sich Muschelkalkablagerungen anschließen. Nordöstlich des Sollings in Richtung Einbeck befinden sich Tonsteine und Tonmergel des Unterjuras, auf denen weichselkaltzeitliche Löss- abgelagert wurden. Südlich von Stadtoldendorf treten ungegliederte Muschelkalkablagerungen ebenso wie Ablagerungen aus dem Mittleren Buntsandstein und dem Keuper auf. Nördlich von Einbeck treten ebenfalls Muschelkalkablagerungen auf. Ein weiterer Höhenzug im Osten des Untersuchungsgebietes ist die Ahlsburg, welche ebenfalls aus Schichten des Buntsandsteins aufgebaut ist (DÖRHÖFER 1984, 1991).

4.2.1.3 Hydrologischer und hydrogeologischer Überblick

Der Solling ist hydrologisch eine einheitliche Struktur. Die tiefreichenden Störungen erhöhen die Wasserwegsamkeiten im Festgestein (DÖRHÖFER 1984). Die tonigen Schichten im Solling bilden Stauhizonte. Den Hauptgrundwasserleiter im Solling bilden die Solling-Folge (L22), aber auch die sandigen Abschnitte der Hardeggen-Folge (DÖRHÖFER 1991). Die Röttschichten des Oberen Buntsandsteins (H24) bilden, ebenso wie die Tonsteine und Tonmergel des Unterjuras (H19), Grundwasserhemmer. Im Nordosten des Untersuchungsgebietes befinden sich zudem Keuperablagerungen (H20 und H21), die ebenfalls Grundwasserhemmer bilden. Jedoch gibt es in diesen Bereichen auch Grundwasserleiter wie z. B. die Kalksteine des Oberen Muschelkalks (L20; RÖHM et al. 2007).

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Bereich zweier Grundwasserkörper. Den östlichen Bereich nimmt der Grundwasserkörper „Leine mesozoisches Festgestein links 1“ ein. Der westliche Teil des Untersuchungsgebietes gehört zum Grundwasserkörper „Vogeler-Solling-Bramwald“ (s. Abb. 25). Die Abgrenzung der Grundwasserkörper wurde dem „C-Bericht“ der EG-WRRRL entnommen (EG-WRRRL 2005). An der westlichen Grenze des Untersuchungsgebietes befindet sich die Weser, am östlichen Rand die Leine. Vorfluter die sich südlich bzw. südwestlich des Sollings befinden, entwässern in die Weser. Vorfluter, die sich nördlich bzw. nordöstlich des Sollings befinden, entwässern in die Leine.

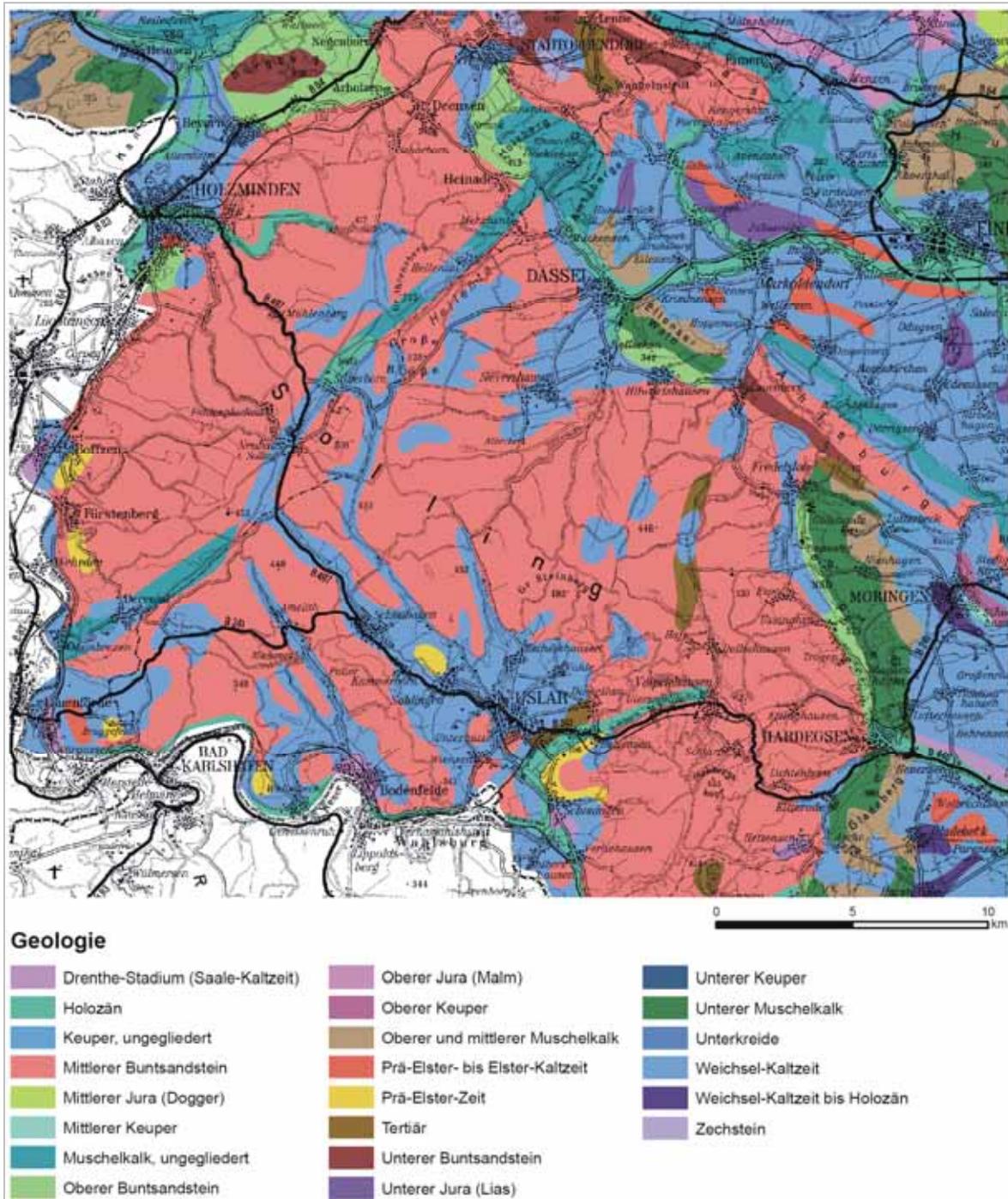


Abb. 24: Übersicht der Geologie im Untersuchungsgebiet II – Solling (GÜK 500, LBEG; verändert).

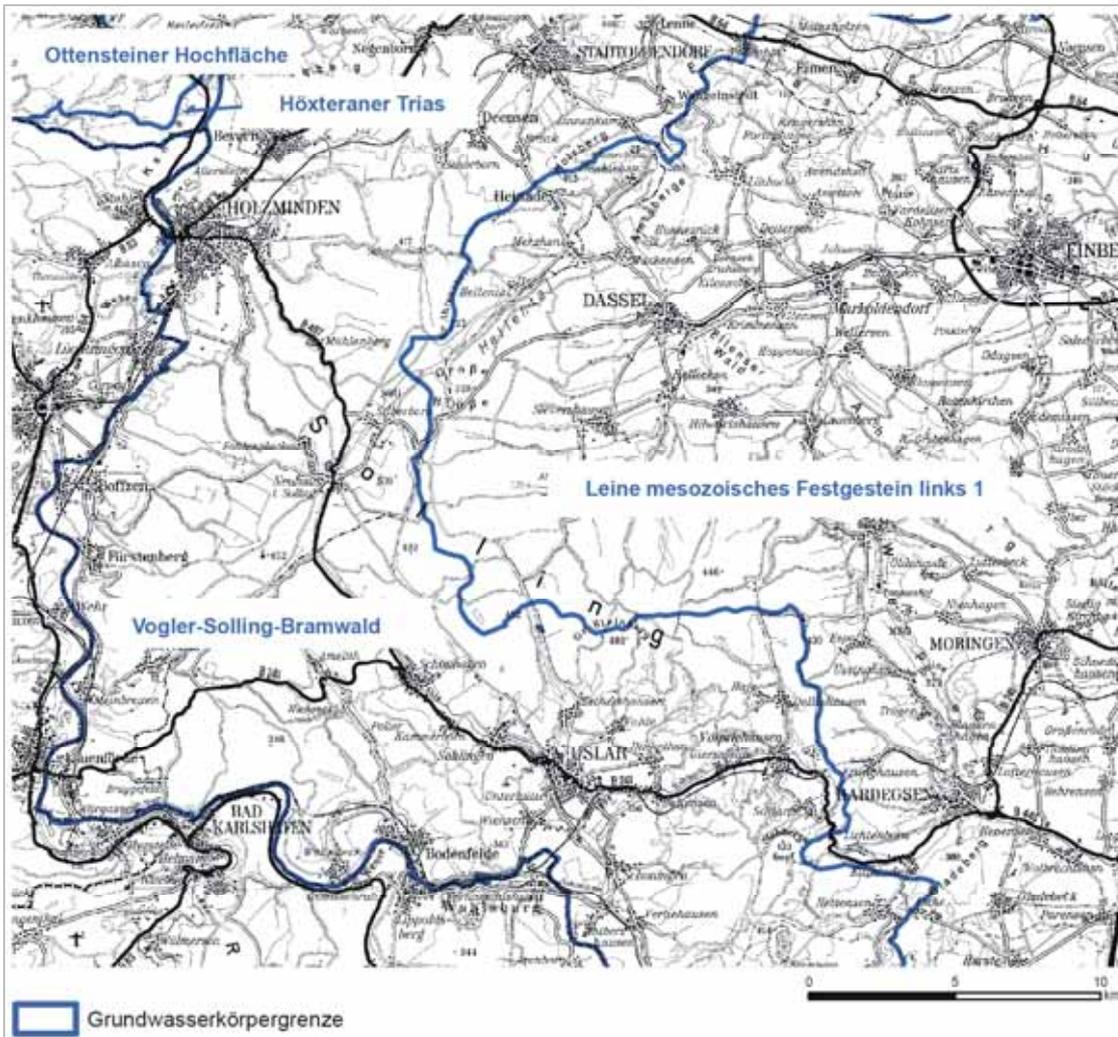


Abb. 25: Lage der Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet II – Solling.

4.2.1.4 Böden

Im Untersuchungsgebiet II – Solling treten vorwiegend Braunerde-Regosole, Pseudogley-Parabraunerden und reine Braunerden als Bodentypen auf. Die Bodentypen, die sich direkt im Solling befinden, sind mittlere Braunerde-Regosole aus Normallehm. Diese haben sich auf den Buntsandsteinablagerungen gebildet. Diese Bodentypen werden im Solling lediglich auf wenigen Teilflächen von tiefen Parabraunerde-Pseudogleyen und nach Südosten von Pseudogley-Braunerden unterbrochen, die sich auf Lössablagerungen ausgebildet haben. Südlich des Sollings, im Gebiet um Uslar, haben sich Pseudogleye entwickelt. Diese treten

auch vorwiegend im östlichen und nordöstlichen Bereich des Untersuchungsgebietes auf. Dieser Bodentyp findet sich ebenfalls bei Holz-minden. Dort ist er jedoch nicht so stark verbreitet. Nordwestlich und westlich des Sollings treten große Flächen mit Braunerden auf. In diesem Bereich sind außerdem große Flächen von Parabraunerde-Pseudogleyen und Pseudogley-Braunerden verbreitet. Westlich des Sollings sind Hochmoorablagerungen zu finden. Die Böden der Ahlsburg bestehen einheitlich aus sehr flachen Braunerde-Rankern die sich über Sandsteinen gebildet haben. Nord-östlich schließen sich Pseudogley-Parabraunerden und flache Rendzinen über Kalkstein an. Diese sind auch südlich von Stadtoldorf

über den Muschelkalkablagerungen zu finden. Daran anschließend treten Braunerde-Regosole auf. Entlang der Weser sind Braunaueböden zu finden (s. Abb. 26).

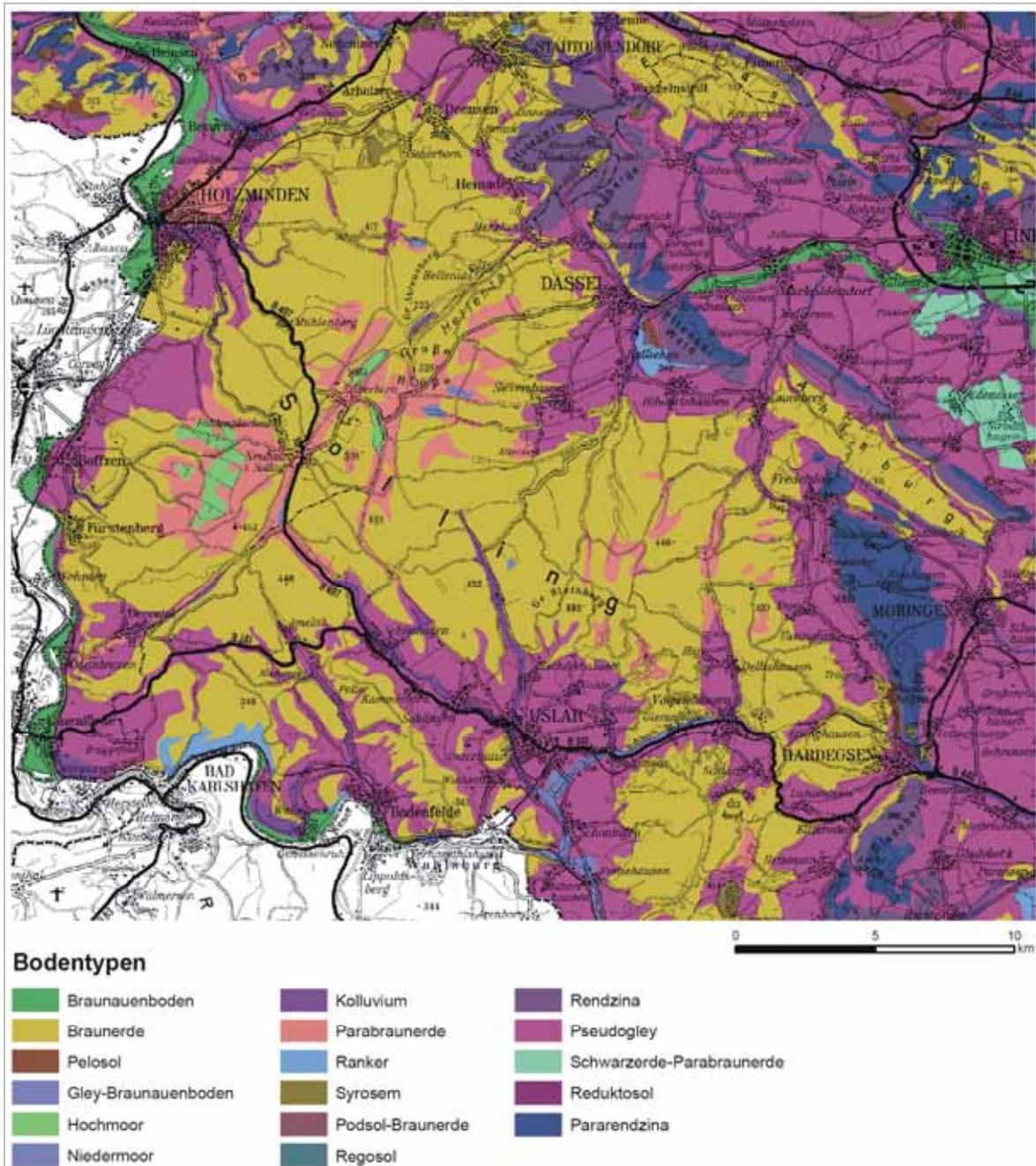


Abb. 26: Übersicht der Bodentypen im Untersuchungsgebiet II – Solling (BÜK 50, LBEG; verändert).

4.2.2 Veränderung der Grundwasserneubildung

Für das Untersuchungsgebiet II – Solling wurde die Grundwasserneubildung ebenfalls für zwei Dreißigjahreszeitspannen berechnet; zum einen für 2071–2100 und zum anderen für den Referenzzeitraum von 1961–1990. Es wurden die Klimastationen Göttingen, Holzminden und Wahlsburg (Hessen) sowie die Niederschlagsstation Dassel verwendet. Der größte Teil des Untersuchungsgebietes wird jedoch der Klimastation Holzminden und zu einem geringeren Anteil der Klimastation Göttingen zugeordnet.

4.2.2.1 Klima

Die Werte für Niederschlag, Temperatur und Grasreferenzverdunstung wurden auch für dieses Gebiet für die Jahre von 1961–1990 und 2071–2100 verglichen. Für die Jahre von 1961–1990 wurden die Klimastationen Göttingen und Holzminden verwendet. Für die Klimastation Göttingen ist ein generierter WETTREG-Datensatz vorhanden. Für die Klimastation Holzminden sind keine WETTREG-Daten vorhanden. Aus diesem Grund wurden für diese Klimastation die Daten der Niederschlagsstation Dassel verwendet. Diese liegt mitten im Untersuchungsgebiet und repräsentiert dieses somit sehr gut. Die Temperaturwerte wurden der Klimastation Wahlsburg in Hessen entnommen. Diese liegt nahe am Untersuchungsgebiet und weist eine ähnliche Höhenlage auf.

4.2.2.2 Niederschlag, Temperatur, FAO-Grasreferenzverdunstung 1961–1990

Für die 30 Jahre von 1961–1990 wurde in Göttingen eine Durchschnittstemperatur von 8,7 °C verzeichnet. Die durchschnittliche Jahrestemperatur über das dreißigjährige Mittel in Holzminden entspricht mit 8,9 °C fast der von Göttingen. Die höchsten Temperaturen wurden bei beiden Klimastationen in den Monaten Juni, Juli und August verzeichnet. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen lagen zwischen 15 und 17 °C. Die niedrigsten Temperaturen sind von Dezember bis Februar verzeichnet worden. Hier liegen die durchschnittlichen Monatstemperaturen zwischen 0 und 2 °C (s. Abb. 28).

Die Jahresniederschlagsmengen unterscheiden sich für die Klimastationen Göttingen und Holzminden um fast 140 mm/a. Holzminden weist mit 790 mm/a die größere Niederschlagsmenge auf. Die Klimastation in Göttingen verzeichnete eine durchschnittliche Niederschlagsmenge von 658 mm/a (s. Abb. 27). Bei beiden Klimastationen fallen die höchsten Niederschlagsmengen sowohl in den Monaten von Mai bis August als auch im Dezember und Januar. Im Juni fiel bei beiden Klimastationen mit ca. 80 mm der meiste Niederschlag. Allerdings fiel im Dezember in Holzminden ebenso viel Niederschlag. Die Station Göttingen verzeichnete im Januar die nächst höheren Niederschlagsmengen. Bei beiden Stationen ist der August ebenfalls ein Monat mit stark erhöhten Niederschlagsraten. Die geringsten Niederschläge sind im Februar und im Oktober zu verzeichnen.

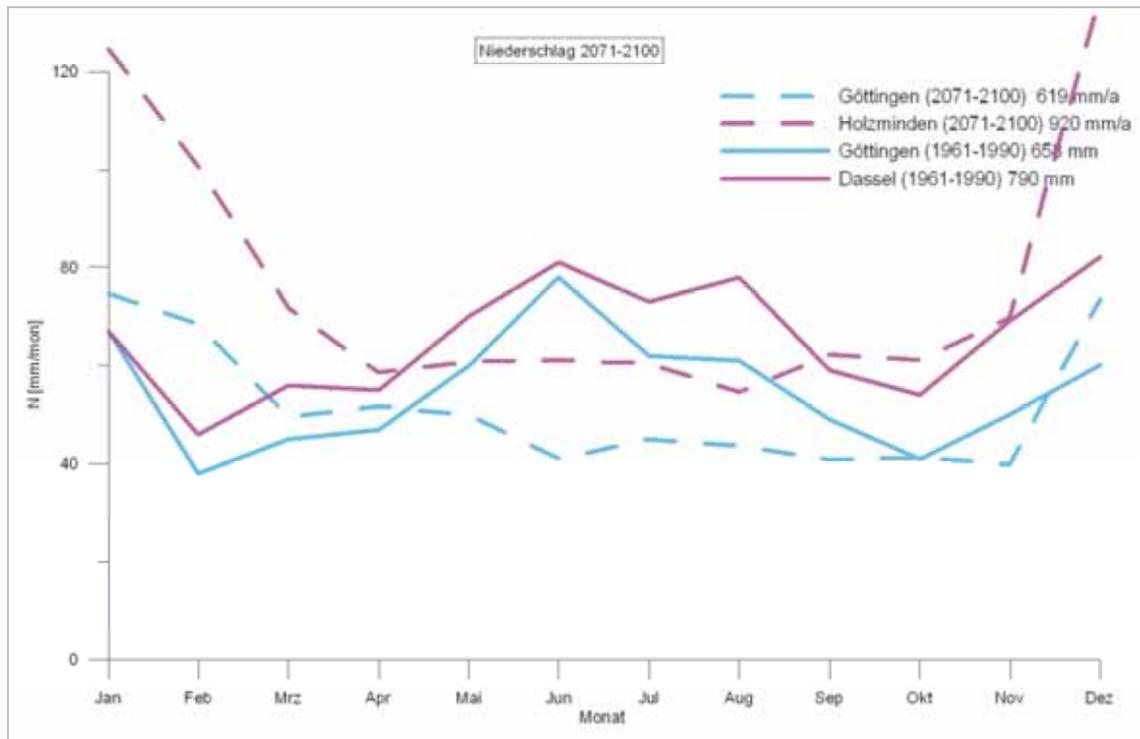


Abb. 27: Veränderung der durchschnittlichen monatlichen Niederschlagsmengen für die Klimastationen Göttingen und Holzminden und die Niederschlagsstation Dassel. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Messwerten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

Die Betrachtung der FAO-Grasreferenzverdunstung lässt einen größeren Unterschied zwischen beiden Klimastationen erkennen. Die Klimastation Göttingen verzeichnet eine Verdunstung von ungefähr 520 mm/a. Im Bereich der Klimastation Holzminden verdunsten ca. 600 mm/a. Die stärkste Verdunstung findet bei beiden Stationen in den Sommermonaten statt. Die geringsten Verdunstungsmengen treten von November bis Februar auf (s. Abb. 29).

4.2.2.3 Niederschlag, Temperatur, FAO-Grasreferenzverdunstung 2071–2100

Gemäß WETTREG-Daten erhöhen sich die Jahresdurchschnittstemperaturen für den Zeitraum von 2071–2100 im Vergleich zu den 30 Jahren von 1961–1990 um 2,4 °C in Göttingen und um 1,9 °C in Wahlsburg. Die Jahresdurchschnittstemperaturen liegen in Göttingen dann bei 11,1 °C und in Wahlsburg bei 10,8 °C (s. Abb. 28).

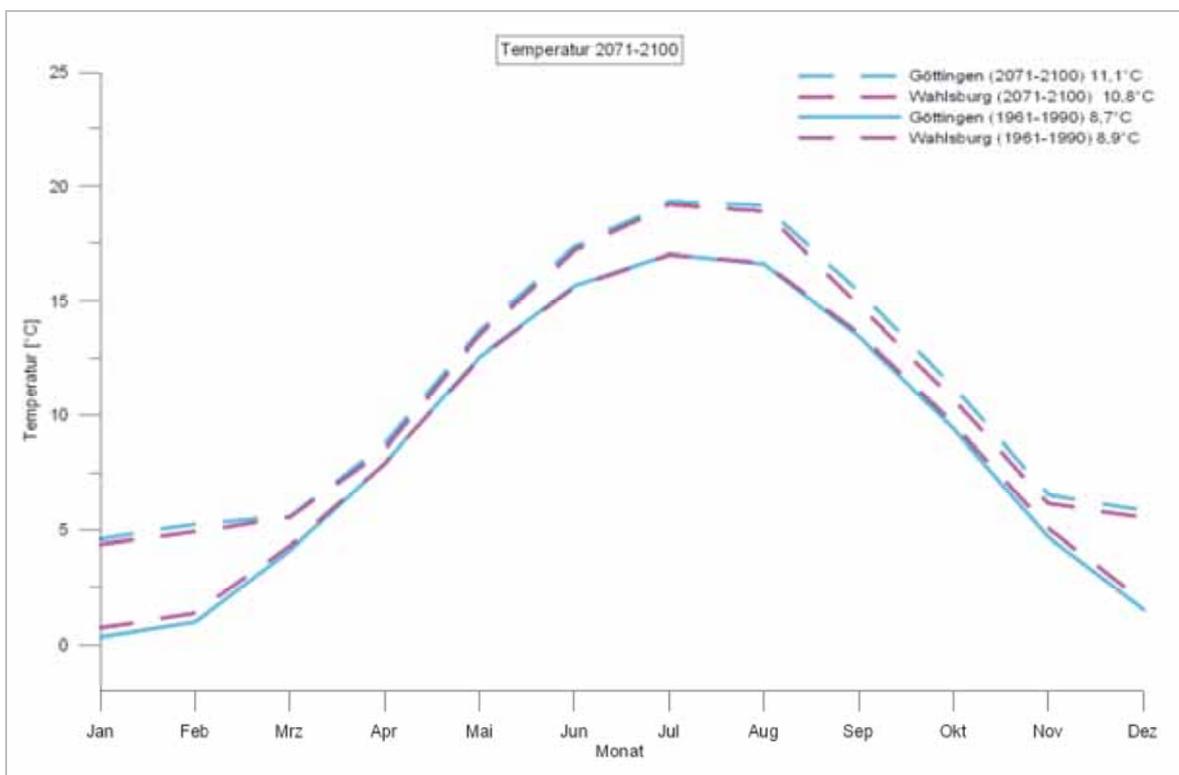


Abb. 28: Veränderung der Monatsdurchschnittstemperaturen für die Klimastationen Göttingen und Wahlsburg (Hessen). Dargestellt ist ein Vergleich von realen Messwerten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

Für die Klimastation Göttingen nehmen die Jahresniederschläge um fast 40 mm/a ab (s. Abb. 27). Von 1961–1990 betrug der Niederschlag fast 660 mm/a. Bei der Niederschlagsstation Wahlsburg ist jedoch eine starke Zunahme der Jahresniederschläge zu verzeichnen. Gemäß WETTREG-Daten nehmen die Niederschläge dieser Station um 130 mm/a zu. Bei beiden Stationen sind die Niederschlagspitzen nun zwischen November und März. In den Monaten von April bis September werden

höchstens 60 mm Niederschlag für die Station Dassel berechnet. Die Niederschlagsstation Göttingen soll in diesen Monaten sogar nur zwischen 40 und 50 mm Niederschlag pro Monat erreichen.

Bei den Werten für die FAO-Grasreferenzverdunstung liegen die beiden Klimastation Göttingen und Wahlsburg wieder sehr nahe beieinander. Beide Stationen weisen Verdunstungswerte von 620 bzw. 630 mm/a auf. Obwohl beide Stationen mit ihren jährlichen Mit-

ten der Verdunstung beieinander liegen, nahm die Verdunstung für den Standort Holzminden um fast 130 mm/a zu (s. Abb. 29). Dies liegt daran, dass für den Zeitraum von 1961–1990 die Werte von Holzminden selbst verwendet

wurden und als Vergleich nun Werte von Wahlsburg verwendet werden. Die höchsten Verdunstungen treten in den Sommermonaten auf.

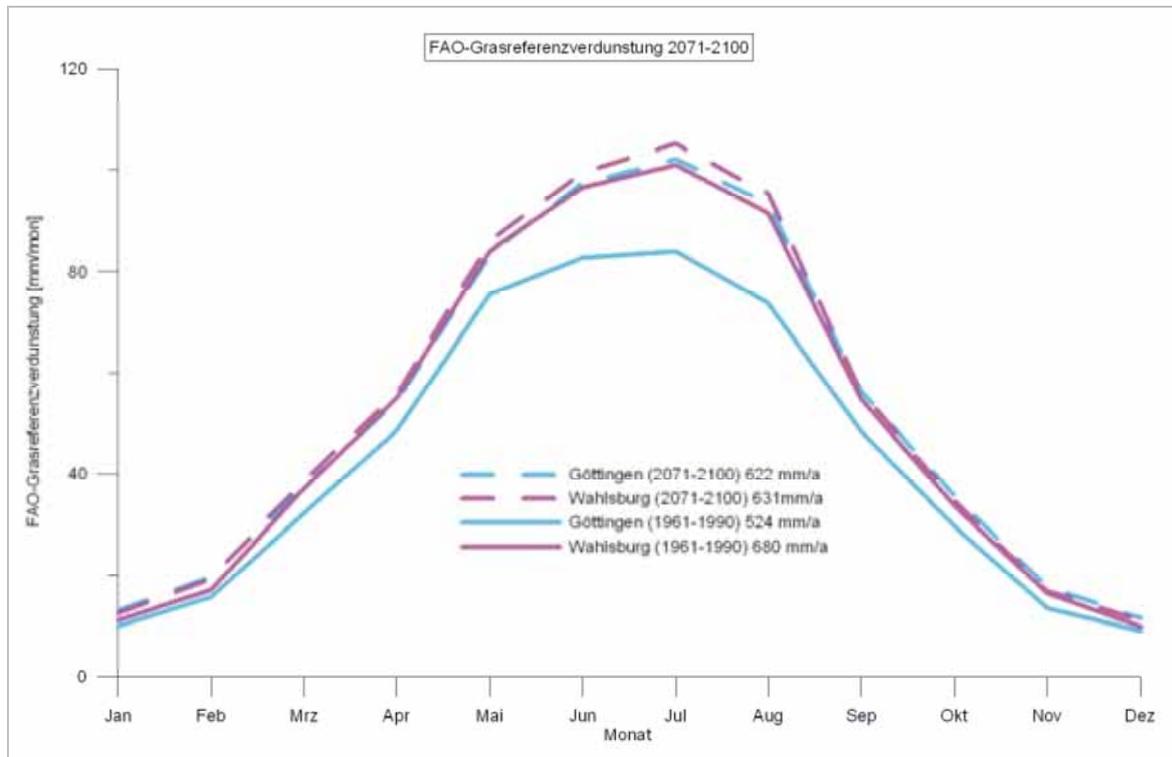


Abb. 29: Veränderung der FAO-Grasreferenzverdunstung für die Klimastationen Göttingen und Wahlsburg (Hessen). Dargestellt ist ein Vergleich von realen Werten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

4.2.2.4 Grundwasserneubildung 1961–1990

Bei der Betrachtung der Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 1961–1990 zeigt sich, dass der Bereich des Sollings und südlich davon eine einheitliche Grundwasserneubildung aufweist. Die Grundwasserneubildung beträgt in diesen Bereichen zwischen 10 und 80 mm/a (s. Abb. 30). Hier fällt zwar eine hohe Niederschlagsmenge, aber durch den hohen Oberflächenabfluss auf Grund des Festgesteins ist die Grundwasserneubildung nicht so hoch, wie bei alleiniger Betrachtung der Niederschläge erwartet werden könnte. Der Oberflächenabfluss wird zwar nicht als direkter Wert bei GROWA06 ausgegeben, jedoch kann er über die Differenz von berechneter Grundwasserneubildung und die Gleichung $rB \cdot (N -$

$V_{real})$ ermittelt werden. Somit fließt diejenige Menge vom Niederschlag oberflächlich ab, die nicht Grundwasserneubildung oder die Differenz aus Niederschlag und realer Verdunstung unter Berücksichtigung vom Basisabfluss ist. Nördlich und nordöstlich des Sollings, also dort, wo die Ablagerungen des Buntsandsteins nicht mehr auskeilen, zeigt sich eine höhere Grundwasserneubildung. Nördlich des Sollings, im Bereich von Dassel, Stadtoldendorf und Holzminden kann die Grundwasserneubildung auf einigen Teilflächen über 300 mm/a betragen. Im östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes werden vorwiegend 150–200 mm, aber auch immer wieder 75–145 mm/a Grundwasser pro Jahr gebildet. Im Bereich der Ahlsburg ist die Grundwasserneubildung mit 75–145 mm/a höher als im Solling, obwohl auch dieser vorwiegend aus Sandstein

aufgebaut ist. Parallel zur Ahlsburg im Nordosten kommt es zu Grundwasserneubildungsraten bis zu 300 mm/a. Zu erwähnen ist des Weiteren das Gebiet um Uslar. Auch hier sind höhere Grundwasserneubildungsraten vorzufinden, die von 75 bis über 300 mm/a reichen. Im gesamten Untersuchungsbereich findet keine Grundwasserzehrung statt.

Die in dieser Arbeit mit GROWA06 berechneten Ergebnisse weichen von den Angaben, die DÖRHÖFER 1984 und 1991 veröffentlichte, ab.

Nach dem von Dörhöfer verwendeten Verfahren beträgt die Grundwasserneubildung im Zentralsolling 250–350 mm/a (DÖRHÖFER 1984, 1991). Ähnliche Ergebnisse der jährlichen Grundwasserneubildung berechnete auch das Programm GROWA98. Lediglich das für diese Arbeit verwendete GROWA06 kommt zu diesen relativ geringen Grundwasserneubildungsraten für den zentralen Solling, bei denen der Großteil der Niederschläge oberflächlich abfließt.

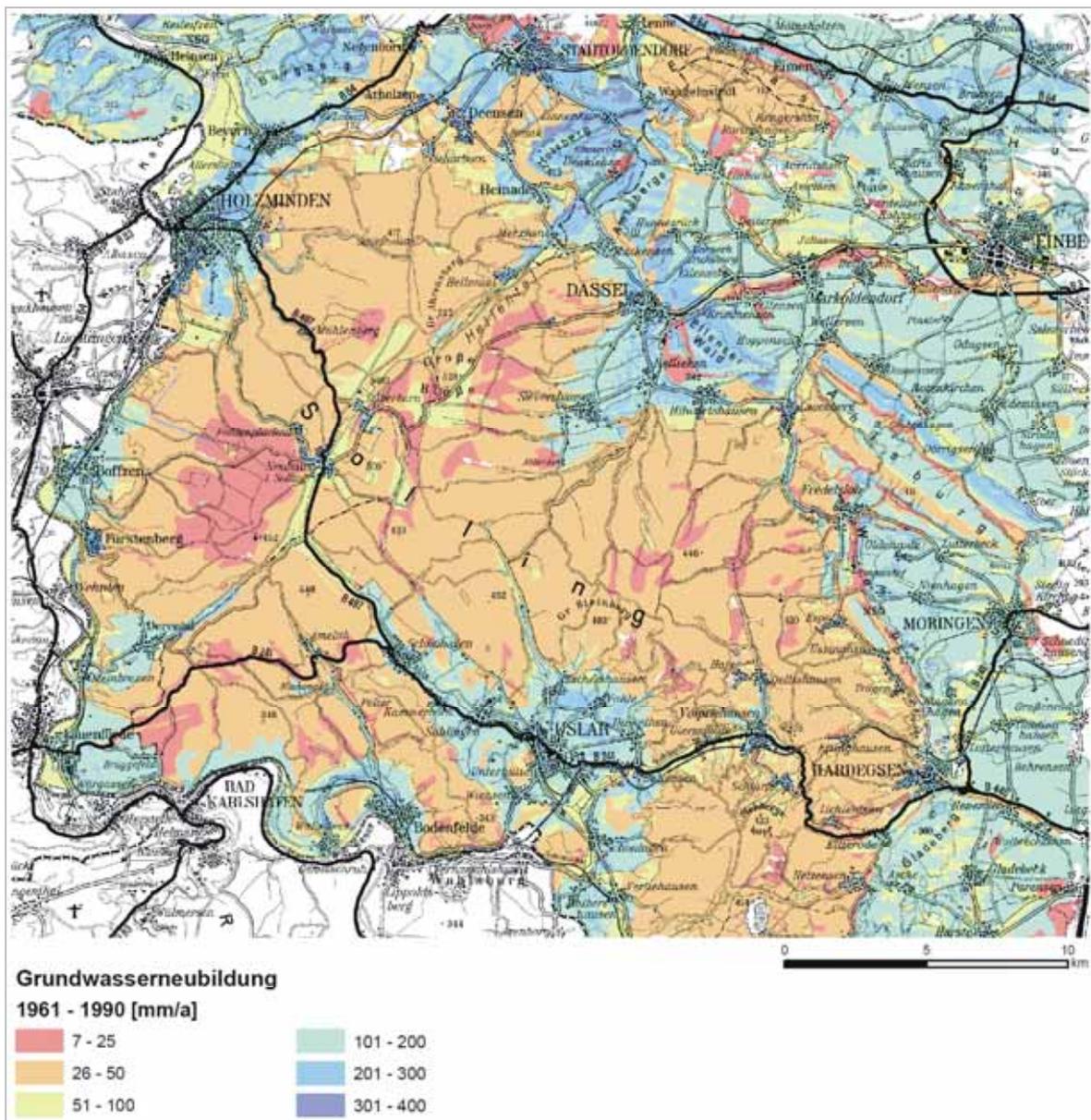


Abb. 30: Grundwasserneubildung von 1961–1990 im Untersuchungsgebiet II – Solling.

4.2.2.5 Veränderung der Grundwasserneubildung

Insgesamt gesehen weist die Veränderung der Grundwasserneubildung nicht so große Unterschiede auf, wie z. B. das Testgebiet der Nordost-Heide. Trotz höherer Niederschläge verändert sich die Grundwasserneubildung im Vergleich zum Zeitraum von 1961–1990 im Großteil des Untersuchungsgebietes nicht. Treten Veränderungen der Grundwasserneubildung auf, so sind es Zunahmen, bis auf einige wenige Teilflächen, die Abnahmen der Grundwasserneubildung anzeigen. Allerdings kommen Teilflächen mit einer Abnahme der Grundwasserneubildung nur als einzelne Flächen zwischen Flächen gleichbleibender Grundwasserneubildung vor, so dass diese Flächen nicht gesondert betrachtet werden, da sie für das gesamte Gebiet nicht von Bedeutung sind.

Im Bereich des Zentralsollings kommt es überwiegend zu keiner Veränderung der Grundwasserneubildung. Allerdings ist südlich der Großen Blöße und auf einigen Flächen um Silberborn eine Zunahme der Grundwasserneubildung um 26–50 mm/a (40 %) möglich. Zu einer leichten Zunahme der Grundwasserneubildung um ca. 20 % kommt es im Bereich der Ahlsburg. Nordöstlich der Ahlsburg steigt die Grundwasserneubildung stärker an. Parallel zur Ahlsburg kommt es zu Zunahmen der Grundwasserneubildung von bis zu 100 mm/a,

meist sind es in diesem Bereich 51–75 mm/a. Nördlich des Sollings (bis Stadtoldendorf), östlich und südlich von Dassel (s. Abb. 31) kommt es laut den GROWA06-Berechnungen zu starken Zunahmen der Grundwasserneubildung, sie betragen 30–40 %, was Zunahmen von 76–110 mm/a entspricht. Diese Flächen werden landwirtschaftlich oder als Grünland genutzt und befinden sich hangabwärts. Mit einer weiteren starken Zunahme der Grundwasserneubildung ist nordwestlich von Einbeck zu rechnen. Hier wird, mit 76–110 mm/a, ungefähr 35–45 % mehr Grundwasser gebildet. Auch hier befinden sich die Flächen hangabwärts, und sie werden als Grünland oder als Ackerfläche genutzt.

Einen weiteren Anstieg der Grundwasserneubildung im Vergleich zu den Jahren von 1961–1990 könnte es nördlich von Holzminden geben. Zwischen Holzminden und Bevern betragen die Zunahmen 76–110 mm/a. Weiter nordwestlich sind zunächst geringere Zunahmen zu verzeichnen. Diese betragen 26–50 mm/a, was ungefähr 46 % der ursprünglichen Grundwasserneubildung entspricht. Auf einigen Teilflächen in diesem Gebiet sollen sich die Zunahmen der Grundwasserneubildung um bis zu 100 mm/a steigern. Östlich von Bevern, im Bereich des Burgberges, kann es zu Zunahmen von 51–75 mm/a kommen. Die starken Zunahmen befinden sich auch hier in Senkenbereichen (s. Abb. 32).

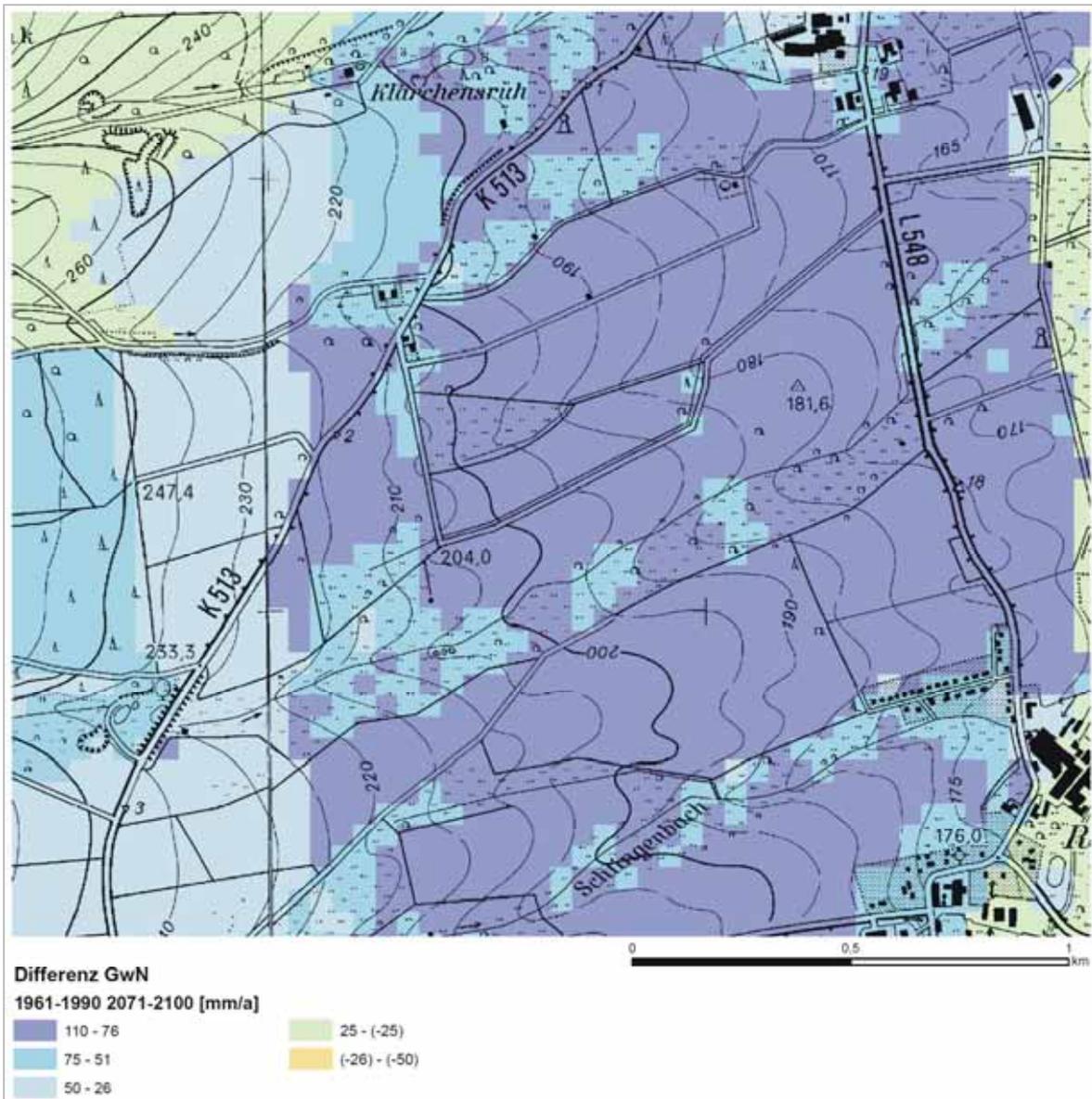


Abb. 31: Detailabbildung der Grundwasserneubildung von 1961–1990 im Untersuchungsgebiet II – Solling, südlich von Dassel.

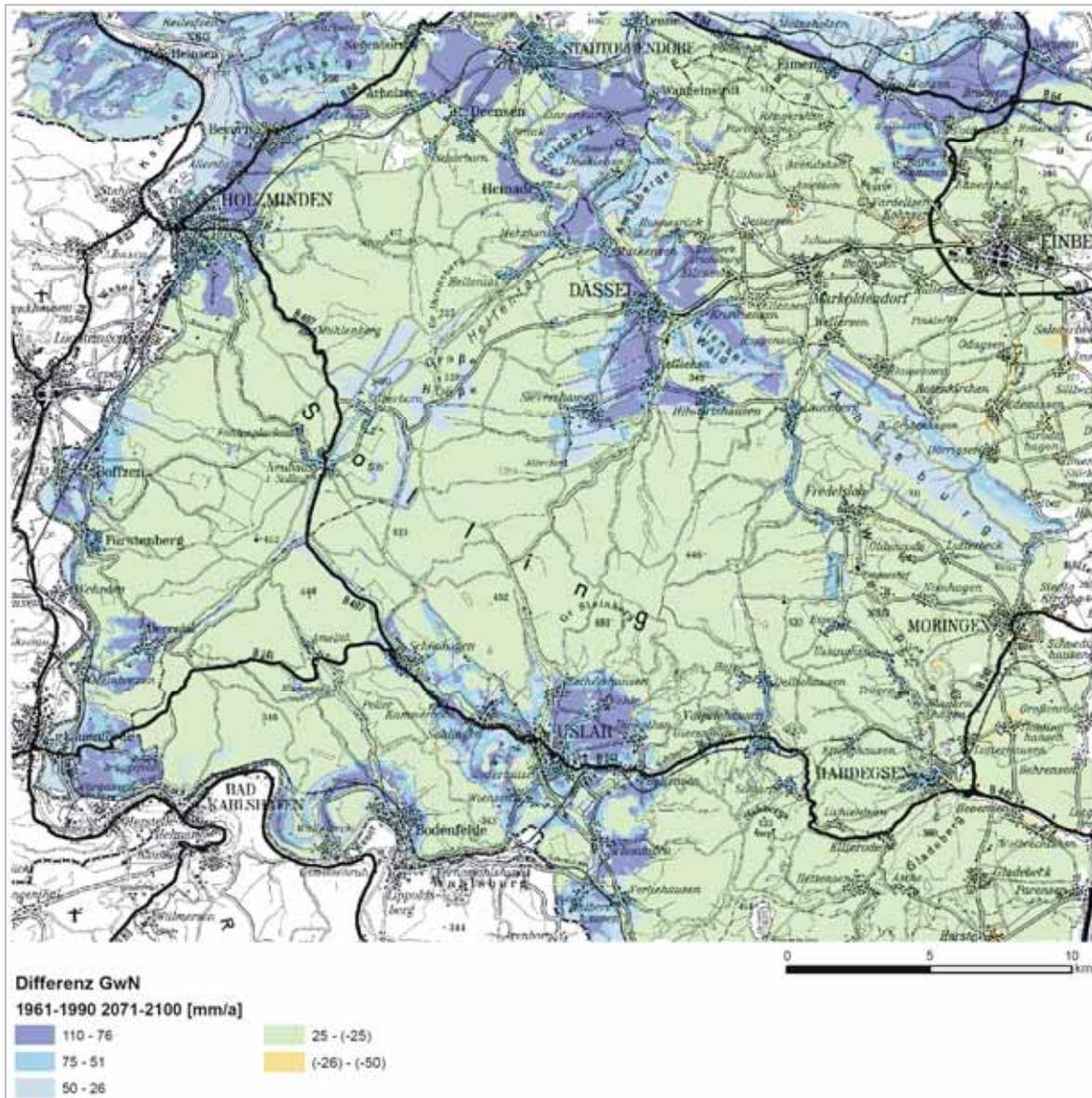


Abb. 32: Differenz der Grundwasserneubildung von 2071–2100 zu 1961–1990 im Untersuchungsgebiet II – Solling.

Zu weiteren Zunahmen der Grundwasserneubildung könnte es entlang der Weser bei Boffzen, Derental und Lauenförde kommen. Bei Boffzen beträgt die Zunahme der Grundwasserneubildung überwiegend 51–75 mm/a. Auf einigen Teilflächen können die Zunahmen auch über 100 mm/a betragen. Auch dieses Gebiet befindet sich hangabwärts. Die Flächen werden als Grün- oder Ackerland genutzt. Auch im Gebiet um Derental nimmt nach den GROWA06-Berechnungen die Grundwasserneubildung zu. Die Zunahmen sind hier sehr hoch; sie betragen 71–100 mm/a. Bei Lauen-

förde kommt es überwiegend zu Zunahmen der Grundwasserneubildung zwischen 50 und 100 mm/a. Diese Flächen liegen hangabwärts und werden landwirtschaftlich genutzt. Eine weitere großflächige Zunahme der Grundwasserneubildung des dreißigjährigen Mittels von 2071–2100 befindet sich im Süden des Untersuchungsgebiets im Bereich um Uslar. Hier betragen die Zunahmen der Grundwasserneubildung 40–45 % (76–110 mm/a). Südlich und westlich von Uslar sind ebenfalls noch Zunahmen der Grundwasserneubildung zu verzeichnen. Diese betragen dann mehrheitlich 51–

75 mm/a und auf einzelnen Teilflächen 26–50 mm/a.

4.2.3 Zusammenfassung

Die Grundwasserneubildung verändert sich in diesem Untersuchungsgebiet zum größten Teil nicht; vor allem nicht direkt über dem Sollinggewölbe, wo es keine tiefgründigen Böden gibt und das Grundwasser sich nur in Klüften fortbewegen kann. Der überwiegende Anteil des Niederschlags fließt auf Grund der geringen Grundwasserneubildungsraten von GROWA06 oberflächlich ab. Nochmals sei an dieser Stelle auf den Unterschied von GROWA06 zu den Berechnungen von Dörhöfer hingewiesen, was zum hier interpretierten Ergebnis des hohen Oberflächenabflusses führt. Aus diesem Grund ist die Zunahme der Niederschläge bei diesen Flächen von nicht so großer Bedeutung, so dass die Grundwasserneubildung über den Zeitraum von 2071–2100 ähnlich der Grundwasserneubildung im Vergleichszeitraum von

1961–1990 sein wird. In den tiefer liegenden Gebieten dieses Untersuchungsgebietes nimmt die Grundwasserneubildung sehr stark zu. Aber auch hier ist immer noch ein hügeliges Relief vorhanden. Diese Flächen werden als Grün- oder Ackerland genutzt. Bei einer Veränderung der Geologie vom Buntsandstein zu Muschelkalken bzw. eiszeitlichen Sanden nimmt die Grundwasserneubildung ebenfalls stark zu (s. Abb. 33). Die Böden hier sind zum Beispiel Pseudogley-Parabraunerden, die schon tiefgründiger sind und sich über Lössen gebildet haben. Die Veränderung der Niederschläge und der Temperatur und somit auch der Verdunstung wirken sich in diesem Untersuchungsgebiet nur auf Flächen aus, die auf höher entwickelte Böden liegen. Von entscheidender Bedeutung für die Grundwasserneubildung ist, dass es sich um ein Festgesteinsgebiet handelt, denn die Grundwasserneubildung bleibt in den Bereichen vorwiegend gleich, wo Festgestein oberflächennah ansteht. Außerdem ist die Lage der Flächen entscheidend, da es im Tal zur höheren Grundwasserneubildungsraten kommt, als an den Hängen.

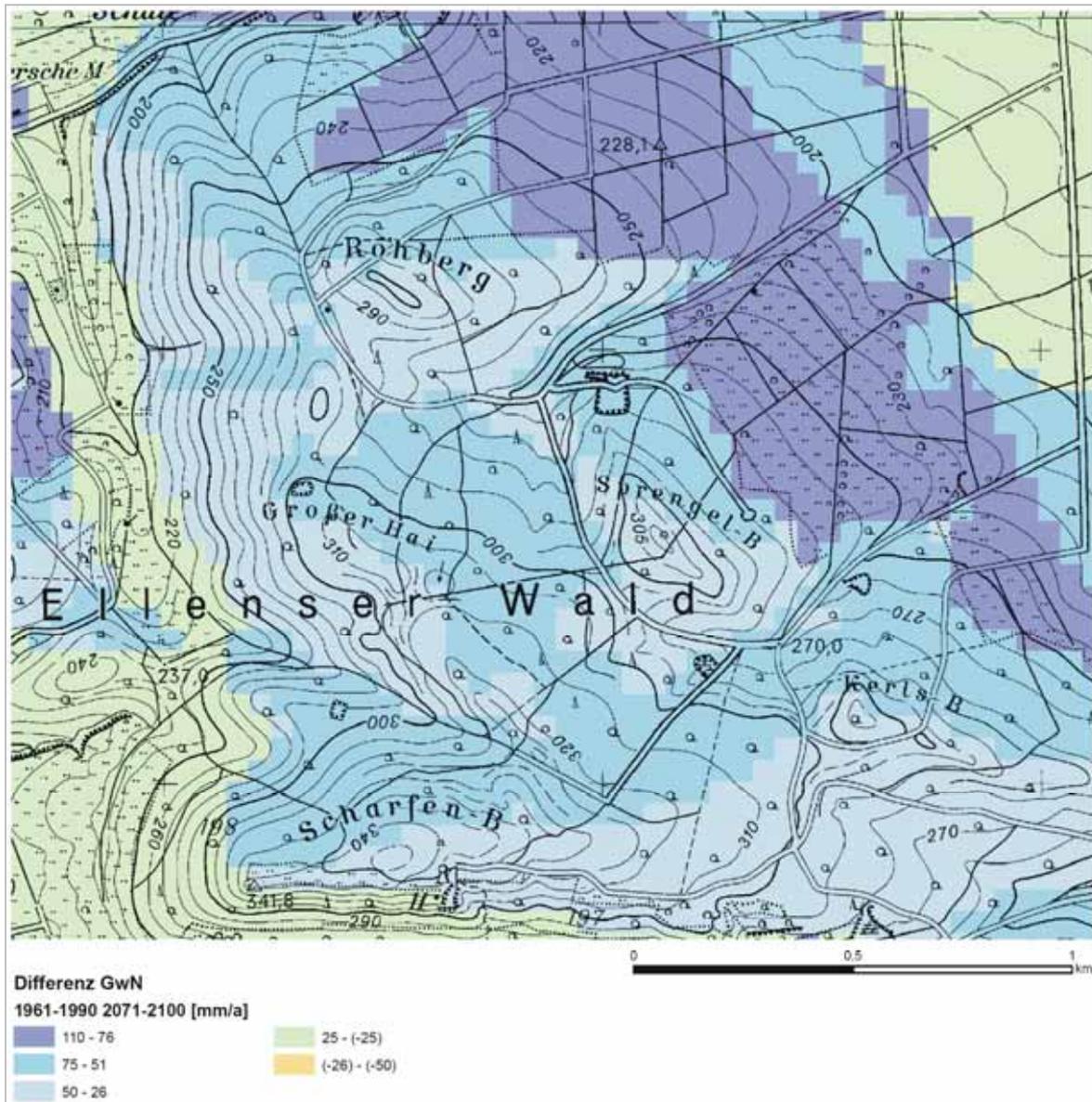


Abb. 33: Detailabbildung der Grundwasserneubildung von 1961–1990 im Untersuchungsgebiet II – Solling, südöstlich von Dassel im Ellenser Wald.

4.3 Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest

4.3.1 Allgemeines

Das Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest wurde gewählt, weil es nahe der Küste liegt und damit ein maritimes Klima aufweist. Die Niederschläge dieses Gebietes sind nicht so stark jahreszeitlich geprägt, wie in den anderen beiden Untersuchungsgebieten. Es sind zwar trockene und feuchte Perioden zu erken-

nen, jedoch bleiben die Niederschlagsmengen über das Jahr hinweg größtenteils ähnlich. Bei den Szenariendaten wird dann jedoch eine Tendenz zu höheren Winterniederschlagsmengen deutlich. Die überwiegende Anzahl der Flächen wird in diesem Untersuchungsgebiet als Grünland genutzt. Untersuchungsgebiet III weist eine durch eine große Anzahl von Gräben und Bächen hohe Fließgewässerdichte (s. Abb. 34) auf. Durch die Gräben werden Flächen drainiert, da hier geringe Grundwasserflurabstände vorherrschen.

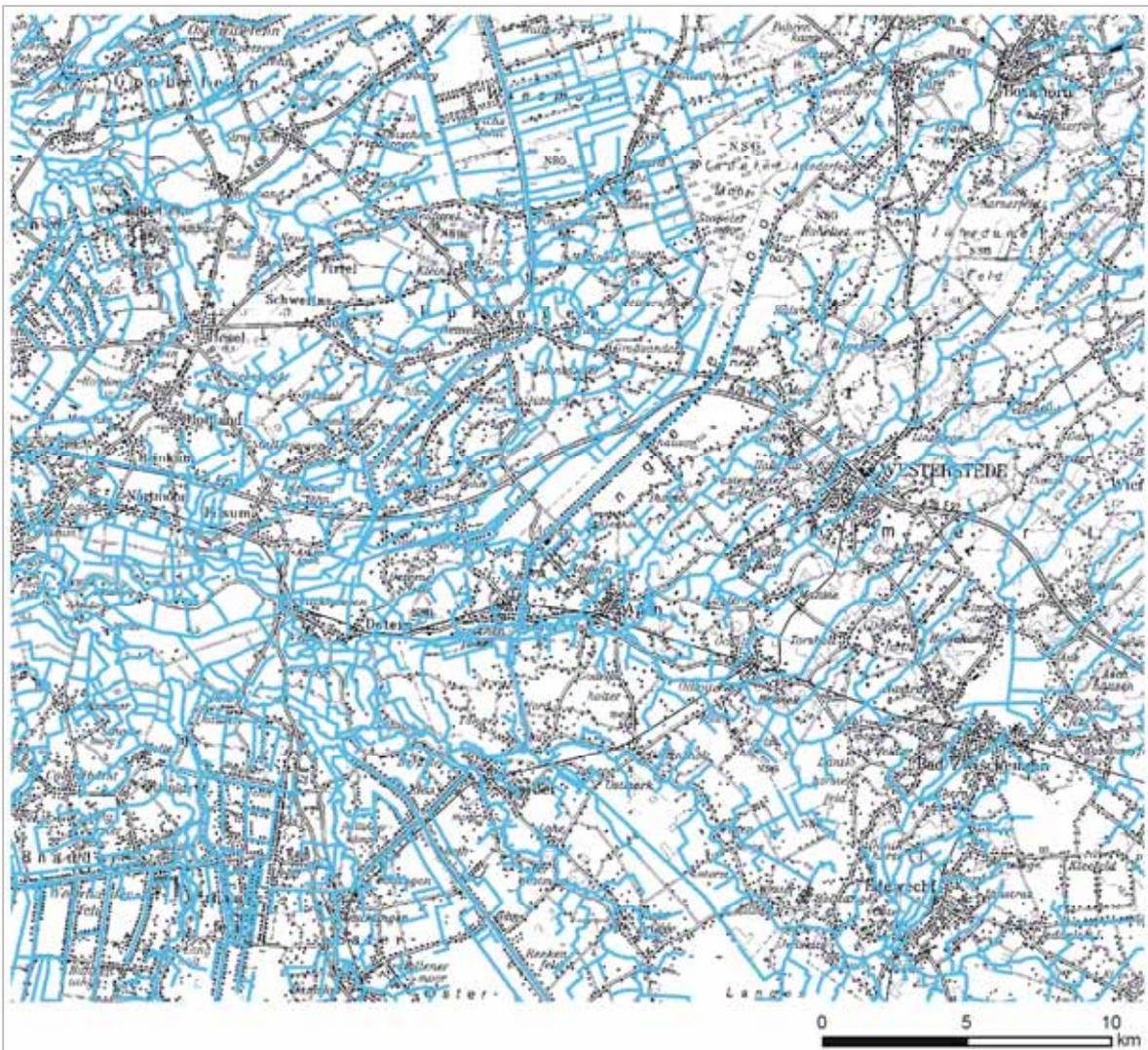


Abb. 34: Fließgewässernetz im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest.

4.3.1.1 Geografischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest befindet sich in der nordwestdeutschen Tiefebene. Es ist auf folgenden TK 25-Blättern zu finden: 2811–2814, 2711–2714 und 2611–2614. Das Untersuchungsgebiet wird vorwiegend als Grünland genutzt. Es ist von vielen

kleinen Ortschaften und Siedlungen geprägt, die sich über das gesamte Gebiet verteilen; zu erwähnen sind Bockhorn im Nordosten, Westerstede im Westen und Uplengen im zentralen Untersuchungsgebiet (s. Abb. 1). Das Relief dieses Untersuchungsgebietes ist fast eben, da selten Höhen über 30 m ü. NN erreicht werden.

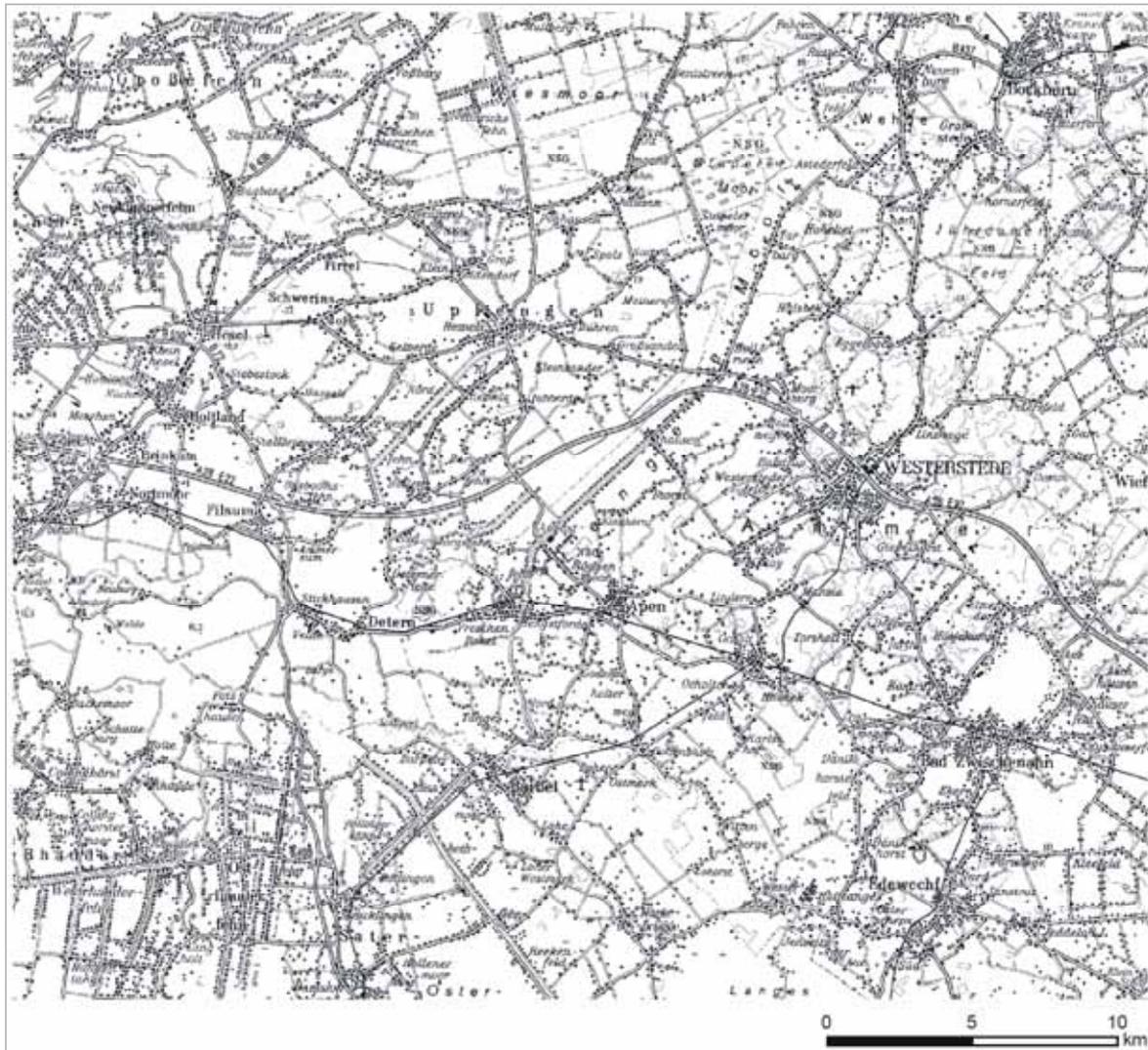


Abb. 35: Topografische Übersicht des Untersuchungsgebiets III – Oldenburger Geest (Ausschnitt aus der Topografischen Karte 1 : 200 000, Blatt CC 3110; BKG).

4.3.1.2 Geologischer Überblick

Untersuchungsgebiet III ist ebenso wie Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide eiszeitlich geprägt. Es treten zwar immer wieder die gleichen Ablagerungen im Untersuchungsgebiet auf, jedoch auf kleineren Flächen, die immer wieder von anderen Ablagerungen unterbrochen werden. Durch das komplette Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest ziehen sich immer wieder weichselkaltzeitliche Flugsandablagerungen. Der Süden des Untersuchungsgebietes ist vorwiegend durch großflächige Torfablagerungen (Hochmoor) des Holozäns geprägt (s. Abb. 36). Auch im Norden des Untersuchungsgebietes finden sich größere Flächen mit diesen Torfablagerungen. Im Süden werden die Torfablagerungen außer von Flugsandablagerungen von Sand- und Kiesablagerungen der Weichsel-Kaltzeit unterbrochen. Von Westen nach Osten ziehen zudem noch Torf und zum Teil Muddeablagerungen des Holozäns fingerförmig durch das Untersuchungsgebiet, die jedoch Niedermoor- und zum Teil Seeablagerungen sind. Im Westen des Untersuchungsgebietes erstreckt sich zudem eine große Fläche mit holozänen Schluffen. Von Nordwesten nach Osten ziehen sich Geschiebelehme und -mergel. Diese wurden als Grundmoränen während des Drenthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit abgelagert. Während der Weichsel-Kaltzeit haben sich in diesem Bereich immer wieder Flugsande abgelagert. Weiter nordöstlich treten Schmelzwasserablagerungen des Drenthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit auf. In diesem Bereich sind die ältesten Ablagerungen des Untersuchungsgebietes zu finden. Es sind Beckenablagerungen (Lauenburger Ton) aus der Elster-Kaltzeit. Im nordöstlichen Bereich des Untersuchungsgebietes liegt ein Teil des Geologischen Schnittes „Jade Lockergestein links S2“ (RÖHM et al. 2007). Hier wird sichtbar, dass sich im Nordosten des Untersuchungsgebietes, also südsüdwestlich des Schnittes, nahe der Oberfläche die elsterkaltzeitlichen Beckenablagerungen befinden. Wie die Schnitte zeigen, ist das Quartär hier nicht so mächtig wie in dem Bereich Niedersachsens, wo sich das Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide befindet. Jedoch sind auch im Bereich der Oldenburger Geest elsterkaltzeitliche Rinnen in pliozäne Sandablagerungen erodiert.

4.3.1.3 Hydrologischer und hydrogeologischer Überblick

Der größte Teil des Untersuchungsgebietes III – Oldenburger Geest wird dem Grundwasserkörper „Leda-Jümme Lockergestein rechts“ zugeordnet. Den Südwesten des Untersuchungsgebietes nimmt der Grundwasserkörper „Leda-Jümme Lockergestein links“ ein. Der Nordwesten des Untersuchungsgebietes wird dem Grundwasserkörper „Untere Ems rechts“ zugeordnet und der nordöstliche Teil dem „Grundwasserkörper Jade Lockergestein links“ (s. Abb. 37). Für diesen Grundwasserkörper existieren bereits drei hydrostratigrafische Schnitte, wovon der Schnitt „Jade Lockergestein links S2“ sich zur Hälfte direkt im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest befindet (RÖHM et al. 2007). Im Südwesten wird noch ein Teil des Untersuchungsgebietes vom Grundwasserkörper „Hunte Lockergestein links“ eingenommen. Die Abgrenzung der Grundwasserkörper ist im „C-Bericht“ der EG-WRRL dargestellt (EG-WRRL 2005).

Die mächtigsten Grundwasserleiter in diesem Gebiet bilden zum einen die glazifluviatilen Sande und Kiese der Elster-Kaltzeit (L4.1) und zum anderen pliozäne Sande (L4.3). Einen weiteren wichtigen Grundwasserleiter bilden elsterkaltzeitliche Rinnenfüllungen (L4.2). Die quartären Ablagerungen sind von Beckenablagerungen durchzogen, die Grundwasserhemmer bilden (H4). An der Basis der pliozänen Sande befinden sich als Grundwasserhemmer Tone und Schluffe aus dem Tertiär und dem Miozän (H4.3 und H5), die zum Teil auch linsenförmig in den Sandablagerungen zu finden sind. Das Gebiet ist durch zahlreiche Gräben und Kanäle geprägt. Diese wurden künstlich angelegt, um die Nieder- und Hochmoorflächen, die in der Region sehr häufig vorkommen, trocken zu legen (MEYNEN 1953–62). Die Kanäle dieses Gebietes entwässern über Leda und Aue in die Ems und somit in die Nordsee. Im Südosten des Untersuchungsgebietes befindet sich das Zwischenahner Meer.

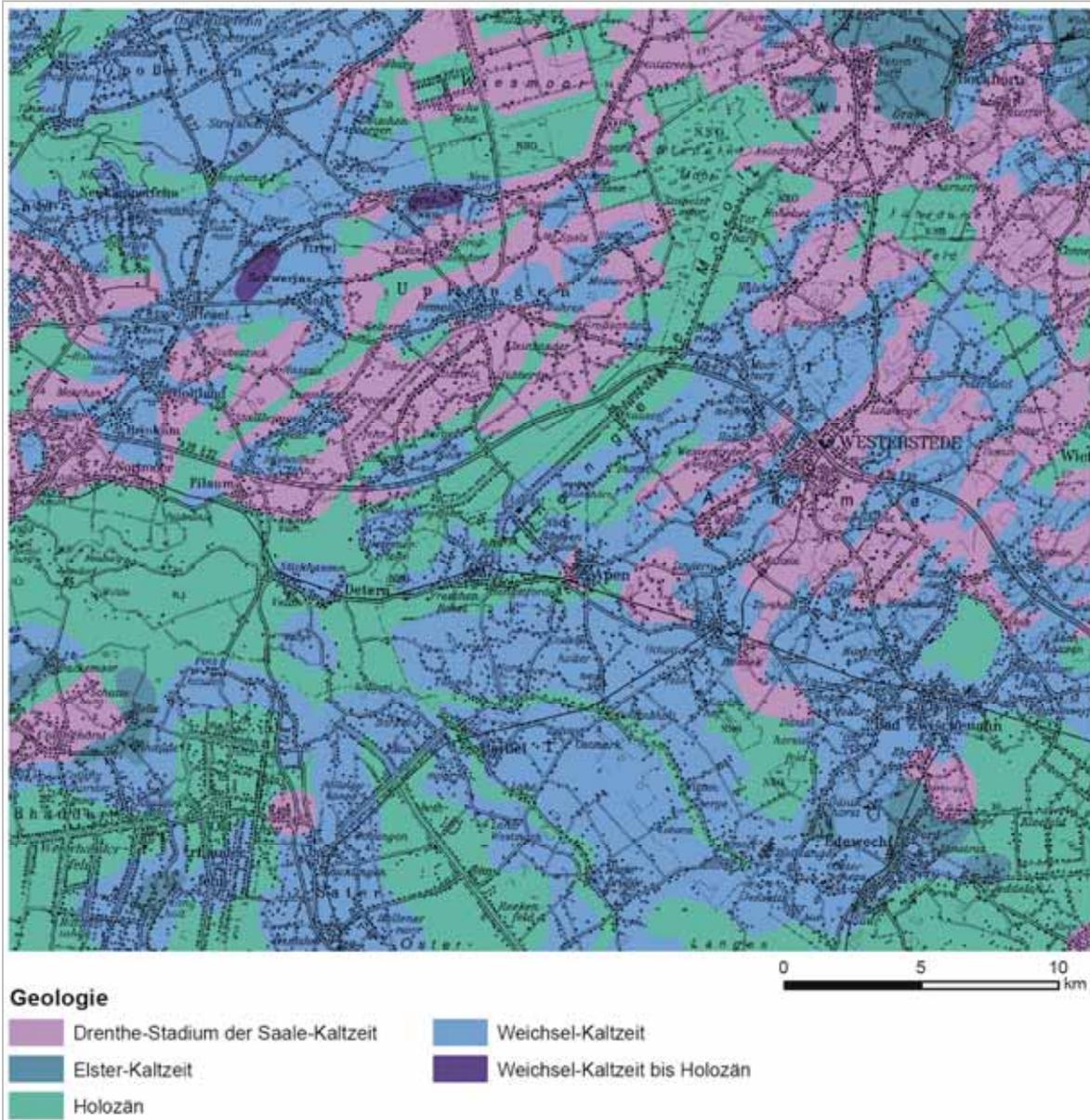


Abb. 36: Übersicht der Geologie im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest (GÜK 500, LBEG; verändert).

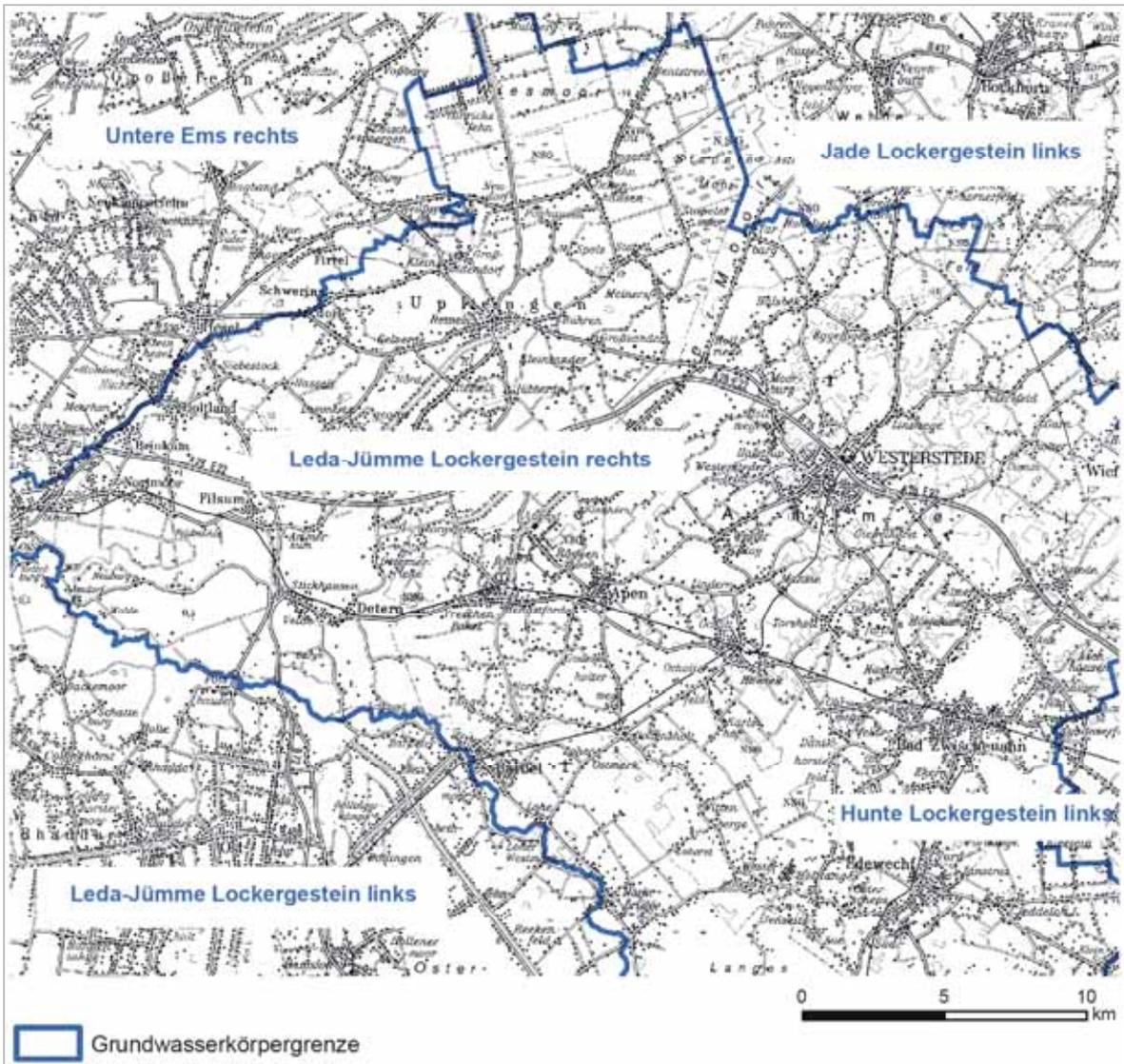


Abb. 37: Lage der Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest.

4.3.1.4 Böden

Im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest kommen hauptsächlich tiefe Hoch- und Niedermoorböden, Gleye, Podsole und Pseudogleye vor (s. Abb. 38). Diese sind über das gesamte Untersuchungsgebiet von teilweise sehr kleinräumig bis großflächig verteilt. Auf einigen Flächen kommen grundwasserbeeinflusste Bodentypen vor. Durch Entwässerung können fossile Gleye vorhanden sein (MEYNER 1953–62). Die größten zusammenhängenden Flächen, vor allem im Norden des Untersuchungsgebietes, aber auch im Süden, bilden tiefe Hochmoorböden, deren Torfablagerungen

aus dem Holozän stammen. Über den Flussablagerungen der Niederterrasse (Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit) haben sich vorwiegend Gley-Podsole aus Reinsand gebildet, die teilweise an Umbruchböden grenzen. Die Gley-Podsole haben sich im Nordosten des Untersuchungsgebietes auch über den Schmelzwasserablagerungen des Drenthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit gebildet; im östlichen Bereich zum Teil auch auf den weichselkaltzeitlichen Flugsandablagerungen und auf den Geschiebelehmen und -mergeln der Drenthe-Grundmoränen. Im Westen des Untersuchungsgebietes haben sich über den fluviatilen Gezeitenablagerungen Niedermoore

mit Organomarschauflage gebildet. Über den Flugsandablagerungen der Weichselkaltzeit haben sich größere Flächen mit Pseudogley-Podsolen gebildet. Im Zentrum des Untersuchungsgebietes, über den Geschiebelehmen

und -mergeln der Drenthe-Grundmoränen, ergibt sich eine sehr heterogene Verteilung der Bodentypen. Hier wechseln sich Gley-Podssole, Pseudogley-Podssole, Podsole und Niedermoorböden ab.

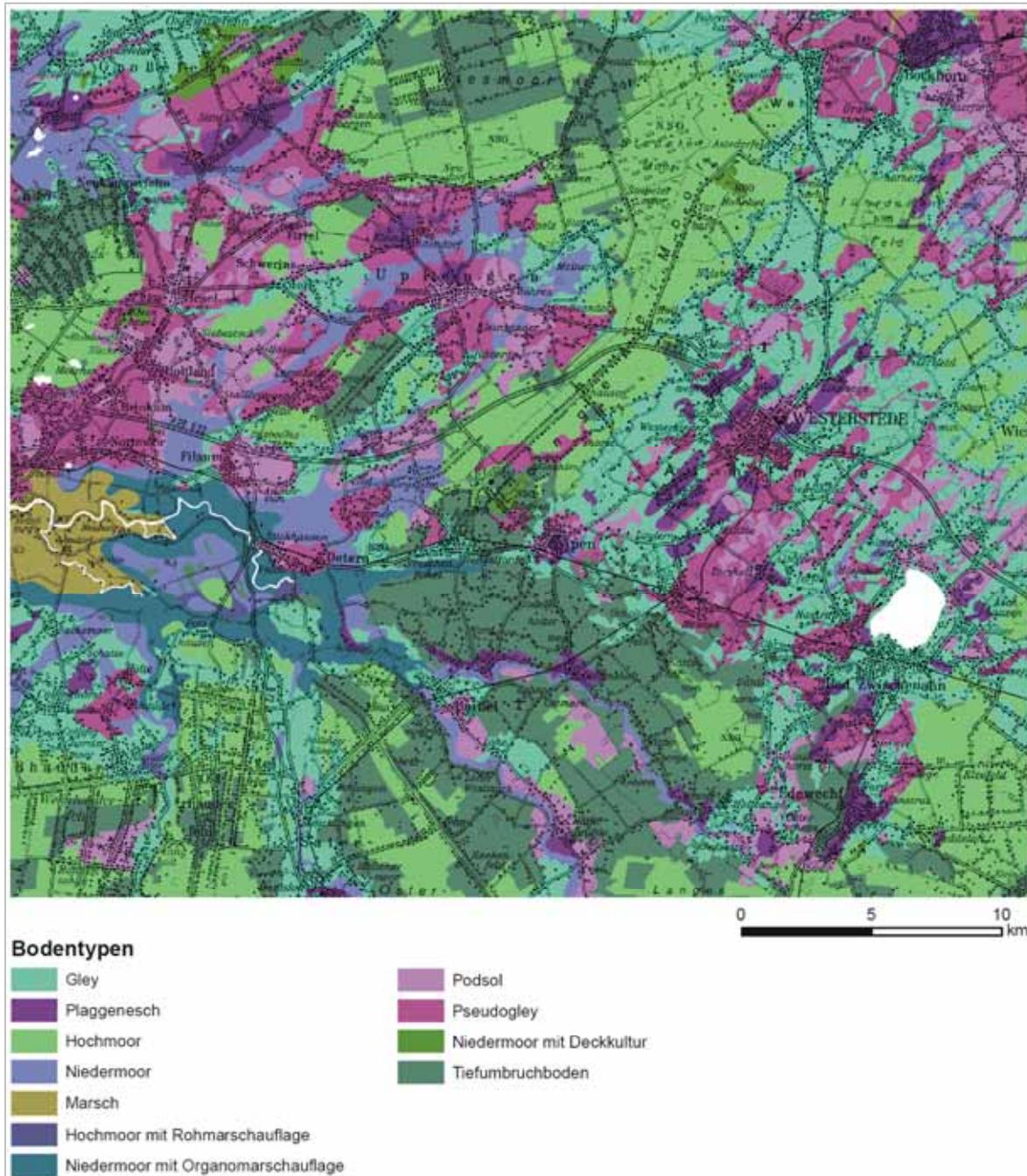


Abb. 38: Übersicht der Bodentypen im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest (BÜK 50, LBEG; verändert).

4.3.2 Veränderung der Grundwasserneubildung

Auch für das Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest wurde die Grundwasserneubildung sowohl für den Referenzzeitraum von 1961–1990 als auch für den Zeitraum von 2071–2100 berechnet. Direkt für das Untersuchungsgebiet herangezogen wurden die Daten der Klimastationen Aurich, Friesoythe und Jever. Die Klimastation Emden ist für dieses Gebiet ebenfalls von Bedeutung. Jedoch existieren für diese Klimastation keine Werte bei den WETTREG-Daten. Für diese Station wurden die Werte der Klimastation Aurich verwendet. Zur möglichen Entwicklung des Klimas dieser Region werden die Klimastationen Aurich, Jever und Friesoythe näher betrachtet.

4.3.2.1 Klima

Für das Untersuchungsgebiet III wurden die Werte für Niederschlag, Temperatur und Grasreferenzverdunstung in den zwei Dreißigjahreszeitspannen näher betrachtet: zum einen gemessene Werte (bzw. Berechnung der Grasreferenzverdunstung aus gemessenen Werten) von 1961–1990 und zum anderen die generierten WETTREG-Daten für den Zeitraum von 2071–2100. Auf Grund der küstennahen Lage des Untersuchungsgebietes III – Oldenburger Geest ist das Klima maritim.

4.3.2.2 Niederschlag, Temperatur, FAO-Grasreferenzverdunstung 1961–1990

Für den Zeitraum von 1961–1990 ergab sich für Aurich eine mittlere Jahrestemperatur von 8,4 °C. Mit 8,5 °C über das dreißigjährige Mittel verzeichnete Jever eine fast ebenso hohe Jahresdurchschnittstemperatur (s. Abb. 40). Die Klimastation Friesoythe wies mit einer mittleren Jahrestemperatur von 8,7 °C den höchsten Wert der drei Klimastationen auf. Die höchsten mittleren Monatstemperaturen wurden im Juni, Juli und August verzeichnet. Die monatlichen Durchschnittstemperaturen dieser drei Monate über die 30 Jahre lagen ungefähr zwischen 15 und 16 °C. Die niedrigsten mittleren Temperaturen ergaben sich für die Monate Dezember, Januar und Februar.

Bei der Betrachtung der Niederschlagsmenge für den Zeitraum von 1961–1990 zeigt sich, dass alle drei betrachteten Klimastationen eine ähnliche Niederschlagsmenge aufweisen: in Aurich fielen 787 mm/a, in Jever 784 mm/a und in Friesoythe 777 mm/a (s. Abb. 39). Die niederschlagsreichsten Monate waren in Aurich die Monate von Juni bis Dezember. Pro Monat fielen ungefähr zwischen 70 und 80 mm Niederschlag. Die Klimastation Jever verzeichnete in den Monaten von Juni bis November Niederschläge in Höhe von ungefähr 70–80 mm pro Monat. Die Klimastation Friesoythe verzeichnete die höchsten Niederschlagsmengen in den Monaten Juni, Juli, August und November/Dezember. Es fielen in diesen Monaten ungefähr 70 mm Niederschlag pro Monat. Die niederschlagsärmsten Monate waren bei allen drei Klimastationen Februar und April. Hier fielen lediglich 40 mm Niederschlag pro Monat.

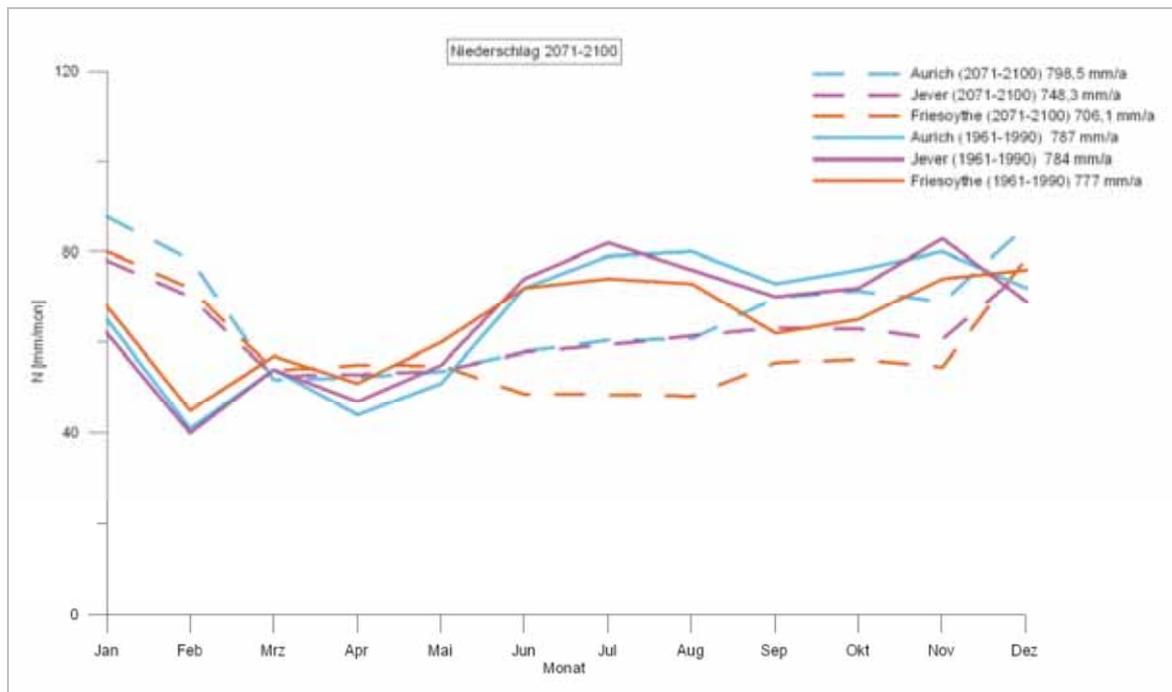


Abb. 39: Veränderung der durchschnittlichen monatlichen Niederschlagsmengen für die Klimastationen Aurich, Jever und Friesoythe. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Messwerten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

Auch bei der FAO-Grasreferenzverdunstung liegen die Werte bei den drei betrachteten Stationen nahe beieinander. Dies korreliert mit der Verteilung der Jahresdurchschnittstemperaturen. In den Monaten Mai bis August war die Verdunstung am höchsten. Zu den geringsten Verdunstungsmengen kam es in den Monaten von November bis Februar (s. Abb. 41).

4.3.2.3 Niederschlag, Temperatur, FAO-Grasreferenzverdunstung 2071–2100

Gemäß WETTREG-Daten erhöhen sich die Temperaturen der drei Klimastationen Aurich, Jever und Friesoythe um ca. 2,5 °C im Vergleich zum Referenzzeitraum von 1961–1990 (s. Abb. 40). Somit steigen in Jever und Friesoythe die Jahresdurchschnittstemperaturen auf etwa 11 °C bzw. 13 °C und in Aurich auf 10,8 °C an. Am stärksten wirkt sich die Temperaturerhöhung auf die Monate Dezember bis Februar aus. Hier liegen die monatlichen Durchschnittstemperaturen bei ca. 5 °C. Dieses sind die kältesten Monate. Die wärmsten Monate sind Juni, Juli und August; es werden monatliche Durchschnittstemperaturen von 18–19 °C erreicht.

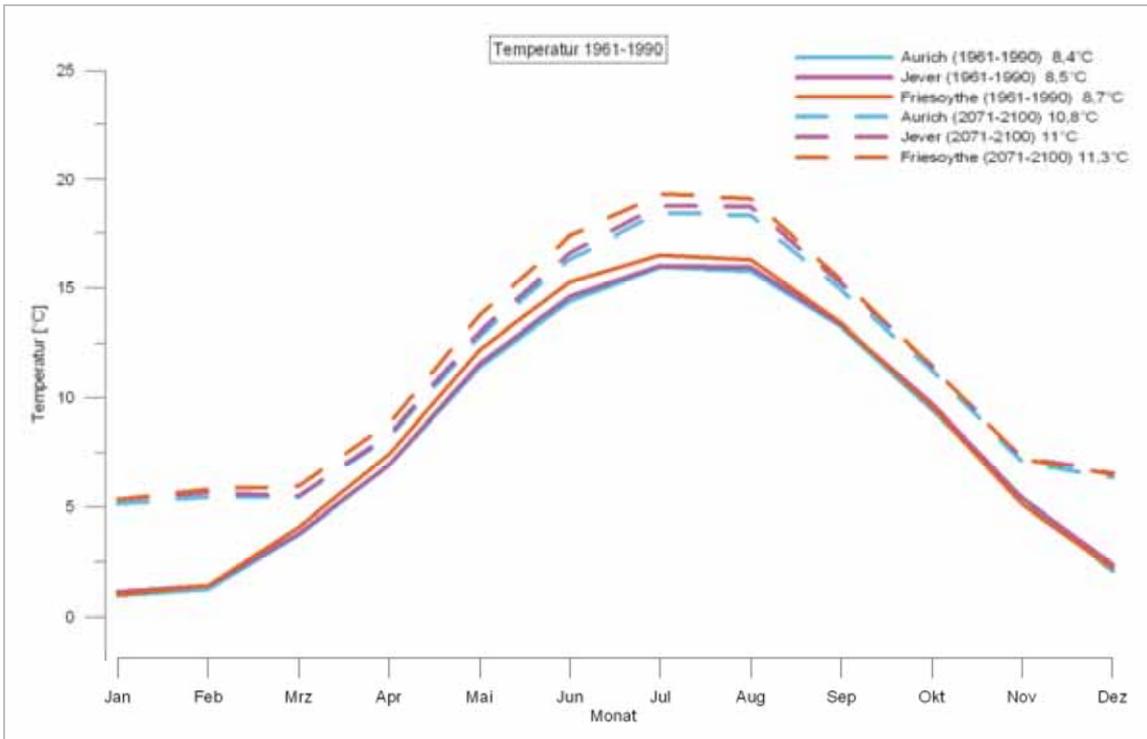


Abb. 40: Veränderung der Monatsdurchschnittstemperaturen für die Klimastationen Aurich, Jever und Friesoythe. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Messwerten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

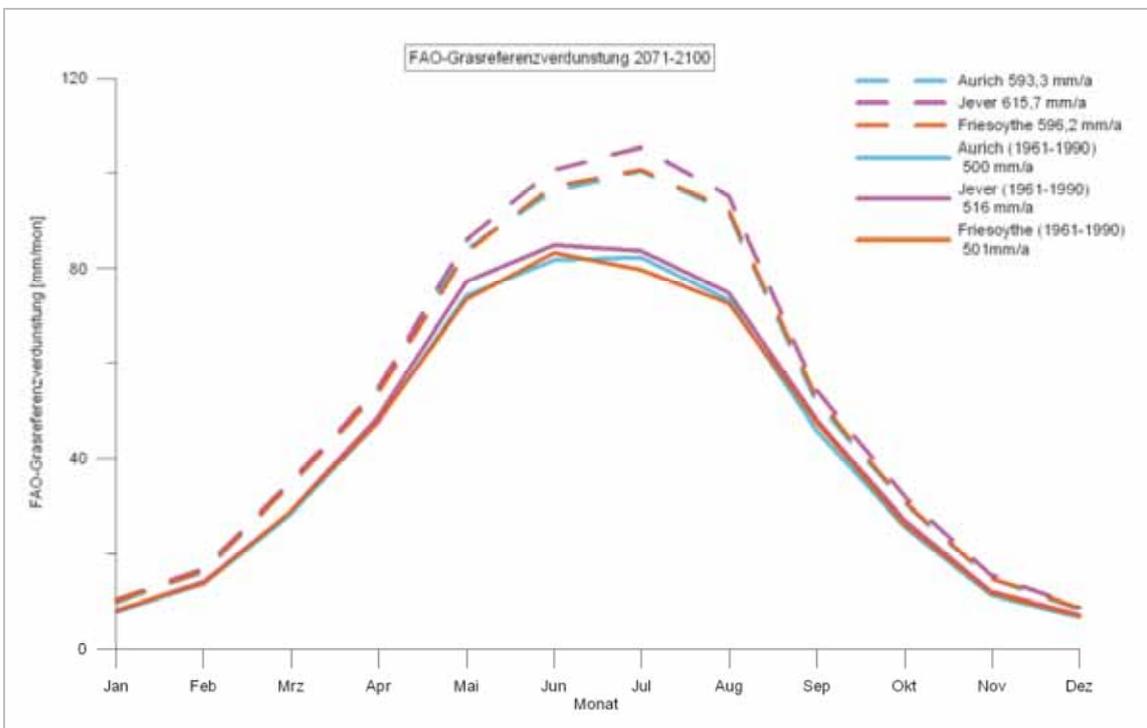


Abb. 41: Veränderung der FAO-Grasreferenzverdunstung für die Klimastationen Aurich, Jever und Friesoythe. Dargestellt ist ein Vergleich von realen Werten von 1961–1990 zu simulierten Werten von 2071–2100.

Über das jährliche Mittel gesehen, bleibt die Niederschlagsmenge der Klimastation Aurich fast gleich; es ist lediglich eine Zunahme der Niederschläge um ca. 10 mm/a möglich. Allerdings kommt es, wie auch bei den vorherigen Untersuchungsgebieten, zu einer Verschiebung der Niederschlagsspitzen. Die höchsten Niederschläge sollen nun in den Monaten von Dezember bis Februar fallen, sie betragen in Friesoythe und Jever dann ungefähr 80 mm pro Monat und in Aurich sogar 80–90 mm pro Monat (s. Abb. 39). Von März bis November betragen die Niederschläge dann in Aurich und Jever 50–60 mm und in Friesoythe lediglich 50 mm pro Monat.

Zu den höchsten Verdunstungsmengen kommt es in den Monaten von Mai bis August. Da die Werte für die Durchschnittstemperaturen auch im dreißigjährigen Mittel von 2071–2100 nahe beieinander liegen, liegen die anzunehmenden Verdunstungen über die Jahressumme ebenfalls nahe beieinander. Die Verdunstung nimmt im Vergleich zum Zeitraum von 1961–1990 bei allen drei Stationen um ungefähr 100 mm/a zu und liegt somit nun bei 600 mm/a (s. Abb. 41).

4.3.2.4 Grundwasserneubildung 1961–1990

Über die Dreißigjahreszeitspanne von 1961–1990 betrug die minimale Grundwasserneubildung in diesem Untersuchungsgebiet ca. 40 mm/a (s. Abb. 42). Grundwasserzehrung kam in diesem Gebiet nicht vor. Im Großteil des Untersuchungsgebietes III – Oldenburger Geest beträgt die Grundwasserneubildung zwischen 40–100 mm/a und ca. 150–200 mm/a. Die größten zusammenhängenden Flächen mit gleicher Grundwasserneubildung ziehen sich vom Westen, vom Bereich um Dertern, bis nach Nordnordosten zum Gebiet des Legener Moores. Die Grundwasserneubildung dieser Flächen beträgt 40–100 mm/a. Diese Flächen befinden sich vorwiegend im Bereich der Nieder- und Hochmoorablagerungen. Kleinere Teilflächen, die über das gesamte Gebiet verteilt sind, befinden sich ebenfalls auf den Nieder- bzw. Hochmoorflächen, sofern diese Grundwasserneubildung aufweisen. Vereinzelt kommen kleinere Teilflächen vor, auf denen die Grundwasserneubildung zwischen 100 und 150 mm/a liegt. Diese befinden sich auf Flugsandablagerungen, Geschiebelehmen und -mergeln der Drenthe-Grundmoränen und auf Flussablagerungen der Niederterrasse. Auf einem Großteil der Flächen betrug die Grundwasserneubildung zwischen 1961 und 1990 150–200 mm/a. Die Flächen liegen meistens auf sandigem und kiesigem Untergrund. Diese grenzen häufig an Flächen mit einer Grundwasserneubildung zwischen 40 und 100 mm/a. Vereinzelt Flächen, vorwiegend im Süden des Untersuchungsgebietes, weisen eine Grundwasserneubildung von 200–300 mm/a auf. Hier besteht der Untergrund meist aus Sanden und Kiesen weichselkaltzeitlicher Ablagerungen. Besonders im Nordwesten des Untersuchungsgebietes beträgt die Grundwasserneubildung zwischen 300 und 400 mm/a. Hier befinden sich hauptsächlich Flugsandablagerungen; im Bereich um Uplengen kommen jedoch auch Grundmoränenablagerungen vor. Die Grundwasserflurabstände betragen im gesamten Untersuchungsgebiet III zwischen einem und zwei Metern.

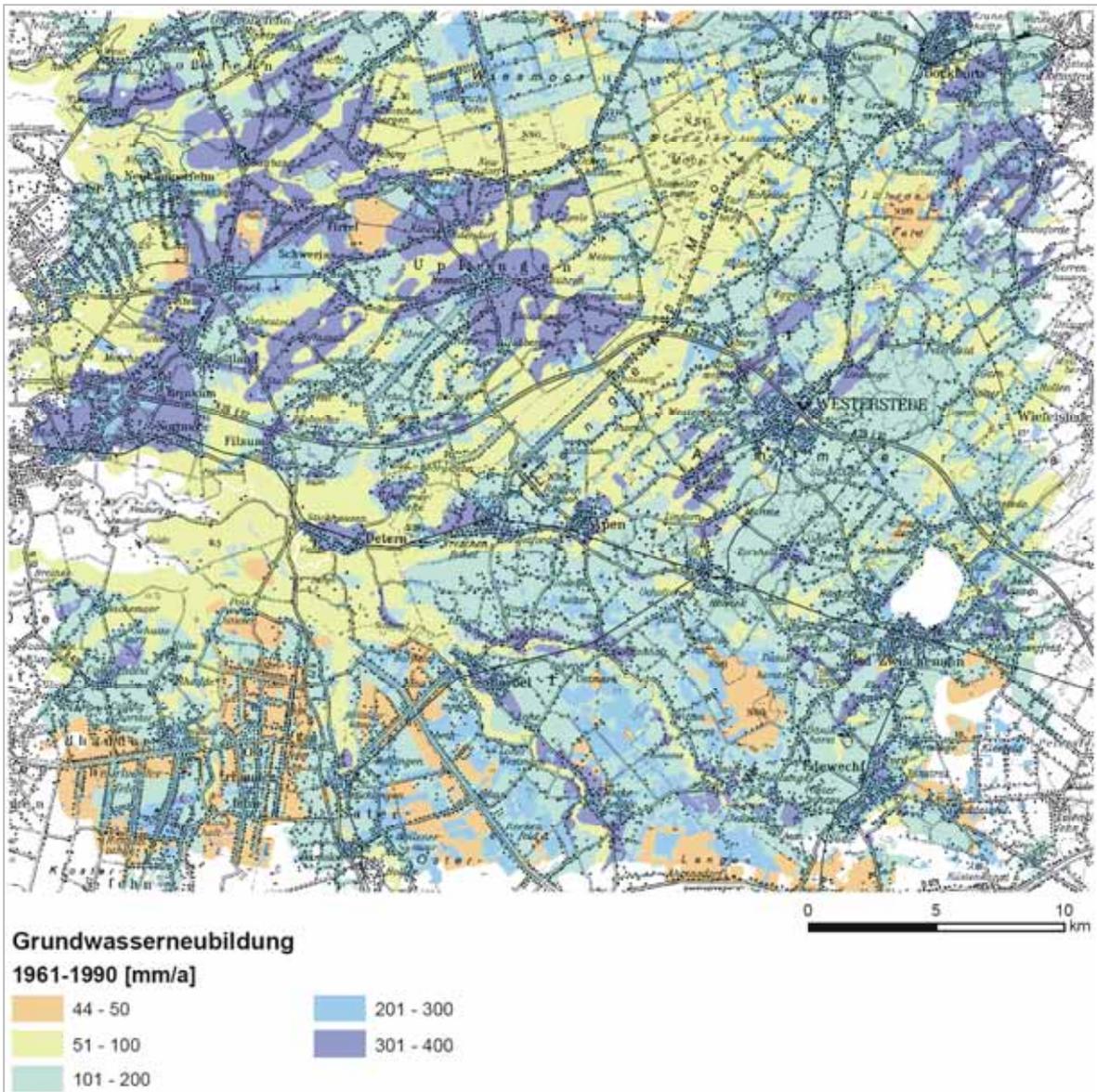


Abb. 42: Grundwasserneubildung von 1961–1990 im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest.

4.3.2.5 Veränderung der Grundwasserneubildung

Bei der Berechnung der Veränderung der Grundwasserneubildung für das Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest kommt es zu einem sehr einheitlichen Ergebnis. Im Großteil dieses Gebietes verändert sich die Grundwasserneubildung nicht (Veränderungen von ± 25 mm/a), vor allem im Norden des Untersuchungsgebietes (s. Abb. 43). Weiter südlich kommt es zu Abnahmen der Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 2071–

2100 von bis zu 50 mm/a, was etwa 20 % entspricht, lokal auch etwas mehr. Die Flächen mit Abnahmen der Grundwasserneubildung befinden sich überwiegend im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Zudem kommt es zu Abnahmen der Grundwasserneubildung westlich von Uplengen und südlich von Bockhorn. Hier betragen die Abnahmen der Grundwasserneubildung ca. 10–20 %, vereinzelt können es aber auch 30 % sein. Auf Flächen, die von 1961–1990 ca. 40–100 mm Grundwasser pro Jahr gebildet haben und sich im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes

befinden, nimmt die Grundwasserneubildung von 2071–2100 nun noch um 25–50 mm/a ab. Die Flächen im Bereich des Lengener Moores und des Wiesmoores, die von 1961–1990 ebenfalls eine Grundwasserneubildung von 40–100 mm/a aufwiesen, sollen nicht von einer Veränderung der Grundwasserneubildung betroffen sein (s. Abb. 44).

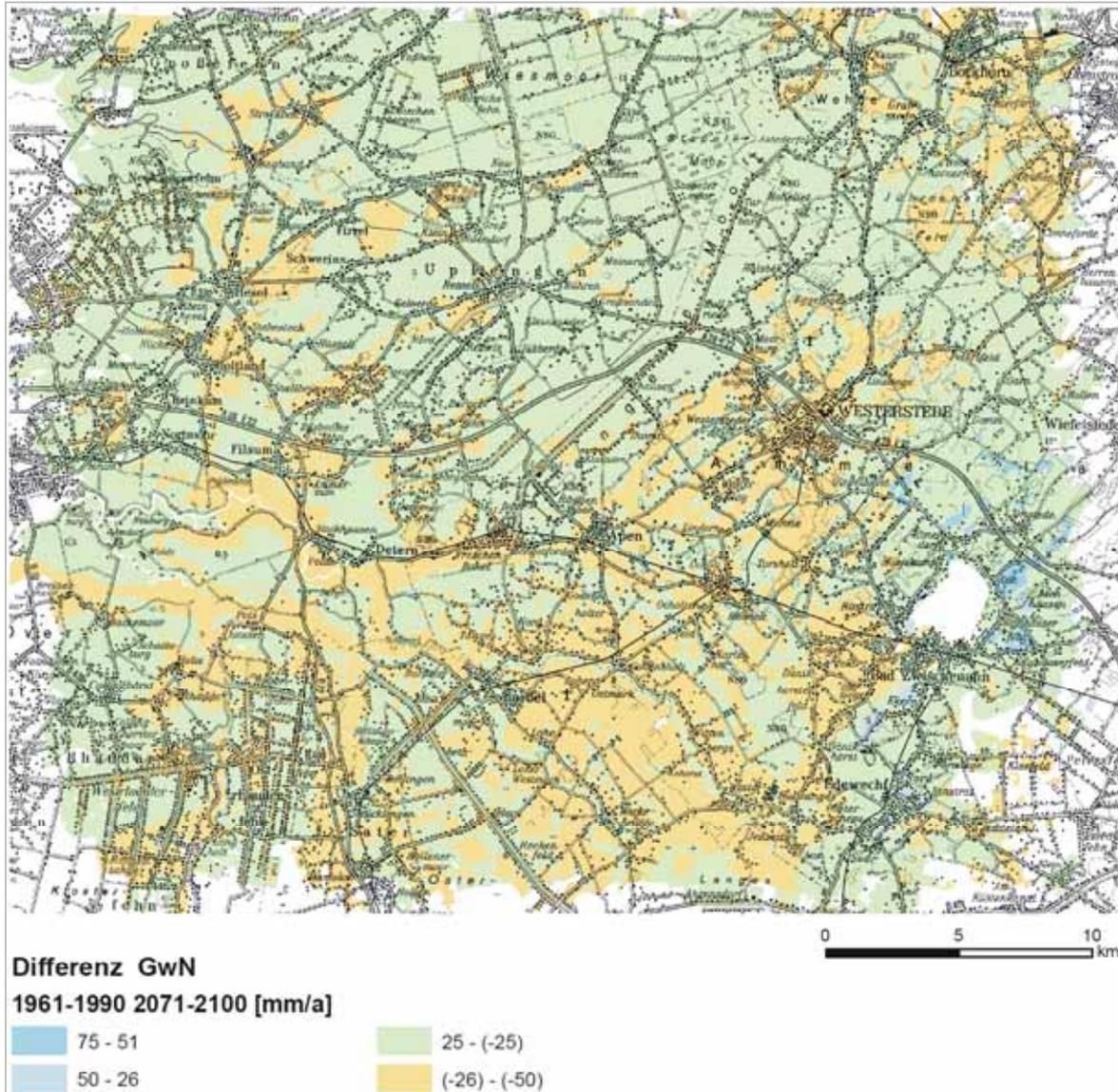


Abb. 43: Differenz der Grundwasserneubildung von 2071–2100 zu 1961–1990 im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest.

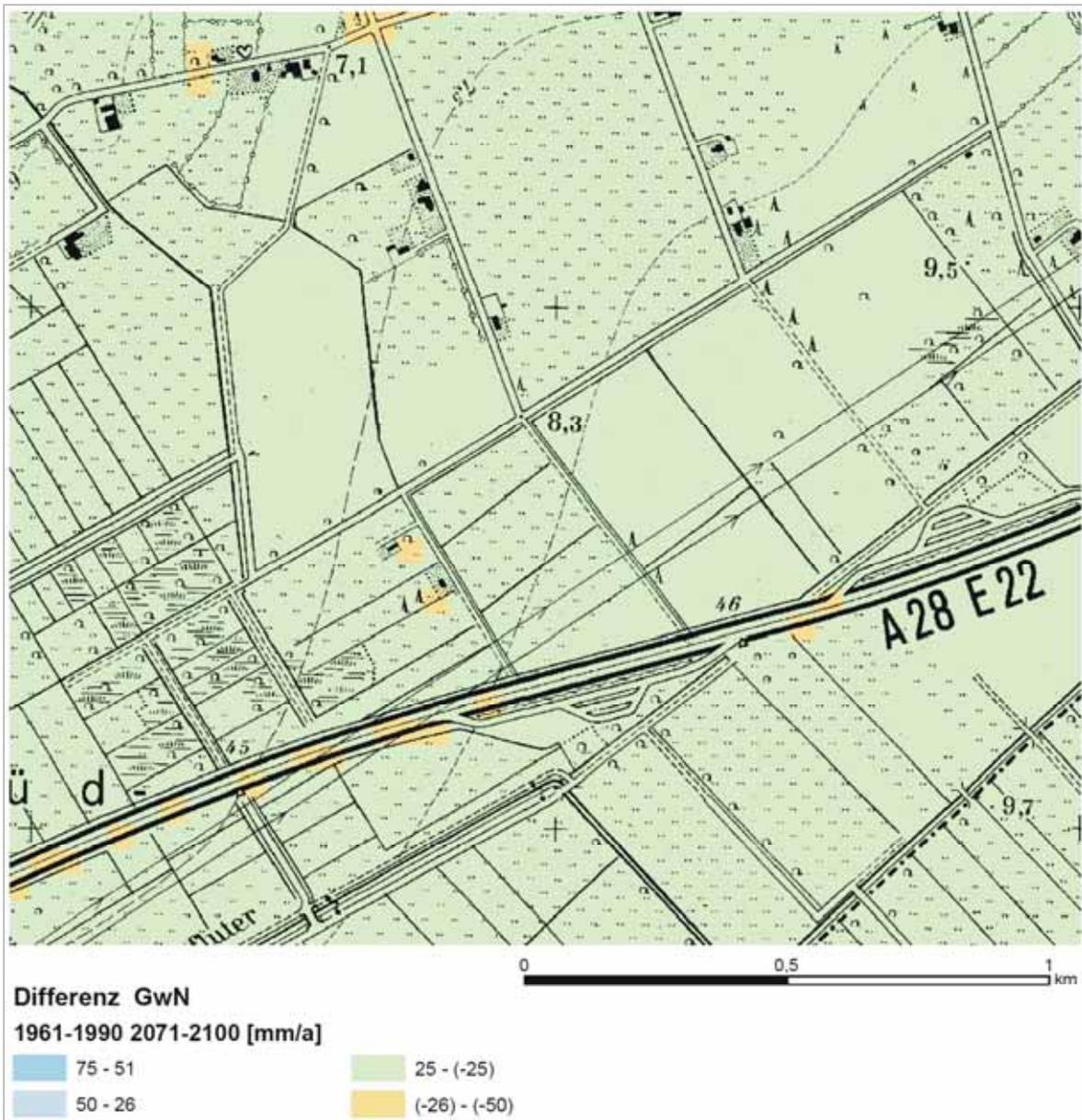


Abb. 44: Detailabbildung der Differenz der Grundwasserneubildung von 2071–2100 zu 1961–1990 im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest im Bereich des Lengener Moores.

Die Flächen südlich von Bockhorn, auf denen die Grundwasserneubildung abnimmt, werden vorwiegend als Grünland, teilweise auch als Ackerland und selten auch forstwirtschaftlich genutzt. Ebenso kommt es zu Abnahmen der Grundwasserneubildung im Bereich des Naturschutzgebietes Jühdener Feld auf den Hochmoorflächen. Das Grundwasser steht oberflächennah. Auf den Flächen südöstlich von Bockhorn liegen die Grundwasserflurabstände zwischen fünf und zehn Metern. Zu weiteren

Abnahmen der Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 2071–2100 soll es auf den Flächen rund um Westerstede und südlich bis Bad Zwischenahn kommen. Die Abnahmen der Grundwasserneubildung betragen hier ungefähr 30 %. Nördlich von Westerstede nimmt die Grundwasserneubildung unter Grünland und einigen Waldflächen ab. In diesem Gebiet herrschte von 1961–1990 jedoch eine Grundwasserneubildung von 100 bis zu 300 mm/a vor. Die Grundwasserflurabstände sind mit un-

gefähr einem Meter in diesem Bereich relativ gering. Hier befinden sich sowohl Sande und Kiese aus Flussablagerungen der Niederterrasse aus der Weichsel-Kaltzeit als auch Geschiebelehne und -mergel aus dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit. Bereiche mit höheren Grundwasserflurabständen in diesem Gebiet weisen keine Veränderung der Grundwasserneubildung auf. Hier sind dann häufig Flugsandablagerungen zu finden.

Südlich von Westerstede kommt es ebenfalls zu Abnahmen der Grundwasserneubildung. Außer als Grünland werden die Flächen hier auch teilweise forstwirtschaftlich genutzt. Die Grundwasserneubildung betrug von 1961–1990 ungefähr 100–200 mm/a; von 2071–2100 soll diese nun um bis zu 50 mm/a abnehmen. Die Grundwasserflurabstände dieser Region betragen ungefähr einen Meter. Hier befinden sich wiederum neben sandigen und kiesigen Flussablagerungen aus der Weichsel-Kaltzeit auch Grundmoränenablagerungen aus dem Drenthe-Stadium der Saale-Kaltzeit. Südwest-

lich von Westerstede orientiert sich die Abnahme der Grundwasserneubildung an der Verbreitung des Bodentyps der Gleye mit Erdniedermoorauflage. Auch westlich von Bad Zwischenahn nimmt die Grundwasserneubildung um 25–50 mm/a ab. Diese Flächen werden größtenteils als Wald genutzt. Die Grundwasserflurabstände dieser Flächen betragen ein bis zwei Meter (s. Abb. 45). Der Großteil dieser Flächen befindet sich auf weichselzeitlichen Flugsandablagerungen und Flussablagerungen (Niederterrasse). Als Bodentypen sind hier Gleye und Podsole vertreten. Zu Abnahmen der Grundwasserneubildung soll es auch westlich von Edewecht kommen. Der Grundwasserflurabstand dieser Flächen beträgt etwa anderthalb Meter. In diesem Teil des Untersuchungsgebietes kommt Niederterrasse vor. Hier befinden sich Flugsande über Hochmoorablagerungen. Auf einigen Flächen im südlichen Bereich dieses Untersuchungsgebietes kommt es zu Abnahmen der Grundwasserneubildung unter Ackerland.

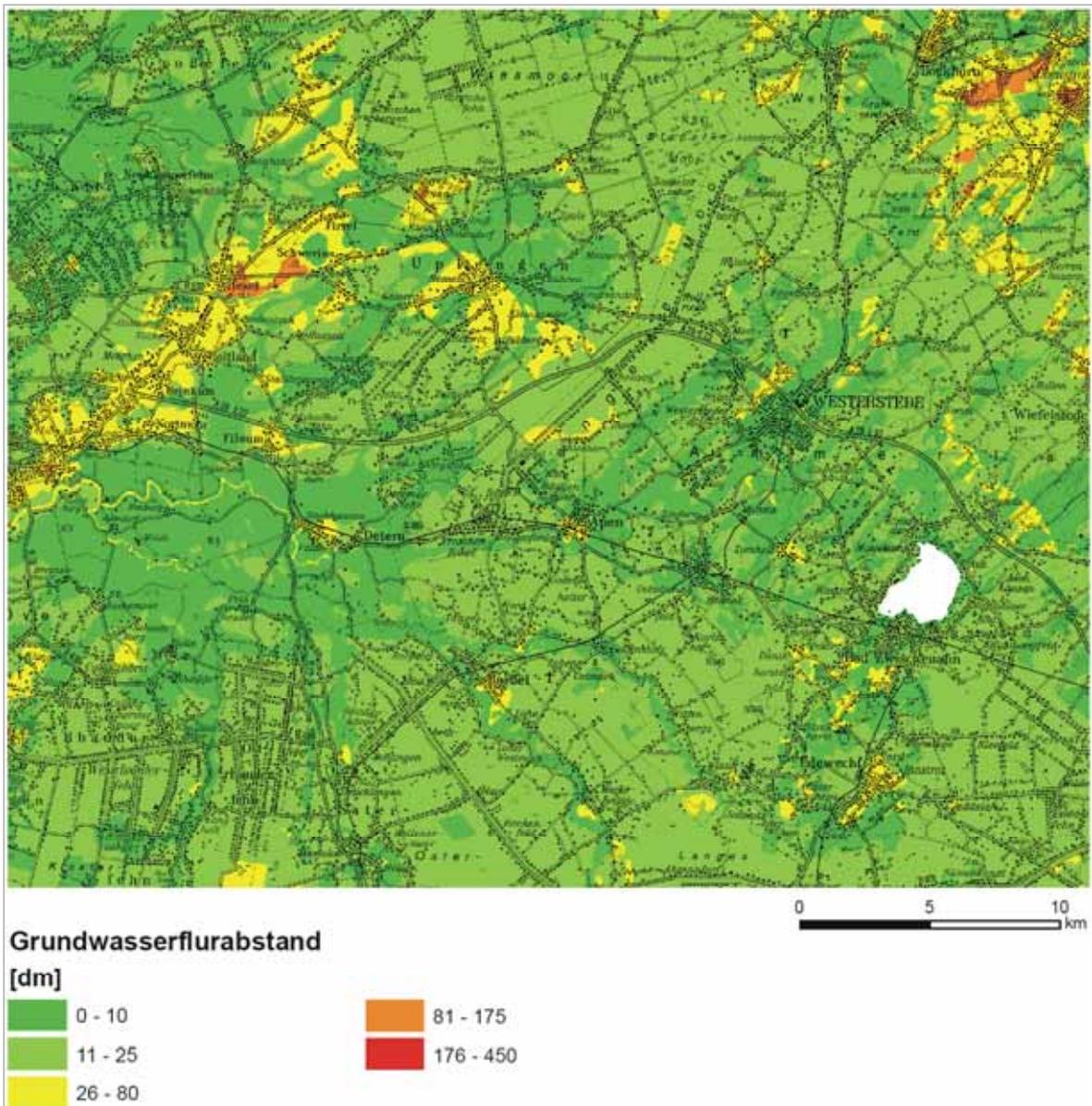


Abb. 45: Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest nach FAGWDF200_DM.

Südlich von Detern kommt es ebenfalls zu Abnahmen der Grundwasserneubildung zwischen 25 und 50 mm/a, was in etwa 35–60 % entspricht. Diese Flächen liegen entlang der Flüsse Sagter-Ems, Leda und Jümme. Hier kam es zur Ausbildung holozäner Niedermoore, die nun als Grünland genutzt werden. Im Gebiet um Uplengen verändert sich die Grundwasserneubildung im Vergleich zum Zeitraum von 1961–1990 nicht. Die Flächen in diesem Bereich werden vorwiegend als Grünland, teilweise auch als Ackerland genutzt. Sie befinden

sich über Grundmoränenablagerungen des Drenthe-Stadiums der Saale-Kaltzeit, aber auch auf holozänen Hochmoorflächen. Diese Flächen sind von Kanälen und Gräben durchzogen. Der Grundwasserflurabstand liegt häufig zwischen einem und zwei Metern.

4.3.3 Zusammenfassung

Auf Flächen mit geringem Grundwasserflurabstand nimmt die Grundwasserneubildung eher ab, als auf Flächen mit einem höheren Grundwasserflurabstand. Die Abnahmen der Grundwasserneubildung im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes III sind an den Grundwasserflurabstand (< 2 m) gebunden. Diese Flächen liegen über Niedermoor- und fluviatilen Gezeitenablagerungen, aber auch über Grundmoränenablagerungen. Flächen, auf denen sich die Grundwasserneubildung nicht verändern soll, liegen meistens über holozänen Hochmoorablagerungen. Die Grundwasserflurabstände sind in diesen Bereichen auch < 2 m. Die Flächen in diesem Untersuchungsgebiet werden fast einheitlich als Grünland genutzt. Die Grundwasserflurabstände im nordöstlichen Untersuchungsgebiet sind auf den Flächen mit den Abnahmen der Grundwasserneubildung deutlich höher. Sie können hier bis zu zehn Metern oder mehr betragen. Ebenso verhält es sich auf den Flächen, die sich im nordwestlichen Untersuchungsgebiet befinden. Diese Flächen befinden sich über Flugsand- oder Dünenablagerungen. Der Untergrund der östlichen Flächen ist zudem teilweise noch aus Schmelzwasserablagerungen aufgebaut. Auch diese Flächen werden zumeist als Grünland genutzt. Die Flächen südlich von Schwerins sind Waldstandorte. Hier hat die Nutzung einen starken Einfluss auf die Grundwasserneubildung. Denn auf diesen Flächen nimmt die Grundwasserneubildung ab, obwohl Grundwasserflurabstand und die Untergrundverhältnisse sich nicht von den benachbarten Flächen unterscheiden.

5 Schlussbetrachtung

Bei einer Betrachtung der drei Untersuchungsgebiete in Niedersachsen im Vergleich zu den Studien aus Brandenburg und Hessen ergibt sich ein eindeutiges Bild. In Brandenburg soll die Grundwasserneubildung stark abnehmen, und in Hessen soll diese zunehmen. Bei den drei gewählten Untersuchungsgebieten in Niedersachsen kommt es sowohl zu Abnahmen (Nordost-Heide und Oldenburger Geest) als auch zu Zunahmen der Grundwasserneubildung (Nordost-Heide und Solling). Überwiegend ergibt sich für alle drei Untersuchungsgebiete, dass die Grundwasserneubildung gleich bleibt (25 – (-25) mm/a), bzw. leicht abnehmen kann, und zwar um 25 – 50 mm/a, obwohl die Temperaturen und die Verdunstung zunehmen. Wichtig hierbei ist, dass, auch wenn sich die Niederschlagsmengen über das jährliche Mittel nicht verändern, sich jedoch die Verteilung der höchsten Niederschlagsmengen verschiebt, nämlich von den Sommermonaten in die Wintermonate. Dies ist entscheidend für die Grundwasserneubildung, da diese vorwiegend in den Wintermonaten stattfindet, weil in diesen Monaten weniger verdunstet. Die Temperaturzunahmen wirken sich ebenfalls auf die Grundwasserneubildung aus, da die durchschnittlichen Monatsmitteltemperaturen in den Wintermonaten ungefähr 5 °C betragen können. Der Boden ist somit in den Wintermonaten nicht mehr gefroren, die Niederschläge können also in den Boden infiltrieren und fließen nicht, wie bei gefrorenem Boden, oberflächlich ab.

Die hohen Verdunstungsmengen in den Sommermonaten haben nicht in allen Gebieten einen großen Einfluss auf die Grundwasserneubildung. Sie wirken sich dann aus, wenn die Grundwasserflurabstände geringer werden, so wie es im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes I – Nordost-Heide der Fall ist. In diesem Gebiet kommt noch hinzu, dass die Flächen mehrheitlich forstwirtschaftlich genutzt werden. Ihren Wasserbedarf decken die Pflanzen mit Hilfe ihrer Wurzeln bei geringen Niederschlägen und geringen Grundwasserflurabständen, sofern die Wurzeln der Pflanzen tief genug reichen, was bei vielen Bäumen der Fall ist. Bei höheren Grundwasserflurabständen kann es sogar trotz höherer Temperaturen und höheren Verdunstungswerten zu höheren Grundwasserneubildungsraten kommen.

Im Bereich des Sollings ist bei Betrachtung der Differenzen der Grundwasserneubildung von 1961–1990 zu 2071–2100 die Geologie von großer Bedeutung. Im Bereich des zentralen Sollings, also im Buntsandstein, bleiben die Grundwasserneubildungsraten gleich. Wechselt die Geologie vom Buntsandstein z. B. zu Muschelkalkablagerungen bzw. zu weichselzeitlichen Sanden, so verändert sich auch die Grundwasserneubildung, und zwar nimmt sie zu; über den weichselzeitlichen Sanden sogar sehr stark. Gleichzeitig nimmt die Grundwasserneubildung hangabwärts zu, an den tiefsten Punkten sogar bis über 100 mm/a.

Das Untersuchungsgebiet III – Oldenburger Geest ist durch ein dichtes Fließgewässernetz und eine künstliche Entwässerung von Flächen gekennzeichnet. Im gesamten Gebiet sind geringe Grundwasserflurabstände zu verzeichnen. Die landwirtschaftlichen Flächen in diesem Gebiet werden relativ einheitlich als Grünland genutzt. In diesem Untersuchungsgebiet ändern sich sowohl Geologie als auch Bodentypen kleinräumig. Im südlichen Bereich betragen die Grundwasserflurabstände lediglich wenige Meter; hier soll die Grundwasserneubildung abnehmen. Über holozänen Hochmoorablagerungen soll sich die Grundwasserneubildung nicht verändern. Im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes nehmen die Grundwasserflurabstände zu, die Grundwasserneubildung bleibt hier weitgehend gleich.

Für diese Arbeit wurden lediglich die Eingangsparameter Niederschlag, Temperatur und Verdunstung verändert. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich Nutzung bzw. Versiegelung der Flächen in Zukunft ändern werden und es somit auch zu anderen Ergebnissen bei der Grundwasserneubildung kommen wird. Durch Veränderungen von Niederschlag, Temperatur und Verdunstung muss sich die Vegetation den neuen Gegebenheiten anpassen. Es kann also zu einer Veränderung in den Pflanzenarten kommen, vor allem, weil es auch Pflanzenarten gibt, die an eine ständige Wasserversorgung gebunden sind und diesen Wasserbedarf auch über ihre Wurzeln decken können. Möglich wären auch Veränderungen in der Flächennutzung der Landwirtschaft. Sollte die gleiche Flächennutzung wie zurzeit eingehalten werden, so könnte es in den trockener werdenden Sommermonaten zu einer stärkeren Intensivierung der Feldberegnung kommen, die aus hohen Grundwasserentnahmen gedeckt werden müsste, so dass es zu einer

Absenkung der Grundwasserspiegel kommen würde. Da es schon in der heutigen Zeit zu einer Absenkung des natürlichen Grundwasserspiegels gekommen ist und dieser bei verstärkten Entnahmen noch weiter sinken wird, muss auch dieses in den Berechnungen, also in den Eingangsparametern, für GROWA06 berücksichtigt werden. Es kann aber nicht nur bei der Vegetation zu einer Veränderung kommen, sondern auch bei den Bodentypen. Bodentypen verändern sich jedoch nur sehr langsam. Bei einer Austrocknung der Bodenoberflächen ist der Boden nicht in der Lage, Niederschläge komplett aufzunehmen, so dass der Großteil der Niederschläge oberflächlich abfließen wird und somit nicht zur Grundwasserneubildung beiträgt. Auch bei einer Zunahme der Versiegelung kann nur eine geringere Menge der Niederschläge versickern, der Oberflächenabfluss nimmt zu.

Die Werte für Niederschlag, Temperatur und Sonnenscheindauer (für die Berechnung der Verdunstung) wurden ohne weitere Veränderung für Berechnungen übernommen. Lediglich die Niederschlagswerte der Klimastation Uelzen wurden als zu hoch erachtet, und es erfolgte eine zweite Berechnung mit an die umliegenden Niederschlagsstationen angepassten Werten. Leider konnte GROWA06 in dieser Diplomarbeit nicht mit regionalisierten Klimadaten rechnen, wie es sonst der Fall ist. Es wurde also auf eine Einstellung zurückgegriffen, in der einer Klimastation ein Gebiet zugeordnet wurde, so dass nun jede Fläche in diesem Gebiet die gleichen Werte für Niederschlag, Temperatur und Verdunstung, unabhängig von Exposition, Relief und Höhe hat. Je größer das Gebiet ist, das einer Klimastation zugeordnet ist, desto ungenauer sind die Berechnungen.

Dadurch, dass für das Untersuchungsgebiet I – Nordost-Heide die Grundwasserneubildung für den Zeitraum von 2071–2100 zweimal berechnet wurde, wobei sich bei den Eingangsparametern lediglich die Niederschlagswerte unterscheiden, zeigt sich, dass GROWA06 sehr sensitiv auf Niederschlagsänderungen reagiert. Dieses fällt eindeutig beim Vergleich der erstellten Differenzkarten auf (vgl. Abb. 14 und 20).

6 Literatur

6.1 Schriften

- ADAM, CH., GLÄSSLER, W. & HÖLTING, B. (2000): Hydrogeologisches Wörterbuch. – 311 S.; Hannover (Enke).
- AG BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 3. Aufl., 331 S., 19 Abb., 98 Tab., 1 Beil.; Hannover.
- BENZLER, J.-H., ECKELMANN, W. & OELKERS, K.-H. (1978): Ein Rahmenschema zur Kennzeichnung der bodenkundlichen Feuchte-situation. – Mitt. dt. Bodenkdl. Ges. **53**: 95–101; Göttingen.
- BERTHOLD, G. & HERGESELL, M. (2005): Flächendifferenzierte Untersuchungen zu möglichen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Hessen. – INKLIM 2012 - Integriertes Klimaschutzprogramm, Abschlussbericht für den Bereich Grundwasser, 22 S., 25 Abb.; Wiesbaden, <<http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/dokumente/endberichte/grundwasserneubildung.pdf>>.
- DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1994): DIN 4049-3 - Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. – 80 S.; Berlin (Beuth).
- DIN - DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1997): DIN 19685 - Klimatologische Standortuntersuchung, Ermittlung der meteorologischen Größen. – 7 S. Berlin (Beuth).
- DÖRHÖFER, G. (1984): Grundzüge der Hydrogeologie des Sollings, Südniedersachsen. – Geol. Jb. **A 75**: 635–662.
- DÖRHÖFER, G. (1991): Hydrogeologische Erkundung von Grundwasservorkommen in Festgesteinsgebieten - Beispiel Solling, Südniedersachsen. – Grundwasser in Niedersachsen **7**: 34–43; Hannover.
- DÖRHÖFER, G., KUNKEL, R., TETZLAFF, B. & WENDLAND, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen. – Arb.-H. Wasser 2001/1: 109–167, 11 Abb., 16 Tab., 15 Ktn.; Hannover (NLFb).
- DWD (2007): Tabelle der Klimastationen in Niedersachsen. – <<http://decenturl.com/orias.dwd/messnetz-klimastationen>>, letzter Besuch am 01.12.2007.
- DYCK, S. & PESCHKE, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie. – 3. Aufl., 536 S.; Berlin (Verlag für Bauwesen).
- EG-WRRL (2005): EG-WRRL-Bericht 2005 - Grundwasser: „Beschreibung der Methoden“ und „Ergebnisberichte“. – Stand 15.07.2004, erstellt durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLFb), das Niedersächsische Landesamt für Ökologie (NLO) und die Bezirksregierung Hannover.
- GERSTENGARBE, F.-W., BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOW, F., WECHSUNG, F. & WERNER, P. C. (2003): Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. – Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, PIK-Report **83**, 82 S.; Potsdam.
- GLUGLA, G., JANKIEWICZ, P., RACHIMOW, C., LOJEK, K., RICHTER, K., FÜRTIG, G. & KRAHE, P. (2003): BAGLUVA - Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. – Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-Bericht **1342**, 118 S., 56 Abb., 25 Tab.; Koblenz.
- GOLF, W. (1981): Ermittlung der Wasserressourcen im Mittelgebirge. – WWT **31**: 93–95, 5 Abb., 2 Tab.; Berlin (VEB Verlag für Bauwesen).
- HAD (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), CD-ROM, erweiterte Ausgabe; Bonn.
- HAHN, J. (1991): Grundwasser in Niedersachsen. – Grundwasser in Niedersachsen **7**: 13–27; Hannover.
- HÖLTING, B. (1996): Hydrogeologie - Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. – 5. Aufl., 441 S., 114 Abb., 46 Tab.; Stuttgart (Enke).
- JANKIEWICZ, P., NEUMANN, J., DUIJNISVELD, W., WESSOLEK, G., WYCISK, P. & HENNINGS, V. (2005): Abflusshöhe - Sickerwasserrate - Grundwasserneubildung. Drei Themen im Hydrologischen Atlas von Deutschland. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung **49**, Heft 1: 2–13; Koblenz.

- KREIENKAMP, F. & SPEKAT, A. (2006): IDP2006 - Ein Werkzeug zur explorativen Datenanalyse. – Teilbericht zum Vorhaben „Ableitungen von Transwetterlagen und Entwicklung eines interaktiven Diagnose- und Präsentationsstools“, 87 Seiten, Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH.
- LEHNARDT, F. & BRECHTEL, H.-M. (1980): Durchwurzelungs- und Schöpftiefen von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen bei unterschiedlichen Standortverhältnissen. – Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **151**, H. 6/7: 120–127.
- LEMKE, D. & ELBRACHT, J. (2008): Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06V2. – Diplomarbeit, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und Leibniz Universität Hannover, Geoberichte **10**, 61 S., 19 Abb., 24 Tab., Anh.; Hannover.
- MEYNEN, E. (Hrsg.) (1953–62): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands, Teil 1 und 2. – Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung; Remagen (Selbstverlag).
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – 7. Aufl., Arb.-H. Boden 2004/2: 409 S., 3 Abb., 405 Tab.; Hannover (NLFb).
- NAKICENOVIC, N. & SWART, R. (Hrsg.) (2000): IPCC Special Report on Emissions Scenarios. – Univ. Press Cambridge, 612 S.; Cambridge.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung – In: Folgen anthropogener Einflüsse auf den Wasserhaushalt und die Wasserbewirtschaftung, 5. Wissenschaftliche Tagung „Hydrologie und Wasserwirtschaft“, Band B, Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, S. 295–305.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1996): Berechnung der Verdunstungsjahressummen einzelner Jahre. – DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft **238**: 47; Bonn.
- REUTTER, E. (2005): Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens. – Geofakten **21**: 10 S., 5 Abb., 2 Tab.; Hannover (NLFb).
- ROECKNER, E., BRASSEUR, G., GIORGETTA, M., JACOB, D., JUNGKLAUS, J., REICK, CH. & SILLMANN, J. (2006): Klimaprojektion für das 21. Jahrhundert. – Max-Planck-Institut für Meteorologie, 28 S.; Hamburg.
- RÖHM, H., BUDZIAK, D., ELBRACHT, J., FRANKE, B., HAUSCHILD, S., KORN, M. & MERZBACH, G. (2007): Grundwasser-Monitoring. Erstellung geologischer und hydrostratigrafischer Schnitte zur Umsetzung der EG-WRRl. – 4 Bde., erstellt im Rahmen des Untersuchungsprogramms „Natürliche Charakteristik der Grundwasserkörper in Niedersachsen“ im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Archiv LBEG **0127639**; Hannover [Unveröff.].
- 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.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT (2007): Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. – Hintergrundpapier, 27 Seiten.
- WENDLING, U. (1997): Bilanzierung der hydro-meteorologischen Grundgrößen korrigierter Niederschlag und Gras-Referenzverdunstung sowie ihre Rückkopplung zu Abfluß und Grundwasserneubildung. – in: LEIBUNDGUT, C. & DEMUTH, S. (Hrsg.) (1997): Freiburger Schriften zur Hydrologie **5** - Grundwasserneubildung: 60–70; Freiburg.
- WESSOLEK, G. (1989): Einsatz von Wasserhaushalts- und Photosynthesemodellen in der Ökosystemanalyse. – Landschaftsentw. u. Umweltforsch. **61**, Fachbereich Landschaftsentwicklung, Technische Universität Berlin.
- WESSOLEK, G. (1996): Abschätzung der Grundwasserneubildung von Hangstandorten. – im Auftrag der Bundesanstalt für Geo-

wissenschaften und Rohstoffe, 31 S.; Hannover.

6.2 Karten

BKG - BUNDESAMT FÜR KARTOGRAPHIE UND GEODÄSIE (Hrsg.): Topographische Übersichtskarte 1 : 200 000 (TÜK 200), Blatt Nr. CC 3126, CC 3110, CC 4718. – Frankfurt.

FAGWDF200_DM: Grundwasserflurabstandskarte 1 : 200 000. – Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS[®], Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), ArcView-shape-Datei, Datenabruf 06/2007.

BÜK 50 - LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.): Bodenübersichtskarte von Niedersachsen 1 : 50 000. – ArcView-shape-Datei, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS[®], Datenabruf 06/2007; Hannover (LBEG).

GÜK 500 - LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.): Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000. – ArcView-shape-Datei, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS[®], Datenabruf 06/2007; Hannover (LBEG).

GÜK 500 - NLFB - NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.): Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000. – Hannover.

HÜK 200 - LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.): Hydrogeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 200 000. – ArcView-shape-Datei, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS[®], Datenabruf 06/2007; Hannover (LBEG).

LBEG - LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (Hrsg.): Topographische Übersichtskarte 1 : 1 000 000. – ArcView-Shape-Datei, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS[®]; Hannover (LBEG).

LGN - LANDESVERMESSUNG UND GEOBASISINFORMATION NIEDERSACHSEN (Hrsg.): Topographische Karte 1 : 25 000 (TK 25), Blatt Nr. 2831–2833, 2931–2933, 3031–3032, 2811–2814, 2711–2714, 2611–2614, 4122–4125, 4222–4225, 4322–4325. – Hannover.

Autorin

- Dipl.-Geowiss. Tina Wixwat
Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie,
Referat L 3.6 „Hydrogeologie“,
Stilleweg 2,
30655 Hannover.

ISSN 1864 – 7529