



Grundwassernutzung im Klimawandel

Ansätze zu einer nachhaltigen Sicherung der regionalen Wasserversorgung



Herausgeber:

Regionaler Planungsverband Vorpommern (RPV)

Projektleitung:



i | ö | w

INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

www.ioew.de

**Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig**

Potsdamer Straße 105

D-10785 Berlin

Tel. +49-30-884594-0

E-Mail: jesko.hirschfeld@ioew.de

Bearbeitung: Prof. Dr. Jesko Hirschfeld | Kapitel 1, 2, 9
Maria Lindow, Kim Jana Stumpf

in Kooperation mit:



www.rpv-vorpommern.de

Regionaler Planungsverband Vorpommern

Am Gorzberg, Haus 8

D-17489 Greifswald

Tel. +49-3834-514939-0

E-Mail: poststelle@afrlvp.mv-regierung.de

Bearbeitung: Dr. Roland Wenk | Kapitel 1, 2, 10

Robert Mandtke | Kapitel 1, 2, 10



www.umweltplan.de

UmweltPlan GmbH Stralsund

Tribseer Damm 2

D- 18437 Stralsund

Tel. +49-3831-6108-0

E-Mail: info@umweltplan.de

Bearbeitung: Heiko Hennig | Kapitel 5, 6, 7.1, 8.1



IPO Unternehmensgruppe GmbH
INGENIEURPLANUNGSORGANISATION

www.ipogmbh.de

IPO Unternehmensgruppe GmbH

IngenieurPlanung&Organisation

Poggenweg 28

D- 17489 Greifswald

Tel. +49-3834-5955-0

E-Mail: ipo@ingenieurplanung-ost.de

Bearbeitung: Sabine Bentfeld | Kapitel 3

Stefan Schulz | Kapitel 3, 4, 7.2, 8.2

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Bildnachweise:

Titel: Heiko Hennig, RoStyle/Shutterstock

Seite 3: Regionaler Planungsverband Vorpommern

Erscheinungsdatum: Dezember 2018

Förderkennzeichen: 03DAS076A-C

Projektlaufzeit: Januar 2016 – Dezember 2018

Vorwort des Verbandsvorsitzenden



Der Sommer 2018 hat in seinen Ausmaßen viele Rekorde gebrochen und war vor allem durch eine langanhaltende Trockenheit geprägt. Nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes wurde seit Beginn der Aufzeichnungen 1881 noch nie so ein großes Niederschlagsdefizit gemessen. Für die Trinkwasserversorgung in der Region Vorpommern werden durch den Klimawandel bedingte Herausforderungen deutlicher, insbesondere in stark touristisch genutzten Räumen wie auf der Insel Usedom oder der Halbinsel Fischland-Darß-Zingst. Durch die in Zukunft abnehmenden Sommerniederschläge kann es dort, auch aufgrund des überdurchschnittlichen Trinkwasserverbrauchs durch den Tourismus, zu Versorgungsproblemen kommen.

In dieser Situation ist es sinnvoll, nicht nur isoliert das Gebiet eines Wasserversorgers zu betrachten, sondern Lösungen auf großräumiger Ebene sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Grundwasserneubildung anzustreben. Diesen Ansatz verfolgt das 2016 gestartete Forschungsvorhaben „Regionale Grundwassernutzung im Klimawandel (Reg-WaKlim)“, das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert wurde. In ihm untersuchen vier Projektpartner, wie in der Planungsregion Vorpommern eine langfristig sichere Trinkwasserversorgung aussehen kann.

Die vorliegende Broschüre gibt einen Blick in die Analysen und Ergebnisse des Projektes. Dazu gehören die Untersuchungen naturwissenschaftlicher Grundlagen und ingenieurtechnischer Lösungen, die sozioökonomische Bewertung möglicher Maßnahmen sowie eine Betrachtung regionalplanerischer Aspekte. Aufgabe des Projektes war es zudem, die Vertreter der Wasser- und Abwasserzweckverbände zu vernetzen sowie die Kommunen und weitere für das Thema bedeutsame Interessenverbände mit einzubinden.

Allen Lesern dieser Broschüre wünsche ich neue und interessante Einblicke und Anregungen für die anstehenden fachlichen Aufgaben.

Dr. Stefan Kerth
Verbandsvorsitzender

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Verbandsvorsitzenden	3
1 Einleitung.....	8
2 Forschungsansatz	9
3 Wieviel Wasser wird aktuell genutzt?.....	10
4 Wieviel Wasser wird in Zukunft benötigt?.....	13
5 Wieviel Wasser ist aktuell verfügbar?	19
5.1 Grundwasserressourcenkarte des Landes	19
5.2 Aktuelle Grundwasserneubildung / Referenzzustand	20
5.3 Grundwasserströmungsmodellierung	23
6 Wieviel Wasser wird in Zukunft verfügbar sein?	28
7 Wo kann das Wasser in Zukunft knapp werden?	34
7.1 Geohydraulische Szenariorechnungen zur Auswirkung möglicher Klimaänderungen.....	34
7.2 Saisonalität	37
8 Wie kann die Wasserverfügbarkeit auch in Zukunft sichergestellt werden?	40
8.1 Szenariorechnungen zu großräumigen Anpassungsmaßnahmen	40
8.2 Weitere untersuchte Anpassungsmaßnahmen.....	46
9 Wie sind die möglichen Maßnahmen ökonomisch zu bewerten?	52
10 Regionalplanerische Aspekte.....	66
11 Literaturliste	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Angenommene nicht-registrierte Übernachtungen in Reisegebieten.....	15
Tabelle 2	Szenario Zuwachs an Übernachtungen je Reisegebiet in absoluten Werten	15
Tabelle 3	Emissionsszenarien für das 21. Jahrhundert (IPCC 2007)	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Übersicht öffentlicher Trinkwasserversorger	11
Abbildung 2	Beispiel saisonaler Fördermengen im Jahresverlauf an den Wasserfassungen der Insel Rügen in m ³	12
Abbildung 3	Vergleich der Entnahmemengen im Untersuchungsgebiet über die Referenzzeit des Projektes pro Jahr in m ³	12
Abbildung 4	Grundwasserförderung gem. Art der Nutzung nach Volumina pro Jahr, Stand 2015	13
Abbildung 5	Berücksichtigte Bedarfsbereiche für die Entwicklung der Szenarien	13
Abbildung 6	Beispielhafte Darstellung eines Reisegebietes (Stadt Greifswald) - Entwicklung der Übernachtungszahlen mit Fortschreibung bis in das Jahr 2050	16
Abbildung 7	Schema - Ermittlung Eignungsstandorte Beregnung.....	17
Abbildung 8	Grundwasserressourcen in Vorpommern.....	19
Abbildung 9	Aktuelle Grundwasserneubildungsraten.....	21
Abbildung 10	Speisungstypen und Reduktionsfaktoren (nach Hennig & Hilgert 2018)...	22
Abbildung 11	Speisungsrate des Hauptgrundwasserleiters	23
Abbildung 12	Mächtigkeit des Hauptgrundwasserleiters.....	25
Abbildung 13	Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstände	26
Abbildung 14	Berechnete Grundwasserdruckfläche des Hauptgrundwasserleiters.....	27
Abbildung 15	Modellkette zur Simulation möglicher Grundwasserneubildungsänderungen.....	28
Abbildung 16	Verteilung der WETTREG-Klimastationen	30
Abbildung 17	Szenarien des Niederschlages an den Stationen der Planungsregion (gleitendes 9-Jahresmittel, A1B-Emissionsszenario).....	31
Abbildung 18	Änderung des mittleren Jahresniederschlages 2041-2060 [mm].....	32
Abbildung 19	Änderung des mittleren Sommerniederschlages 2041-2060 [mm]	32
Abbildung 20	Änderung der mittleren Grasreferenzverdunstung 2041-2060 [mm].....	32
Abbildung 21	Änderung der mittleren Grundwasserneubildungsraten 2041-2060 [mm].	33
Abbildung 22	Änderung der mittleren Grundwasserstände 2041-2060	35
Abbildung 23	Fördermengen unterschiedlicher Wasserfassungen im Jahresverlauf.....	38
Abbildung 24	Räumliche Verteilung der Gästeübernachtungen pro Gemeinde pro Jahr	39
Abbildung 25	Räumliche Verteilung der saisonalen Schwankungen der Wasserfördermengen	39

Abbildung 26	Mögliche Erhöhung der Grundwasserneubildungsraten beim Umbau von Nadelwald zu Mischwald.....	41
Abbildung 27	Wirkung von Anpassungsmaßnahmen – Szenariorechnungen auf der Basis der A1B-Entwicklung.....	43
Abbildung 28	Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss	45
Abbildung 29	Vorschläge für Maßnahmen.....	47
Abbildung 30	Flächenanteile nach Hangneigung der Entwässerungsflächen im Untersuchungsgebiet	49
Abbildung 31	Das Thurbruch.....	51
Abbildung 32	Übersicht zu den mit dem Wassermanagement zentral verknüpften Ökosystemleistungen.....	52
Abbildung 33	Beispiel für raumordnerische Festlegungen zum Umbau von Waldflächen mit dem Ziel, in diesem Bereich die Grundwasserneubildung zu fördern.	67
Abbildung 34	Beispiel für raumordnerische Festlegungen zur Steuerung der Dränung innerhalb von Vorbehaltsgebieten Landwirtschaft als Beitrag für eine verbesserte Grundwasserneubildung.....	68
Abbildung 35	Beispiel für eine raumordnerische Festlegung von Schwerpunkträumen zur Renaturierung von Mooren (hier am Beispiel des Ziesetals).	69
Abbildung 36	Beispiel für eine raumordnerische Festlegung zur Sicherung von Grundwasserressourcen.	70

Abkürzungsverzeichnis

BAGLUVA	BAgrov GLUgla Verdunstung und Abfluss
ECHAM	European Centre Hamburg Model
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPO	Ingenieur Planung und Organisation
KlimaMORO	Anpassung an den Klimawandel und Klimaschutz in der Planungsregion Vorpommern
LfULG	sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LNF	landwirtschaftliche Nutzflächen
LUNG	Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie
RegWaKlim	Regionale Grundwassernutzung im Klimawandel
RPV	Regionaler Planungsverband Vorpommern
RREP	Regionales Raumentwicklungsprogramm
SRES	Special Report on Emission Scenarios
WDCC	World Data Center for Climate Change
WETTREG	Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode

1 Einleitung

Roland Wenk & Robert Mandtke, RPV; Jesko Hirschfeld, IÖW¹

Im Rahmen des Modellvorhabens der Raumordnung „Anpassung an den Klimawandel und Klimaschutz in der Planungsregion Vorpommern“ (KlimaMORO), das durch Mittel des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung unterstützt wurde, konnte der Regionale Planungsverband Vorpommern die mit dem Klimawandel verbundenen Raumentwicklungsprozesse untersuchen. Die Projektphase erstreckte sich von 2009 bis 2011. Mit den Projektergebnissen konnte eine regionale Strategie zur Bewältigung des Klimawandels vorgelegt werden, welche verschiedene Maßnahmen des Klimaschutzes kombiniert. Zu den Handlungsfeldern gehörten u. a. die Wasserwirtschaft und der Wasserhaushalt, wodurch Herausforderungen erkannt sowie allgemeine Entwicklungstendenzen, wie z. B. Qualitätsprobleme bei der Neubildung von Grundwasser oder die Belastung der regionalen Trinkwasserversorgung durch starke saisonale Schwankungen, analysiert und aufgedeckt werden konnten. Das Ergebnis zeigte die Notwendigkeit konzeptioneller Arbeiten zur Grund- und Trinkwassersicherung und lieferte damit einen wichtigen Anstoß für das vorliegende Projekt „Regionale Grundwassernutzung im Klimawandel - Kooperative Entwicklung einer raum- und sektorübergreifenden Anpassungsstrategie zur nachhaltigen Sicherung der Wasserversorgung am Beispiel der Region Vorpommern (RegWaKlim)“, das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit im Rahmen des Förderprogramms für „Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel, Förderschwerpunkt: Kommunale Leuchtturmvorhaben sowie Aufbau von lokalen und regionalen Kooperationen“ gefördert wurde.

Schlussfolgerungen aus dem KlimaMORO-Projekt waren u. a., dass aufgrund des Klimawandels in den nächsten Jahrzehnten in der Region Vorpommern ein Rückgang der Grundwasserverfügbarkeit und gleichzeitig ein Anwachsen der Wasserbedarfe in den Sommermonaten zu erwarten sind. Die möglicherweise höheren Niederschläge im Winter werden die Niederschlagsabnahme im Sommer nicht kompensieren können, da diese aufgrund der Dränagen und Entwässerungsgräben überwiegend abfließen und zur Grundwasserneubildung nur wenig beitragen. Höhere Temperaturen werden voraussichtlich den Anstieg des Sommertourismus fördern, was wiederum zu einem höheren Wasserbedarf in den niederschlagsarmen Monaten führt. Hinzu kommen wachsende Beregnungsbedarfe in der Landwirtschaft. Ohne eine Zusammenarbeit der Wasserversorger untereinander besteht die Gefahr der lokalen Überbeanspruchung von Grundwasserressourcen in einzelnen Versorgungsbereichen. Zu den Folgen können ökologische Schäden durch einen zu geringen Grundwasserspiegel oder Salzwasserintrusionen bei einer zu hohen Grundwasserentnahme gehören.

Diese Herausforderungen untersuchte das Projekt RegWaKlim unter der Leitung des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Zusammenarbeit mit dem Regionalen Planungsverband Vorpommern und den Planungsbüros UmweltPlan und IPO.

¹ Die Autorinnen und Autoren der einzelnen Kapitel sind jeweils in der Unterzeile der Kapitelüberschrift aufgeführt.

2 Forschungsansatz

Jesko Hirschfeld, IÖW; Roland Wenk & Robert Mandtke, RPV

Bisher konnten die regionalen Wasserversorger unabhängig voneinander mit ingenieurtechnischen Leistungen einen Ausgleich zwischen der sinkenden Wasserverfügbarkeit und den steigenden Wasserbedarfen erreichen. Der Klimawandel wird die Wasserversorgung jedoch vor Herausforderungen stellen, die nicht mehr einzeln und kommunal abgegrenzt zu bewältigen sind. Das Projekt RegWaKlim sollte durch die Vernetzung wichtiger Akteure dazu beitragen, tragfähige Lösungen für eine nachhaltige Wasserversorgung zu finden. Wichtig dabei waren das Herausarbeiten von Strategien zum Management von Wasserressourcen sowie Strategien zur Entwicklung der Wassergewinnung und des -verbrauchs unter Berücksichtigung persönlicher und institutioneller Perspektiven. Dazu mussten verschiedene Akteure nicht nur aus dem Bereich der Wasserversorgung, sondern auch aus der Land- und Forstwirtschaft, dem Tourismus, dem Naturschutz sowie aus der Landes- und Kommunalebene an einen Tisch gebracht werden.

Neben ingenieurtechnischen Maßnahmen hat das Projekt ebenso naturräumliche Maßnahmen zur Grundwassermehrung sowie die Seite der Wassernutzer berücksichtigt. Zusätzlich wurden in einer erweiterten Kosten-Nutzen-Analyse die Vor- und Nachteile möglicher Maßnahmen aufgezeigt, die sich z. B. aus dem Aufbau einer regionalen Fernwasserversorgung, einer Steigerung des Laubwaldanteils oder einer Renaturierung von Feuchtgebieten ergeben können. Zur Vernetzung der Akteure und gemeinsamen Betrachtung zentraler Fragen sind insgesamt sechs regionale Wasserforen durchgeführt worden. Die Projektergebnisse sollen hiermit nun für kommunale Entscheidungsprozesse zur Verfügung gestellt werden.

Im Fokus des Projektes standen die Bereiche Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft mit ihren Wechselwirkungen zu den Themen Tourismus, Land- und Forstwirtschaft, Siedlungsentwicklung sowie die Steuerungsfunktionen durch die Raumordnung.

Folgende Forschungsfragen sollten durch das Projekt beantwortet werden:

- Wieviel Wasser wird aktuell genutzt?
- Wieviel Wasser wird in Zukunft benötigt?
- Wieviel Wasser ist aktuell verfügbar?
- Wieviel Wasser wird in Zukunft verfügbar sein?
- Wo kann das Wasser in Zukunft knapp werden?
- Wie kann die Wasserverfügbarkeit auch in Zukunft sichergestellt werden?
- Wie sind die möglichen Maßnahmen ökonomisch zu bewerten?

In den folgenden Kapiteln gibt das RegWaKlim-Projektteam Antworten auf diese Fragen und erläutert die dabei verwendeten Analyseansätze. Abschließend gibt der Regionale Planungsverband Vorpommern einen Ausblick darauf, wie diese Ergebnisse in der Region weiter genutzt werden können.

3 Wieviel Wasser wird aktuell genutzt?

Stefan Schulz & Sabine Bentfeld, IPO

Das Untersuchungsgebiet, das aus den Landkreisen Vorpommern-Greifswald und Vorpommern-Rügen besteht, wird flächendeckend durch Wasserverbände versorgt. Die Versorgungsbereiche der einzelnen Wasserwerke stimmen nicht in jedem Fall mit den Grenzen der jeweiligen Zweckverbände überein.² In den meisten Fällen sind die Versorgungsbereiche an Gemeindegrenzen ausgerichtet (Abbildung 1).

Die Fördermengen können im zeitlichen Verlauf eines Jahres je Region sehr unterschiedlich verteilt sein. Eingehender wird dieser Sachverhalt im Abschnitt 7.2 Saisonalität untersucht (Beispiele: Abbildung 2 und Abbildung 3).

Die höchsten absoluten Entnahmen befinden sich wenig überraschend an den größten Siedlungsschwerpunkten des Untersuchungsgebietes. Darunter zählen die Wasserwerke Lüssow (Stadt Stralsund), Lodmannshagen (Unterstützung des Reisegebietes Usedom), Hohenmühl (Stadt Greifswald) und Anklam (Stadt Anklam) zu den Spitzenförderern.

Um die Höhe des Verbrauches überschlägig bewerten zu können, bietet sich eine Gegenüberstellung mit einer Vergleichsregion an. Ähnliche Bedingungen wie im Untersuchungsgebiet sind beispielsweise in Schleswig-Holstein vorhanden. Die dortigen Kreise Dithmarschen, Nordfriesland, Schleswig-Flensburg und Rendsburg-Eckernförde weisen mit zusammen 7.773 km² eine ähnliche Fläche auf wie das Untersuchungsgebiet mit 7.160 km².

Angaben zu genehmigungspflichtigen privaten Grundwasserentnahmen liegen auch vor. Diese Angaben sind jedoch nicht für alle Entnahmestandorte vorhanden, zeitlich lückenhaft und / oder widersprüchlich.³ Daten zu Entnahmen landwirtschaftlicher Betriebe sind erst seit 2014 / 2015 meldepflichtig und liegen dementsprechend nur in Anlehnung an die jeweiligen Wasserrechte vor. Die Angaben der öffentlichen Zweckverbände reichen häufig zurück bis zum Beginn der 1990er Jahre. Daher bilden Sie die Grundlage der weiteren Betrachtungen.

² In Torgelow (24) reicht die Trinkwasserversorgung durch die Stadtwerke derzeit nicht aus, um das gesamte Gemeindegebiet zu versorgen. In Loitz (23) werden durch die dortigen Stadtwerke auch zwei Gemeinden des Zweckverbandes „Boddenküste“ mitversorgt. Ebenso verhält es sich mit den Stadtwerken Pasewalk (35).

³ Für den östlichen Bereich des Untersuchungsgebietes, dem ehemaligen Kreis Uecker-Randow, lagen bis Redaktionsschluss keine Daten zu privaten Entnahmestandorten / -mengen von Seiten der Unteren Wasserbehörde vor.

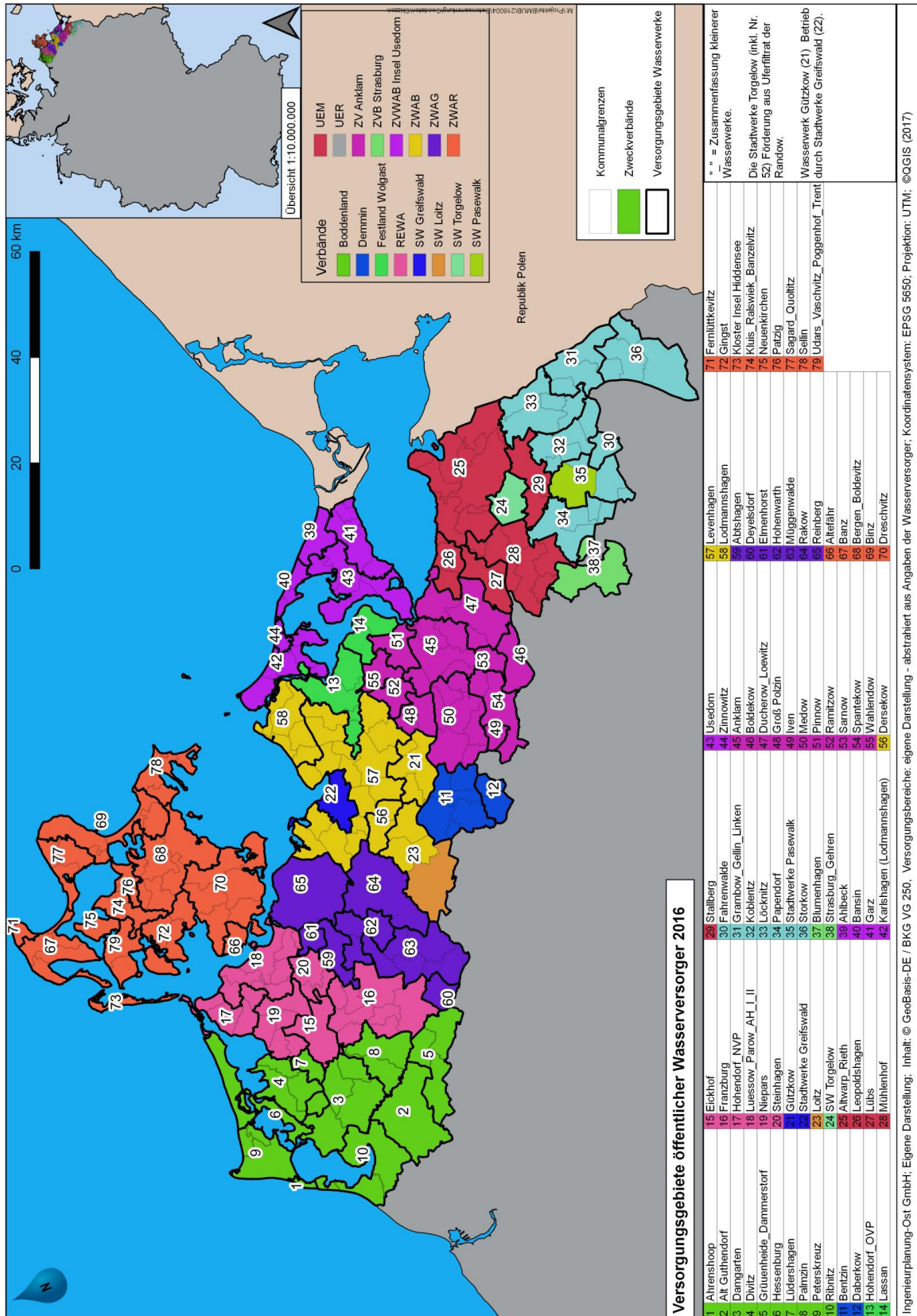


Abbildung 1 Übersicht öffentlicher Trinkwasserversorger

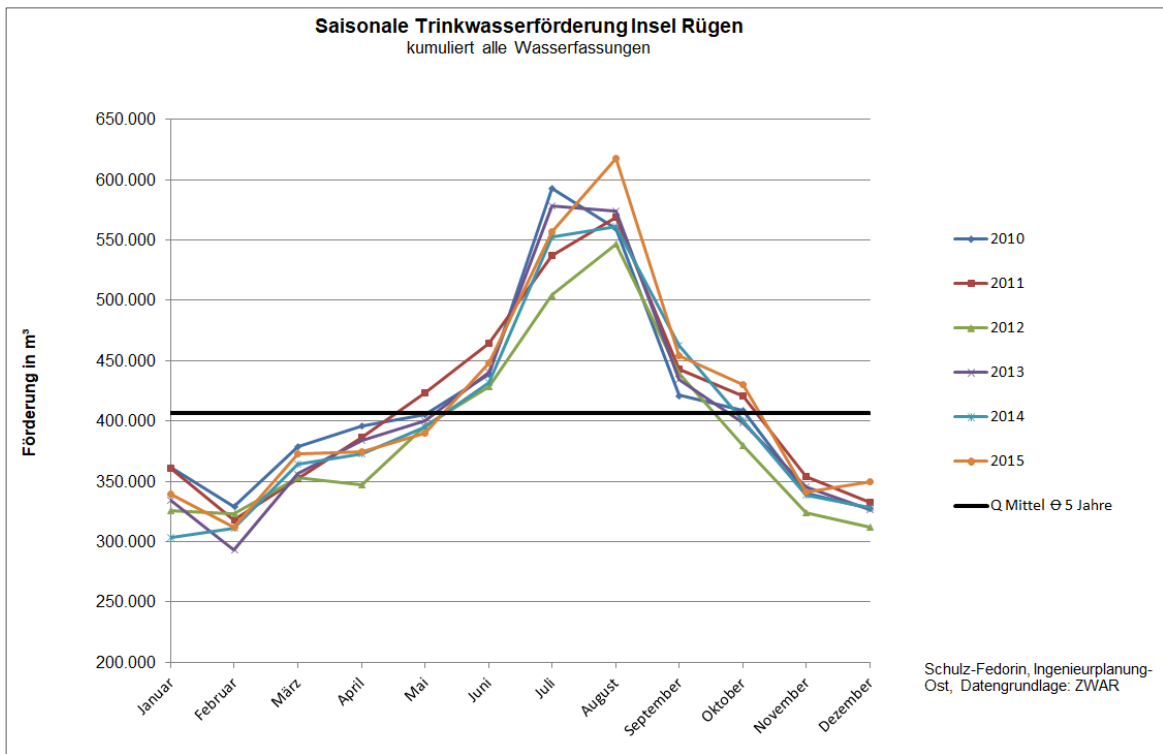


Abbildung 2 Beispiel saisonaler Fördermengen im Jahresverlauf an den Wasserfassungen der Insel Rügen in m³

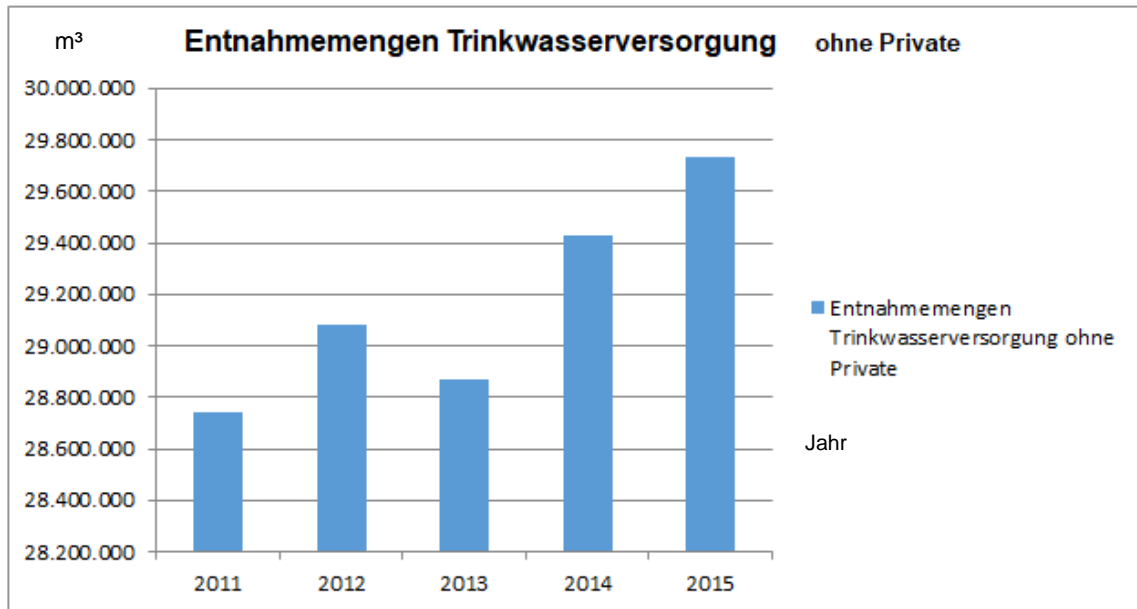


Abbildung 3 Vergleich der Entnahmemengen im Untersuchungsgebiet über die Referenzzeit des Projektes pro Jahr in m³

Der überwiegende Teil der Fördermenge entfällt auf die öffentliche Trinkwasserförderung. Weitere Bedarfe an zu förderndem Trinkwasser ergeben sich zum einen in der Landwirtschaft durch Feldberegnung, Brauchwasser und Viehtränkung, zum anderen durch Gastgewerbeeinrichtungen als Trink- oder Brauchwasser (Abbildung 4).

Industriell genutztes Brauchwasser für Brauereien, Kies- oder Betonwerke stellt nur einen geringen Bruchteil dar und wurde während der weiteren Betrachtungen nicht weiter berücksichtigt.

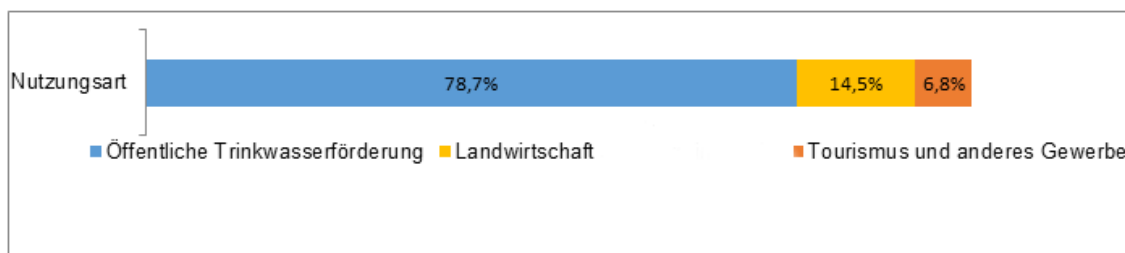


Abbildung 4 Grundwasserförderung gem. Art der Nutzung nach Volumina pro Jahr, Stand 2015

4 Wieviel Wasser wird in Zukunft benötigt?

Stefan Schulz, IPO

Für die Modellierung der zukünftigen Szenarien wird für die einzelnen Bedarfsbereiche (vgl. Abbildung 5) eine Entwicklung angenommen und in das bestehende Modell eingegeben. Über das zuvor ermittelte Verhältnis zwischen dem Wasserverbrauch pro Mensch pro Tag und Gemeinde werden die entsprechenden Trinkwasserbedarfe abgeleitet.



Abbildung 5 Berücksichtigte Bedarfsbereiche für die Entwicklung der Szenarien

Szenario Einwohnerentwicklung

Bei der Betrachtung der Einwohnerentwicklung sind folgende Annahmen getroffen worden: Es wird für den Zeitraum bis 2050 in allen Gemeinden eine Stagnation der bishe-

rigen Einwohnerzahl angenommen. Davon ausgenommen werden die beiden Oberzentren Greifswald und Stralsund. Für diese zwei Gemeinden wird mit einem Zuwachs an Wohnbevölkerung von insgesamt 10 Prozent bis 2050 gerechnet.⁴

Dieses Szenario ist in Übereinstimmung mit dem Amt für Raumordnung und Landesplanung Vorpommern festgelegt worden und entspricht den Annahmen der Raumordnung in diesem Bereich. Es ist einfach gehalten und der Tatsache geschuldet, dass in diesem Themenfeld Einschätzungen sehr schwer fallen. Gerade in den kleinen, dünnbesiedelten Gemeinden Vorpommerns führen geringe Änderungen beispielsweise im Hinblick auf den Zu- oder Fortzug von Frauen, zu erheblichen Unterschieden im Zeitraum der kommenden 30 Jahre. Durch diese einfachen Annahmen soll der Gesamtfehler geringgehalten werden. Dennoch werden gerade in den ländlichen Gemeinden Vorpommerns erhebliche regionale Abweichungen auftreten.

Ein Anstieg der Fördermenge um 5 Prozent gegenüber dem Jahr 2015 wirkt zunächst nicht besonders alarmierend. Das zugrundeliegende Modell der Entnahmen und auch das geohydraulische Modell zur Grundwasserabsenkung bestehen jedoch unter der Annahme, dass alle bereits existierenden Wasserfassungen bestehen bleiben und nur etwas mehr gefördert werden müsste. Bei einer größeren Fördermenge erweitert sich jedoch auch der Einzugsbereich und mit ihm auch der Eintrag von unerwünschten Stoffen. Dabei werden nur 62 Prozent der Einzugsbereiche öffentlicher Versorger durch Trinkwasserschutzgebiete abgedeckt.⁵ Die weitere Versorgung mit Trinkwasser guten Zustands hängt davon ab, dass keine weiteren Wasserwerke ausfallen und die bestehenden ihre Fördermenge erhöhen können.⁶



Szenario Tourismusentwicklung

Für die Szenario-Entwicklung in Bezug auf den Bereich Tourismus wurde das Untersuchungsgebiet anhand der statistischen Grundlage in Reisegebiete unterteilt. Je Reisegebiet und ausgewählten Gemeinden liegen standardisiert erhobene Werte des Statistischen Landesamtes zugrunde. Zusätzlich wurden Daten zu nicht standardisiert erhobenen Übernachtungen in Ferienhäusern und -wohnungen ergänzt (vgl. Tabelle 1).⁷ Weiterhin wurden die Ämter in der touristisch attraktiven Küstenlage nach in Planung befindlichen Projekten abgefragt. Die Ergebnisse sind in die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung eingeflossen.

⁴ Die Hansestadt Greifswald rechnet allein bis 2030 mit einem Zuwachs von ca.5 % bzw. 3.000 Einwohnern. Aus: Universitäts- und Hansestadt Greifswald (2017). „Greifswald 2030plus Integriertes Stadtentwicklungskonzept der Universitäts- und Hansestadt Greifswald“, S. 42.

⁵ <https://www.umweltkarten.mv-regierung.de>

⁶ Mehrere Wasserwerke im Untersuchungsgebiet wurden bis auf absehbare Zeit von der Förderung ausgenommen, da die Nitrat-Werte kritische Grenzen erreichten.

⁷ Siehe: Ministerium für Bau, Wirtschaft und Tourismus Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.)(2013). Die Auswirkungen von Ferienhäusern und Ferienwohnungen auf die Regionalentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern.

Tabelle 1 Angenommene nicht-registrierte Übernachtungen in Reisegebieten

Reisegebiet	Angenommenes zusätzliches Übernachtungsaufkommen aus:	
	Ferienwohnungen / -häuser	in Planung
Rügen / Hiddensee	+12 %	
Vorpommern	+34 %	+3.400 Betten
Fischland-Darß-Zingst	+30 %	
Insel Usedom	+13 %	+2.646 Betten
Greifswald / Stralsund	+34 %	

Als Ergebnis dieser Modellierungen konnten für alle Reisegebiete vergangene Trends herausgearbeitet und unter den geschilderten Annahmen in die Zukunft projiziert werden. Ausgehend von diesen Reisegebieten wurden die Touristen anteilig auf die jeweiligen Gemeinden aufgeteilt und den zu versorgenden Einwohnern hinzugerechnet. Die Zunahmen im Bereich der Übernachtungen liegen zwischen +27 Prozent und +32 Prozent im Vergleich zu den Werten aus dem Jahr 2015.

Die anteiligen Zunahmen sind nur begrenzt aussagekräftig. Für die Abschätzung der zusätzlichen Bedarfe an zu entnehmendem Grundwasser ist die absolute Zahl der zu versorgenden Touristen maßgeblich, die hier ebenfalls abgeleitet wurde (vgl. Abbildung 6 und die nachfolgende Tabelle 2).

Tabelle 2 Szenario Zuwachs an Übernachtungen je Reisegebiet in absoluten Werten

Reisegebiet	Insel Usedom	Insel Rügen / Hiddensee	Vorpommern	Fischland-Darß-Zingst	Greifswald	Stralsund
Angenommener Zuwachs an Übernachtungen	1.527.759	1.682.499	286.624	742.644	68.331	136.031
Summe: Ca. 4.4 Mio. zusätzliche Übernachtungen bis 2050						

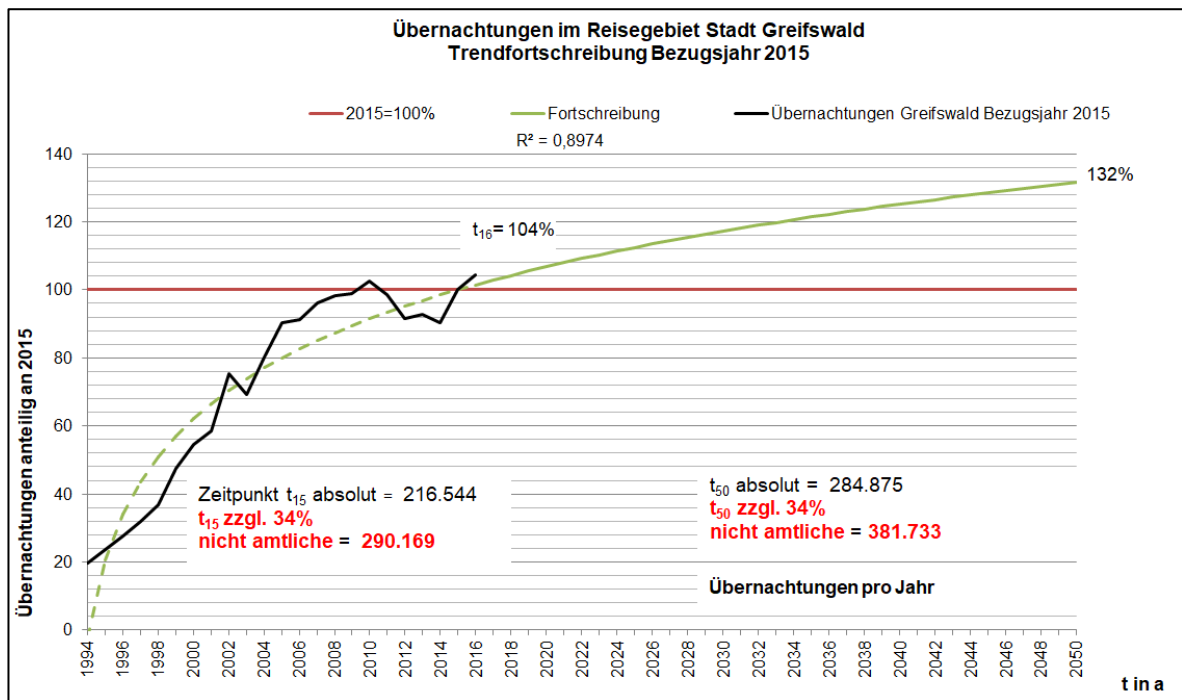
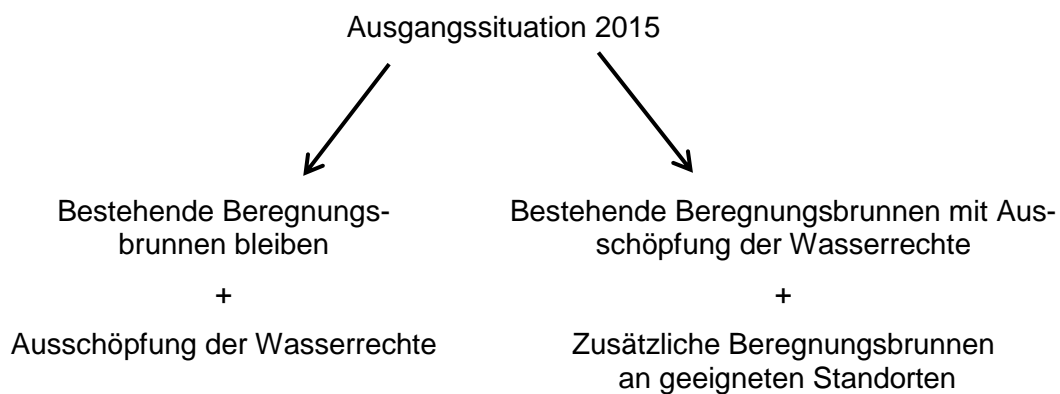


Abbildung 6 Beispielhafte Darstellung eines Reisegebietes (Stadt Greifswald) - Entwicklung der Übernachtungszahlen mit Fortschreibung bis in das Jahr 2050¹



Szenario Landwirtschaft

Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung sind zwei Szenarien gerechnet worden:



Die Beregnung wird als bestimmender Faktor der landwirtschaftlichen Grundwasserbedarfe eingeschätzt. Hinzu kommt, wenn auch in deutlich geringerem Umfang, die Verwendung als Brauchwasser oder bei der Viehtränkung. Die Zahlen der Agrarstrukturere-

hebungen der Jahre 2010 und 2013 lassen keinen nennenswerten Anstieg des Tierbestandes erkennen. Vielmehr ist bei einem konstanten Niveau eine stärkere Konzentration auf größere Betriebe zu beobachten.⁸

Die Ermittlung geeigneter Standorte erfolgte im Verfahren einer Weißkartierung. Ausgeschlossen für mögliche Beregnung wurden dabei: Trinkwasserschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Wiesen, Weiden und natürliche Bodenbedeckung, 2 km Puffer um bestehende Beregnungsstandorte.

Nach den ersten Ausschlüssen wurde die restliche Fläche mit einem Gitter der Maschenweite 2,5 km x 2,5 km unterteilt und die resultierenden Geometrien weiter eingeschränkt. So werden weiterhin ausgeschlossen: Flächen kleiner 2 km², Flächen mit stark abweichendem Verhältnis von Fläche zu Umfang (unterstes Quantil) (vgl. Abbildung 7).

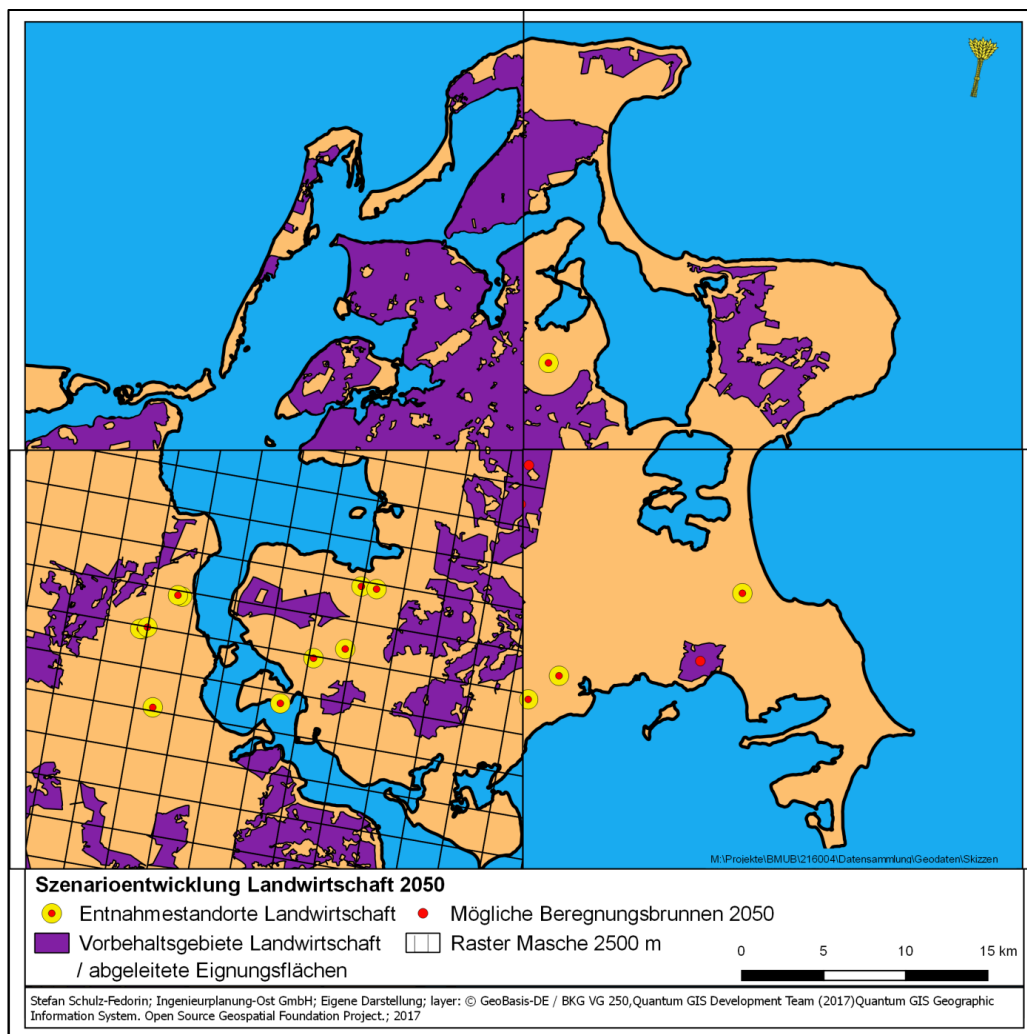


Abbildung 7 Schema - Ermittlung Eignungsstandorte Beregnung

⁸ Statistik des Landes Mecklenburg-Vorpommern unter: <https://www.laiv-mv.de/Statistik/Zahlen-und-Fakten/Wirtschaftsbereiche/Land%E2%80%93und-Forstwirtschaft,-Fischerei>.

Aus den Residuen wurden Mittelpunkte abgeleitet (Centroide) und mit einer Fördermenge versehen. Diese Standorte wurden in der Feinabstimmung geohydraulisch sinnvoll gesetzt. Die letzte Annahme bezieht sich auf die Berechnungsmenge und wurde in Absprache mit den Projektpartnern bei 80 mm pro Jahr auf 10 Prozent der potentiell berechnungsbedürftigen Flächen festgelegt.

Als Ergebnis wurden 202 hypothetische Brunnenstandorte festgelegt, welche im geohydraulischen Modell (vgl. Kapitel 7) mit insgesamt ca. 6,1 Mio. m³ Wasser berücksichtigt wurden (vgl. nachfolgende Übersicht).

Bisherige Brunnen für Beregnung:	ca. 90
Fördermenge:	4,1 Mio. pro Jahr (bei Ausschöpfung aller Wasserrechte)
Zusätzliche Brunnen für Beregnung:	202
Fördermenge:	6,1 Mio. m ³ pro Jahr
<hr/>	
– Summe für das Jahr 2050:	ca. 300 Beregnungsbrunnen mit 10,2 Mio. m ³ pro Jahr

Schwierigkeiten hierbei ergeben sich vor allem, da es sich, analog zum Tourismusgewerbe, um eine stark saisonal ausgeprägte Förderung handelt. Die Situation erhöhten Wasserbedarfes im Sommerhalbjahr würde sich dadurch flächendeckend noch erheblich verschärfen.

In Kombination mit den Szenarien für die Einwohnerentwicklung und den Tourismus rechnen wir im Jahr mit einem Mehrbedarf und damit Anstieg der Wasserentnahmen um 6 bis 8 Mio. m³ gegenüber dem Jahr 2015.

5 Wieviel Wasser ist aktuell verfügbar?

Heiko Hennig, UmweltPlan

5.1 Grundwasserressourcenkarte des Landes

Einen ersten Überblick über die verfügbaren Grundwasservorkommen gibt die Grundwasserressourcenkarte des Landes⁹ (Hennig et al. 2014). In der Abbildung 8 sind die wesentlichen Karteninhalte für die Region Vorpommern dargestellt. Sie verdeutlicht, dass die meisten Grundwasservorkommen in Vorpommern nur mit höherem Aufwand hydraulisch erschlossen werden können. Aufgrund hydraulischer Einschränkungen, wie einer geringen Mächtigkeit und einer geringen Durchlässigkeit der grundwasserführenden Schichten, ist die Ergiebigkeit der Brunnen verhältnismäßig gering (meist <math><30 \text{ m}^3/\text{h}</math>). Darüber hinaus ist verbreitet mit hydrochemischen Einschränkungen zu rechnen, die u.a. Sulfat und Nitrat betreffen und überwiegend aus der landwirtschaftlichen Nutzung resultieren.

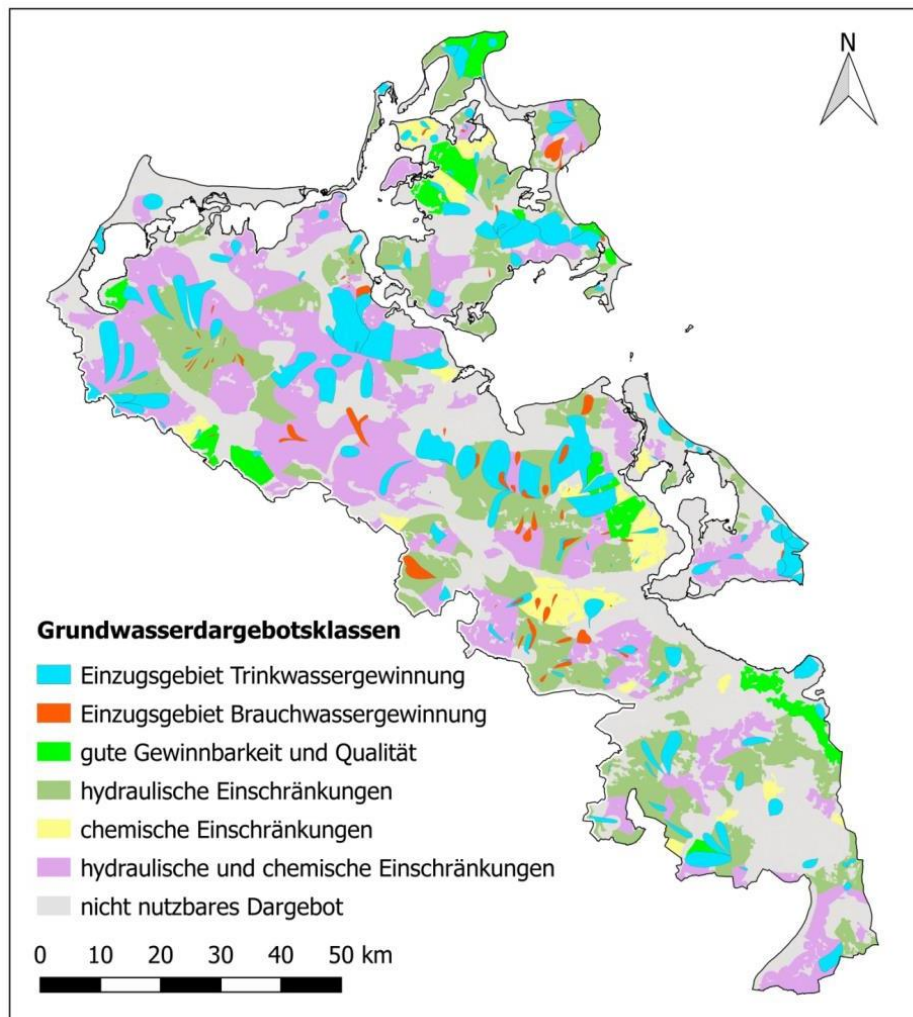


Abbildung 8 Grundwasserressourcen in Vorpommern

⁹ <https://www.umweltkarten.mv-regierung.de>

5.2 Aktuelle Grundwasserneubildung / Referenzzustand

Die mittleren Grundwasserneubildungsraten wurden unter Zugrundelegung der Klimadaten von 1971-2000 berechnet. Sie ergaben sich als Differenz aus dem Niederschlag, der realen Verdunstung und dem schnellen, überwiegend dränungsbedingten Direktabfluss. Die Verdunstungsberechnung basiert dabei auf dem BAGLUVA-Verfahren (ATV-DVWK-M 504), die Direktabflüsse wurden nach Hennig & Hilgert (2007) geschätzt. Das Verfahren ist analog zur landesweiten Berechnung aus den Jahren 2007 und 2009; da einzelne Berechnungsroutinen optimiert wurden, weichen die Ergebnisse geringfügig vom landesweiten Datensatz¹⁰ ab.

In der Abbildung 9 sind die Grundwasserneubildungsraten für die Planungsregion dargestellt. Deutlich ist ein Nordwest-Südost-Gefälle erkennbar, das überwiegend auf die klimatischen Randbedingungen zurückzuführen ist. Im Nordwesten der Planungsregion liegen die Grundwasserneubildungsraten verbreitet über 100 mm/a, während im Südosten Raten unter 100 mm/a dominieren.

Das in der Abbildung 9 dargestellte Berechnungsergebnis ist der Zutritt von Niederschlagswasser zur gesättigten Bodenzone. Bei ungespannten Verhältnissen entspricht die Grundwasserneubildung weitgehend der Speisung des oberen Grundwasserleiters. In der Planungsregion sind aber auch durch Geschiebemergel bedeckte Grundwasserleiter weit verbreitet. Wenn der genutzte Grundwasserleiter bedeckt und stark gespannt ist, treten in den Hangendschichten laterale Abflüsse auf, die meist an Sandlagen innerhalb des Geschiebemergels gebunden sind und einen Teil des Grundwassers direkt den Vorflutern zuführen. Dadurch vermindert sich die Speisungsrate des Grundwasserleiters. Eine noch stärkere Minderung tritt auf, wenn der betrachtete Grundwasserleiter durch einen oberen Grundwasserleiter überlagert wird. Die innerhalb der Hangendschichten auftretende Verminderung der Grundwasserneubildungsraten kann über Reduktionsfaktoren berücksichtigt werden (Hennig & Hilgert 2018). So reduziert sich die Speisung eines durch Geschiebemergel bedeckten Grundwasserleiters auf ca. 80 Prozent des neu gebildeten Grundwassers; bei Vorhandensein eines lokalen oberen Grundwasserleiters beträgt die Speisung des Hauptgrundwasserleiters nur ca. 50 Prozent des neu gebildeten Grundwassers. In der Abbildung 10 sind die Grundwasserleitertypen und die sich daraus ergebenden Reduktionsfaktoren für die Planungsregion dargestellt.

Die Speisungsrate des für die Wasserversorgung relevanten Hauptgrundwasserleiters ergibt sich als Produkt der Grundwasserneubildungsraten (vgl. Abbildung 9) und der Reduktionsfaktoren (vgl. Abbildung 10) und ist in der Abbildung 11 dokumentiert. Das Nordwest-Südost-Gefälle der Grundwasserneubildungsraten ist bei der Speisungsrate nicht ausgeprägt, da im Nordwesten bedeckte Grundwasserleiter weit verbreitet sind, die dort die Grundwasserspeisung vermindern. Die mittlere Speisungsrate des Hauptgrundwasserleiters liegt in Vorpommern bei 110 mm/a.

¹⁰ <https://www.umweltkarten.mv-regierung.de>

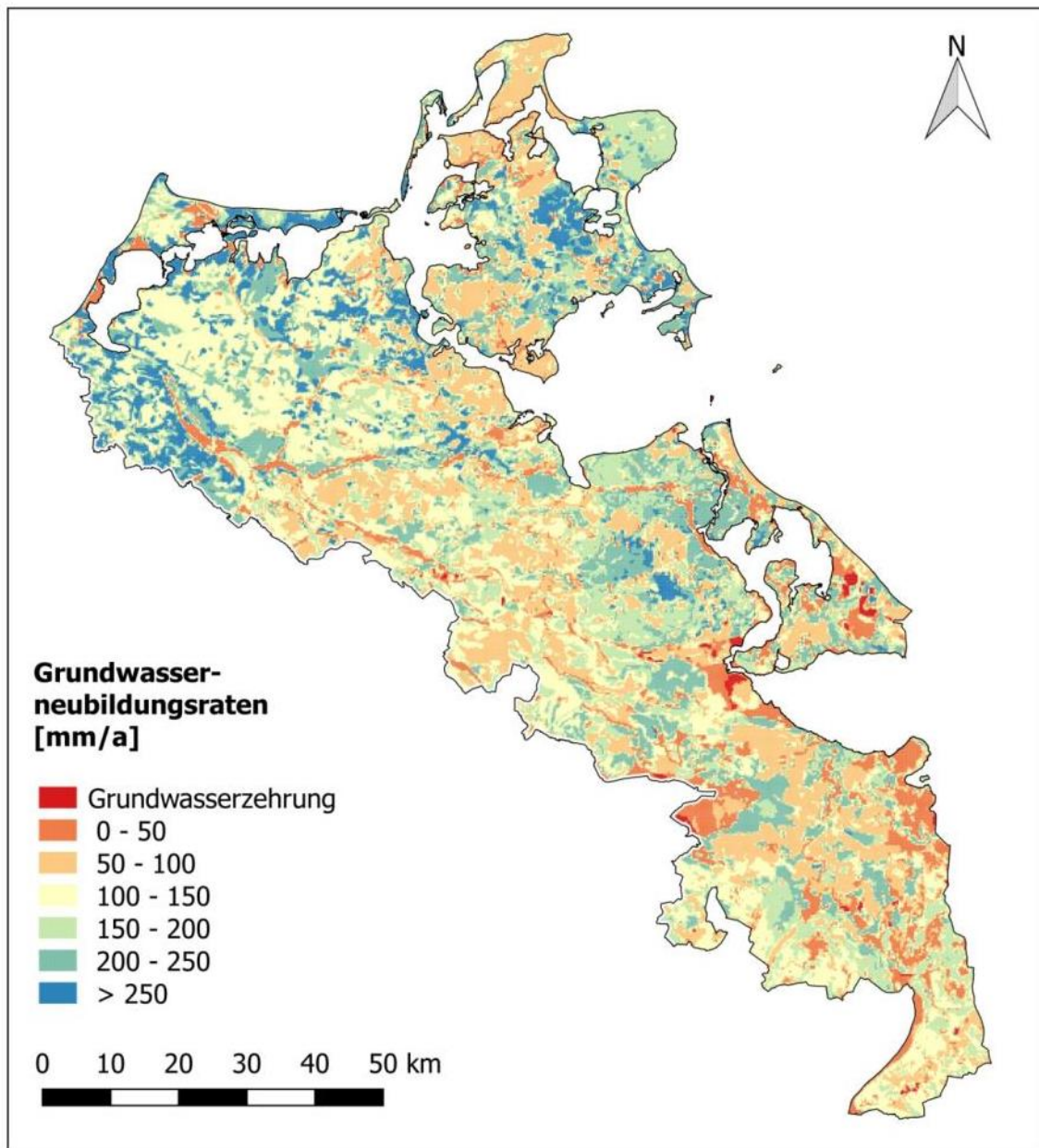


Abbildung 9 Aktuelle Grundwasserneubildungsraten

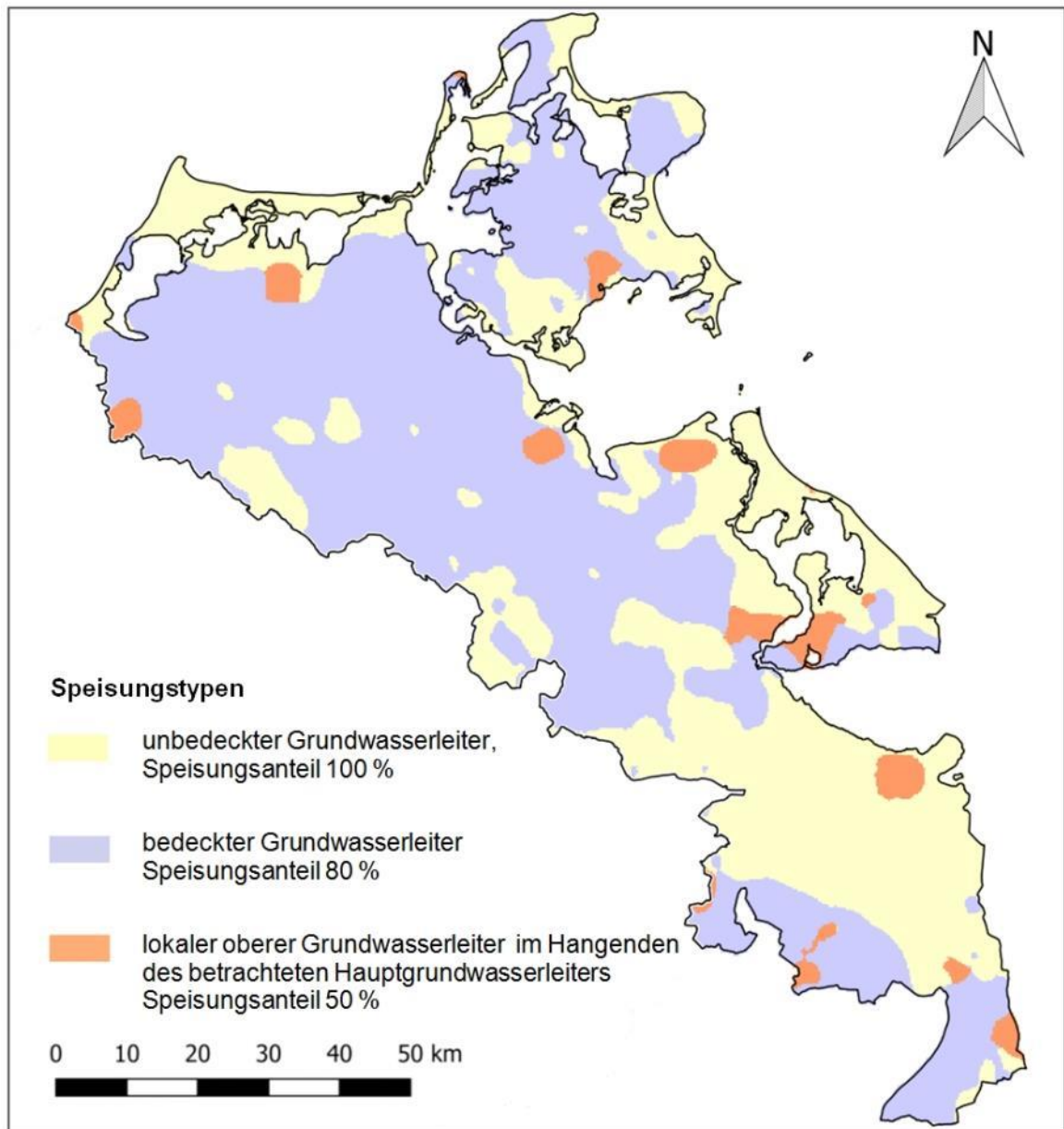


Abbildung 10 Speisungstypen und Reduktionsfaktoren (nach Hennig & Hilgert 2018)

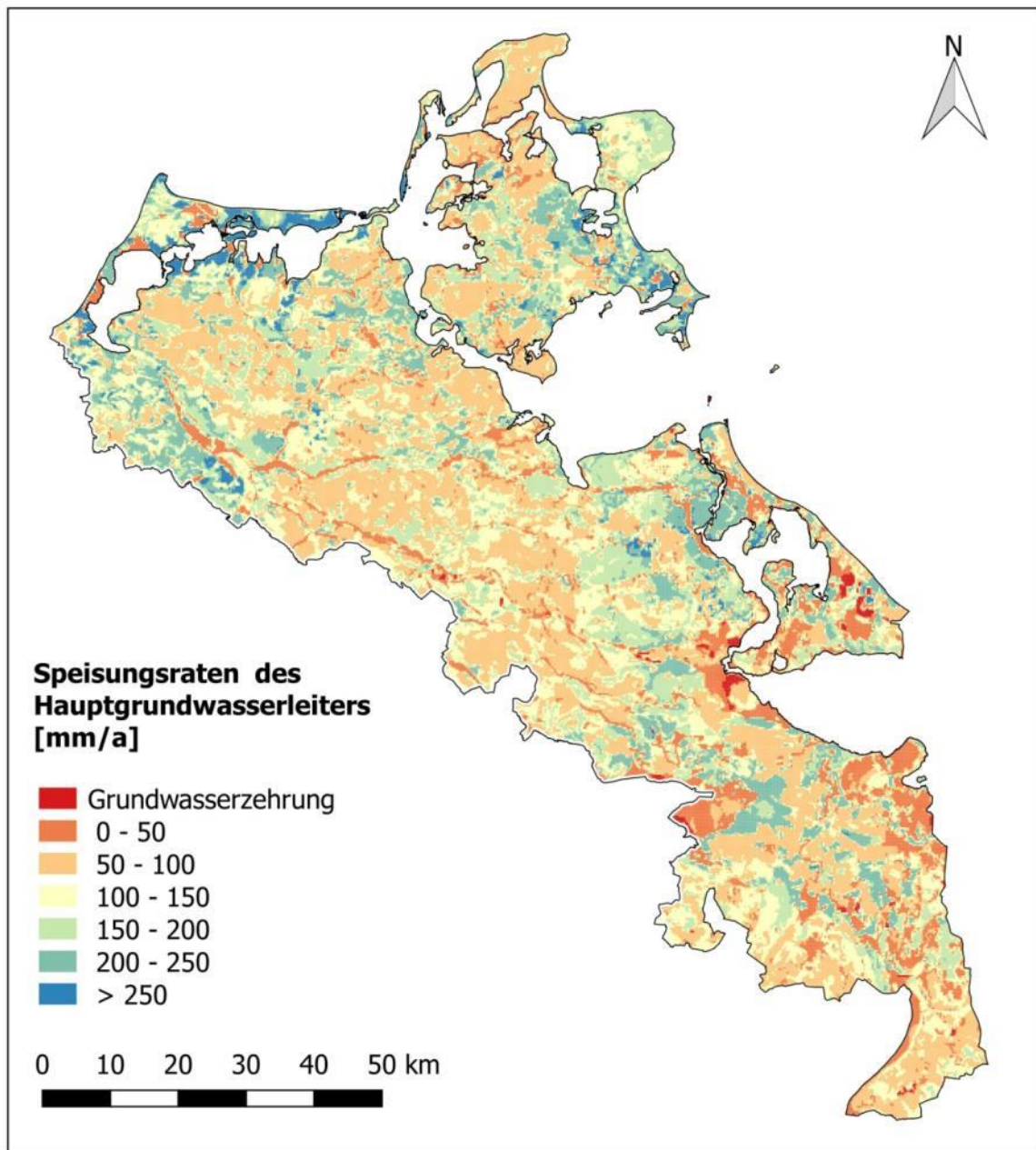


Abbildung 11 Speisungsrate des Hauptgrundwasserleiters

5.3 Grundwasserströmungsmodellierung

Um die Verfügbarkeit von Grundwasser in der Planungsregion Vorpommern zu untersuchen, wurde ein regionales Grundwasserströmungsmodell aufgebaut, das die hydrogeologische Struktur des Grundwasserleiters sowie die relevanten Randbedingungen, wie Grundwasserneubildung, Entnahmen und Gewässer, berücksichtigt. Mithilfe des Grundwasserströmungsmodells wurden Szenarien zum Grundwasserhaushalt berechnet, die sowohl die Änderungen der klimatischen Randbedingungen als auch Änderungen in der Grundwassernutzung und Landnutzung umfassen (Kapitel 8.1).

Hydrogeologisches Modell

Die Grundlage der Grundwasserströmungsmodellierung bildet ein hydrogeologisches Modell, das die Grundwasserleiter-Stauer-Abfolge in der Region beschreibt.

In Vorpommern ist überwiegend nur ein pleistozänes Grundwasserstockwerk anzutreffen, tertiäre Grundwasserleiter fehlen fast vollständig (Ad-hoc-AG Hydrogeologie 2016). Jordan & Weder (1995) sprechen von einem „mittleren Stockwerk“, in dem sich eine „regionale Grundwasserdynamik“ ausbildet. In Anlehnung an Hölting & Coldewey (2005) werden diese Schichten im Weiteren als *Hauptgrundwasserleiter* bezeichnet. Vertikale Druckdifferenzen sind im Allgemeinen sehr gering und man kann überwiegend von einer guten hydraulischen Kommunikation sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung ausgehen. Ausnahmen bilden die Stauchungszonen der Halbinsel Jasmund und der Brohmer Berge, deren schuppenartige hydrogeologische Struktur teilweise zu starken hydraulischen Gradienten zwischen benachbarten Messstellen führt. Darüber hinaus können in Vorpommern vereinzelt lokale obere Grundwasserleiter auftreten, die für die regionalen Fließprozesse und Dargebotsbetrachtungen aber ohne Bedeutung sind.

Das hydrogeologische Strukturmodell des Hauptgrundwasserleiters wurde auf der Basis des Landesbohrdatenspeichers des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern erarbeitet. Im Modellierungsraum standen knapp 30.000 Aufschlüsse zur Verfügung, deren Schichtenverzeichnisse automatisiert ausgewertet wurden. Der Algorithmus ist in Hennig & Hilgert (2013) erläutert.

Die Schichtgrenzen wurden geostatistisch über ein Detrended Kriging interpoliert, das in der Hydrometeorologie verbreitet ist (z.B. Holdaway 1996, Hinterding 2002) und auch bei der landesweiten Interpolation der Grundwassergleichen in Mecklenburg-Vorpommern erfolgreich angewandt wurde (Hilgert & Hennig 2017). Als Trendfläche diente der Grundwasserstand. Es ist geplant, die Vorgehensweise in einer späteren Publikation ausführlicher zu beschreiben.

Die Mächtigkeit des Grundwasserleiters ergab sich als Differenz der interpolierten Ober- und Unterkante und ist in der Abbildung 12 dargestellt. Sie ist mit Werten, die überwiegend zwischen 10 m und 20 m liegen, relativ gering und bietet im Zusammenspiel mit der meist feinsandigen, maximal mittelsandigen Ausbildung des Grundwasserleiters nur mäßige Bedingungen für eine an einem Standort konzentrierte Grundwassergewinnung.

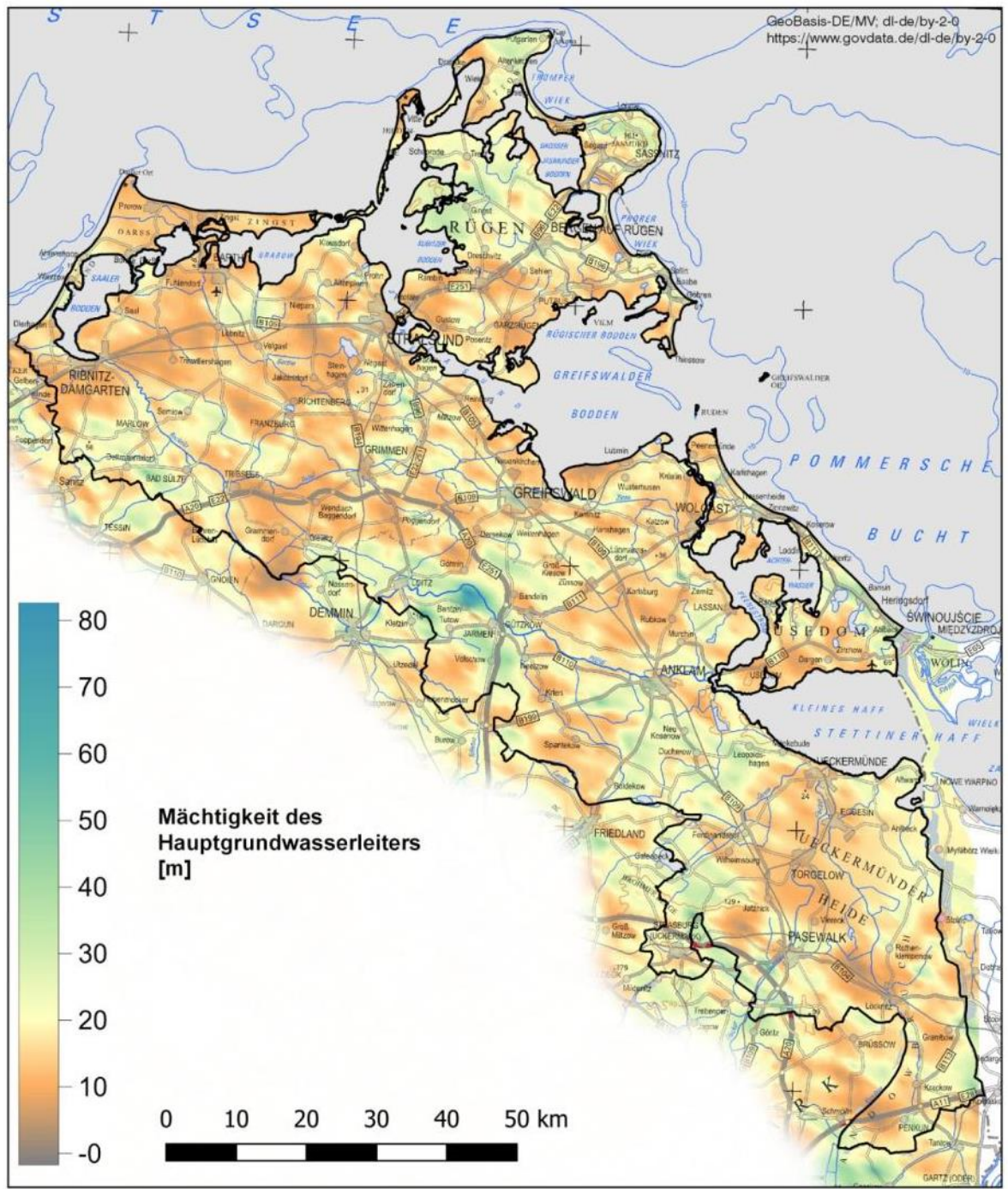


Abbildung 12 Mächtigkeit des Hauptgrundwasserleiters

Geohydraulisches Modell

Als Simulationssoftware diente das Finite-Differenzen Modell MODFLOW. Das horizontal ebene Grundwasserströmungsmodell für den regionalen Hauptgrundwasserleiter wurde mit einer einheitlichen Zellweite von 250 m erstellt. Die Berechnungen erfolgten stationär für mehrjährige Mittelwerte.

Als Zuflussrandbedingung dienten die Speisungsraten des Hauptgrundwasserleiters, die flächendifferenziert ermittelt worden sind (Kapitel 5.2). Die Grundwasserentnahmen gingen brunnenbezogen als Mittelwerte der Jahre 2012-2015 in das Modell ein (Datenerfassung siehe Kapitel 3). Die Entlastung in Oberflächengewässer und Dräne wurde analog zu Hilgert & Hennig (2017) in das geohydraulische Modell integriert, wobei die Mächtigkeit der Hangendschichten, welche die Grundwasseranbindung der Oberflächengewässer maßgeblich regelt, im Rahmen der hydrogeologischen Modellerstellung neu ermittelt wurde (siehe oben).

Die stationäre Kalibrierung erfolgte anhand der mittleren Grundwasserstände an den 230 Landesmessstellen für die Jahre 2012-2015, die etwa auch dem langjährigen Mittel entsprechen. Ergänzend wurden 2.052 asynchrone Archivwasserspiegel hinzugezogen und bei der Kalibrierung niedriger gewichtet. Kalibrierungsparameter war die Durchlässigkeit des Grundwasserleiters. In der Abbildung 14 sind die berechneten Grundwassergleichen für die aktuellen Verhältnisse dargestellt, einen Vergleich zwischen den berechneten und den gemessenen Grundwasserständen zeigt die Abbildung 13. Es wurde eine sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Wasserständen erzielt, was eine hohe Qualität des Strömungsmodells indiziert. Lediglich die starken Gradienten im Bereich der Stauchungszonen Jasmunds und der Brohmer Berge können mit dem horizontal ebenen Modellansatz nicht vollständig wiedergegeben werden, so dass für diese lokalen Bereiche Szenariorechnungen nicht möglich sind.

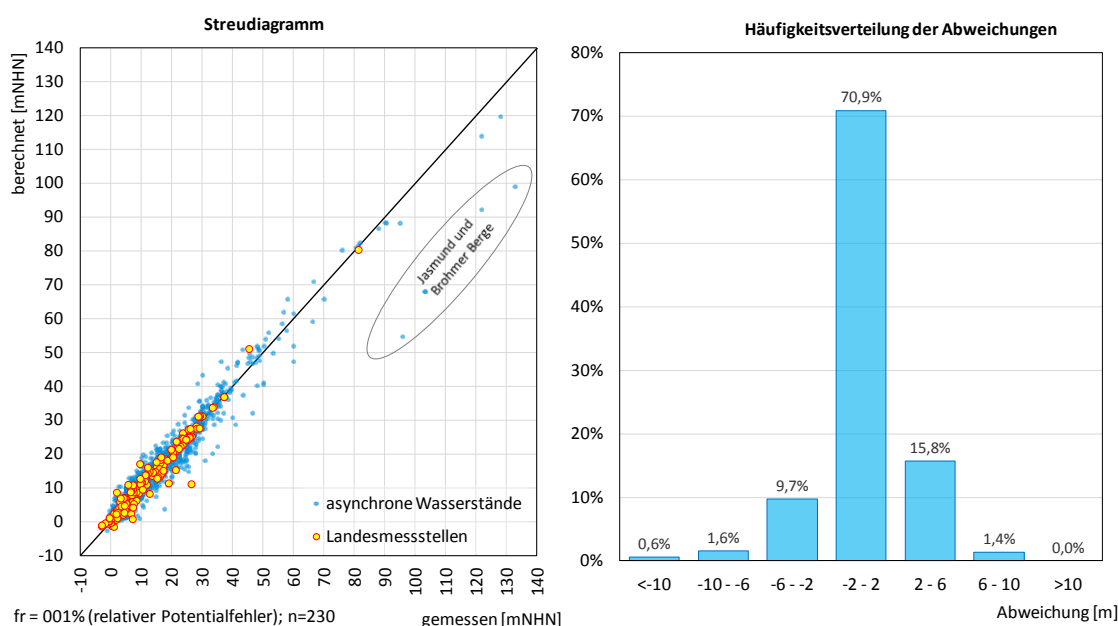


Abbildung 13 Vergleich berechneter und gemessener Grundwasserstände

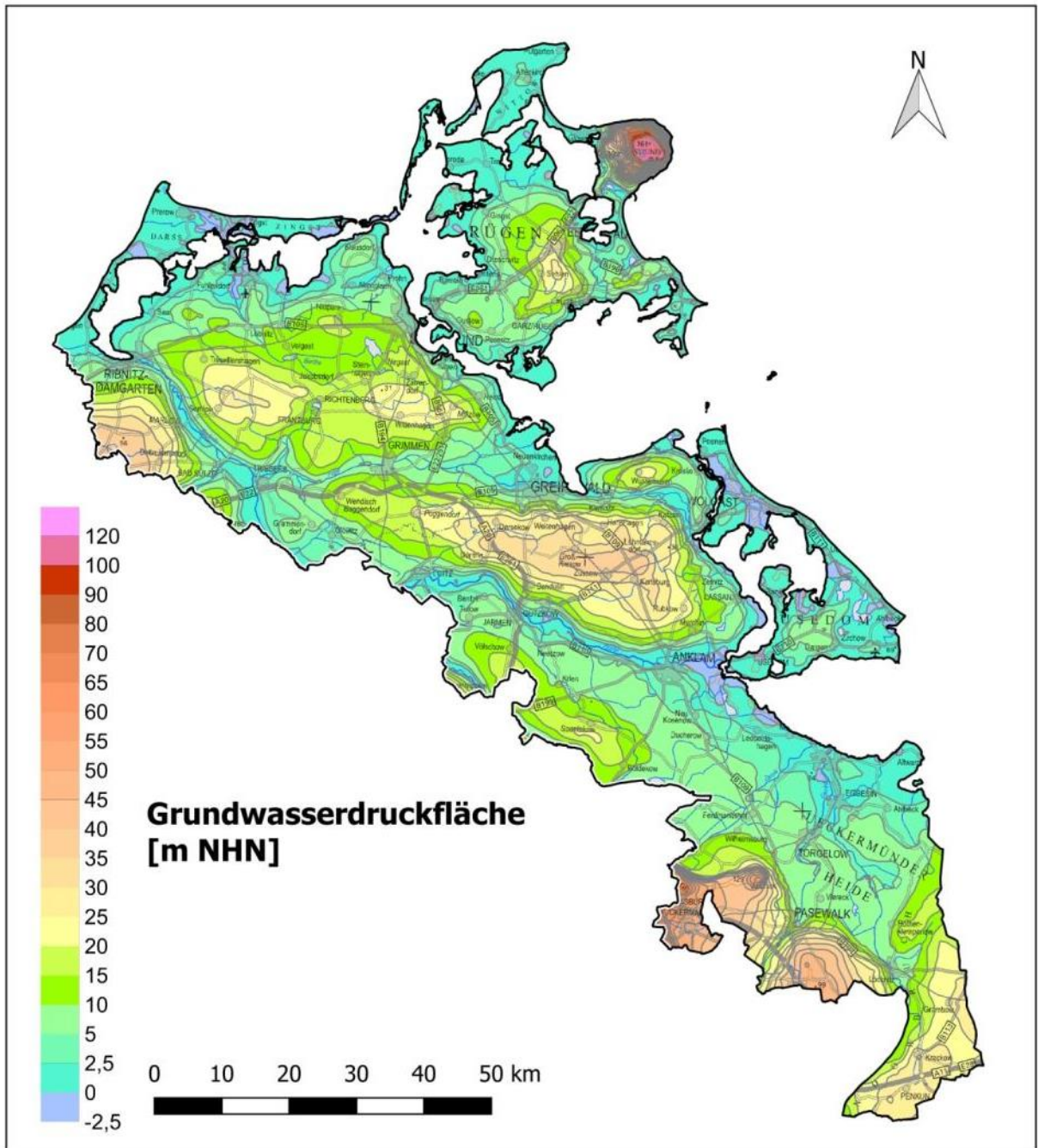


Abbildung 14 Berechnete Grundwasserdruckfläche des Hauptgrundwasserleiters

6 Wieviel Wasser wird in Zukunft verfügbar sein?

Heiko Hennig, UmweltPlan

Um zu untersuchen, inwieweit sich klimatische Veränderungen auf das Grundwasserangebot und die Grundwasserströmungsverhältnisse auswirken können, sind Szenarien möglicher Grundwasserneubildungsänderungen entwickelt worden. Die zukünftige Grundwasserneubildung ergibt sich dabei am Ende einer Modellkette, die in der Abbildung 15 veranschaulicht ist.

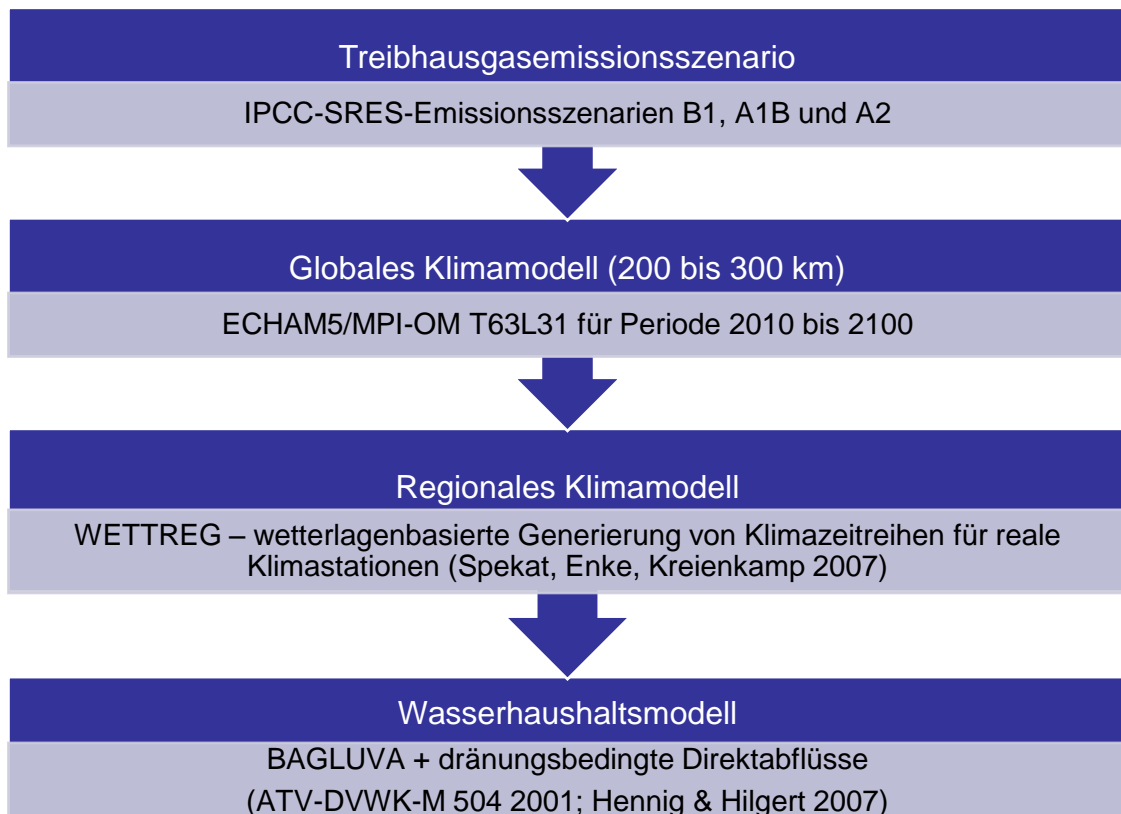


Abbildung 15 Modellkette zur Simulation möglicher Grundwasserneubildungsänderungen

Aus Annahmen zur globalen Entwicklung der Wirtschaft und der Bevölkerung werden Treibhausgasemissionsszenarien abgeleitet, die als Randbedingungen für globale Klimamodelle dienen. Diese liefern Szenarien für die großräumige Verteilung der klimatischen Kennzahlen, welche wiederum mithilfe von regionalen Klimamodellen auf eine höhere räumliche Auflösung projiziert werden müssen, damit anschließend die Grundwasserneubildung über Wasserhaushaltsmodelle berechnet werden kann.

Eine in Deutschland verbreitete Kombination sind die in der Tabelle 3 kurz charakterisierten IPCC-SRES-Szenarien (IPCC 2007) A1B, A2 und B1 in Verbindung mit dem globalen Klimamodell ECHAM5/MPI-OM (Roeckner et al. 2003). Die damit berechneten großräumigen Klimaszenarien wurden mithilfe statistischer oder dynamischer Regionalisierungsverfahren räumlich verfeinert, wobei sich die Ergebnisse der Regionalmodelle deutlich unterscheiden können. Einen Überblick über die in Deutschland gebräuchlichen Regionalmodelle sowie die Spannweite möglicher Ergebnisse geben z. B. Jacob

et al. (2012), Herrmann et al. (2017). Sie untersuchten, wie sich die Verwendung unterschiedlicher Regionalmodelle auf die projizierte Änderung der Grundwasserneubildung in Niedersachsen auswirkt. Dabei zeigte sich, dass die Streuung der Berechnungsergebnisse zu groß ist, als dass sie als Grundlage wasserwirtschaftlicher Anpassungsmaßnahmen genutzt werden könnte.

Tabelle 3 Emissionsszenarien für das 21. Jahrhundert (IPCC 2007)

	Beschreibung	Treibhausgasemissionen
A1B	Globalisierung, Wirtschaftswachstum, ausgewogene Nutzung aller Energieträger	kontinuierlich zunehmend bis zur Mitte des Jahrhunderts, danach geringer Rückgang (mittleres, eher optimistisches Szenario)
A2	langsamere und stärker lokale Entwicklung, stetiges Bevölkerungswachstum	kontinuierlich zunehmend bis zum Ende des Jahrhunderts (pessimistisches Szenario)
B1	Globalisierung, Wirtschaftswachstum, aber ressourcenschonender als bei A1B	moderat zunehmend bis zur Mitte des Jahrhunderts, danach starker Rückgang (sehr optimistisches Szenario)

Die Zielstellung von RegWaKlim war es, mögliche Anpassungsstrategien an klimatisch bedingte Änderungen des Wasserhaushaltes zu diskutieren und ein enges Zusammenwirken der einzelnen Interessengruppen zu initiieren. Dafür war es erforderlich, eine Bandbreite möglicher Entwicklungen aufzuzeigen, um den Akteuren eine Diskussionsgrundlage zu bieten. Die Ableitung konkreter wasserwirtschaftlicher Planungen ist auf dem derzeitigen Kenntnisstand noch nicht gerechtfertigt.

Angesichts dieser Zielstellung und des begrenzten Projektumfangs wurde darauf verzichtet, die Wirkung unterschiedlicher Klimaprojektionen auf die zu berechnende Grundwasserneubildung zu untersuchen. Die Grundwasserneubildungsberechnung erfolgte auf der Basis der Klimaszenarien des statistischen Modells WETTREG (Spekat, Enke & Kreienkamp 2007), das Klimazeitreihen für reale Stationen stochastisch generiert. Dabei zeigte sich, dass sich bereits durch die in der Tabelle 3 beschriebenen Emissionsszenarien eine große Spannweite möglicher Grundwasserneubildungsänderungen ergibt. Im Weiteren werden die Berechnungsergebnisse vorgestellt.

Die Ergebnisse der im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten WETTREG-Simulationen waren über die Klimadatenbank des World Data Center for Climate (WDCC) verfügbar. Es wurden die Klimazeitreihen für die Stationen in Mecklenburg-Vorpommern und in Brandenburg ausgewertet. Innerhalb der Planungsregion befinden sich fünf Klimastationen; für die räumliche Interpolation (Inverse-Distance-Weighting analog zu Spekat, Enke & Kreienkamp 2007) wurden angrenzende Stationen hinzugezogen. In der Abbildung 16 ist die Lage der Klimastationen visualisiert.

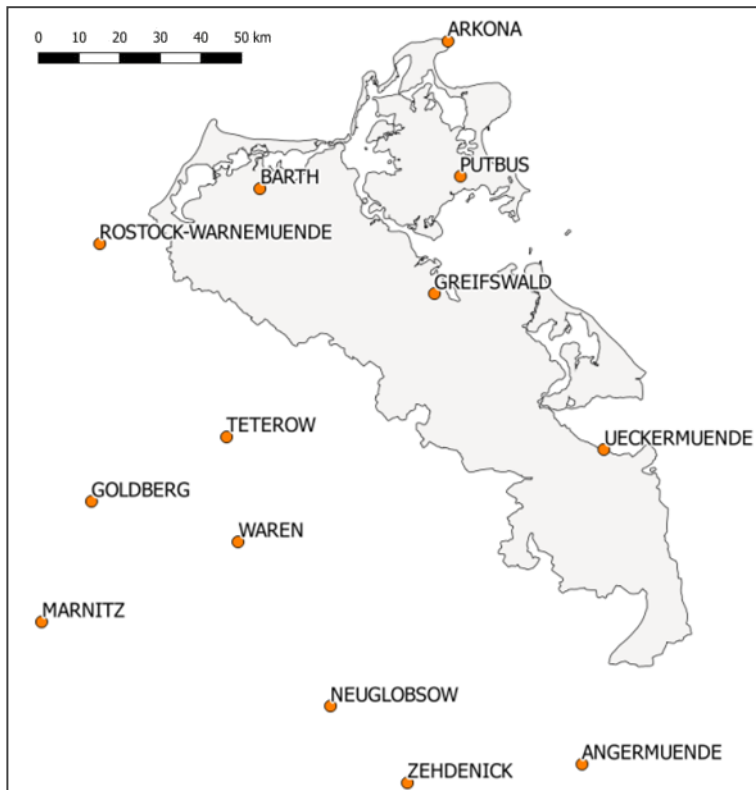


Abbildung 16 Verteilung der WETTREG-Klimastationen

Die WETTREG-Simulationen umfassten jeweils 10 stochastische Realisierungen. Betrachtet man langjährige Mittelwerte, sind die Unterschiede zwischen den Einzelrealisierungen nur relativ gering, da sie alle die gleiche Grundvariabilität aufweisen. Den Betrachtungen im Rahmen von RegWaKlim wurde die Realisierung 7 zugrunde gelegt.

In der Abbildung 17 sind beispielhaft für das Emissionsszenario A1B die bis 2100 projizierten Niederschlagsänderungen für die Klimastationen in der Planungsregion dargestellt. Um die längerfristige Entwicklung hervorzuheben, wurden die Zeitreihen als gleitendes 9-Jahresmittel abgebildet. Auch wenn die Werte räumlich und zeitlich stark variieren, ergibt sich an allen Klimastationen tendenziell eine Abnahme des Niederschlages bis zum Ende des Jahrhunderts. Für den in RegWaKlim angesetzten Aussagehorizont von 2050 wird eine Abnahme auf ca. 95 Prozent des Niederschlages der Referenzperiode (1971-2000) erwartet.

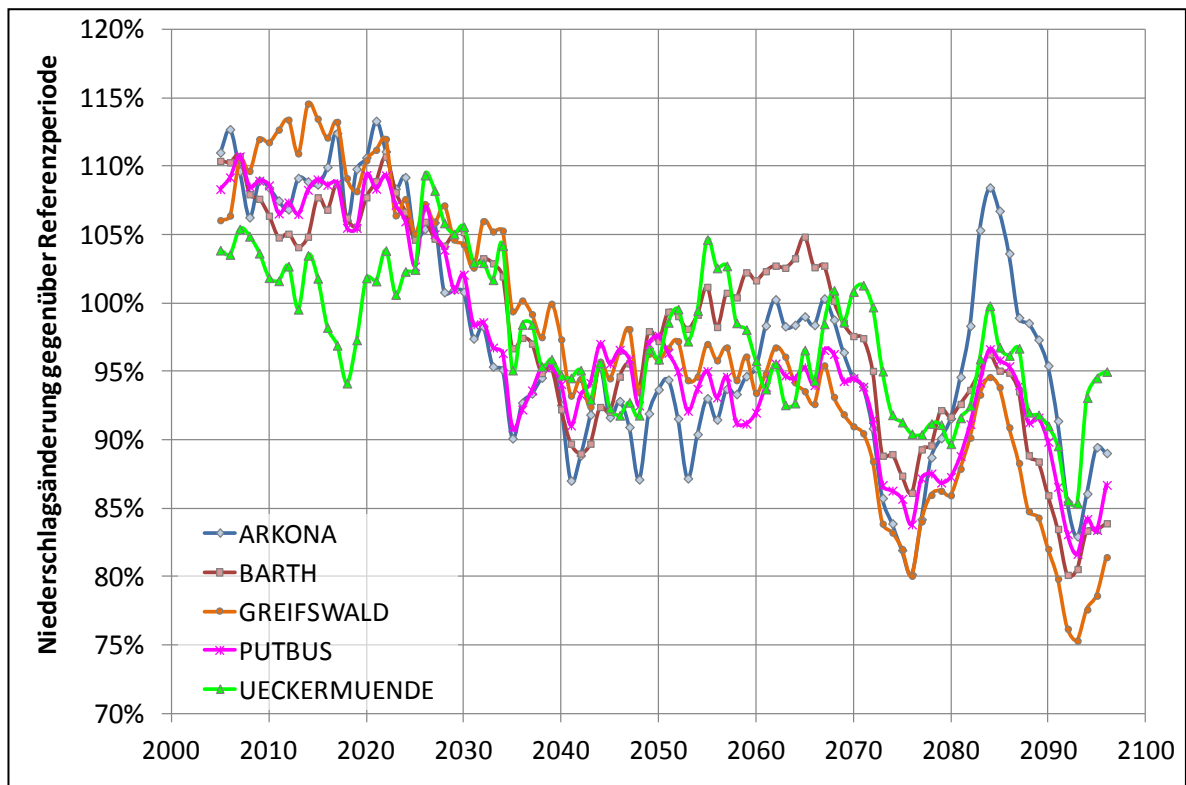


Abbildung 17 Szenarien des Niederschlages an den Stationen der Planungsregion (gleitendes 9-Jahresmittel, A1B-Emissionsszenario)

Für die drei betrachteten Emissionsszenarien wurden die Klimadaten aller Stationen ausgewertet. Angesichts der Fragestellung – die Projektion der mittleren Grundwasserneubildung zur Mitte des Jahrhunderts – erfolgten die Verdunstungsberechnung und die räumliche Interpolation der Änderungen für das zwanzigjährige Mittel 2041-2060. Die Ergebnisse sind in den nachstehenden Abbildungen (vgl. Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20) dargestellt, wobei klare Unterschiede zwischen den drei Emissionsszenarien deutlich werden.

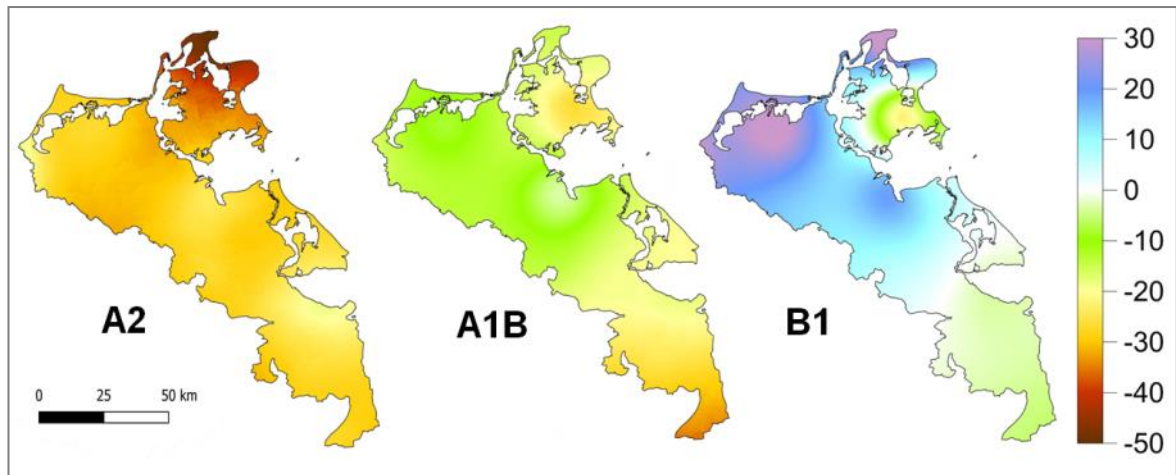


Abbildung 18 Änderung des mittleren Jahresniederschlages 2041-2060 [mm]

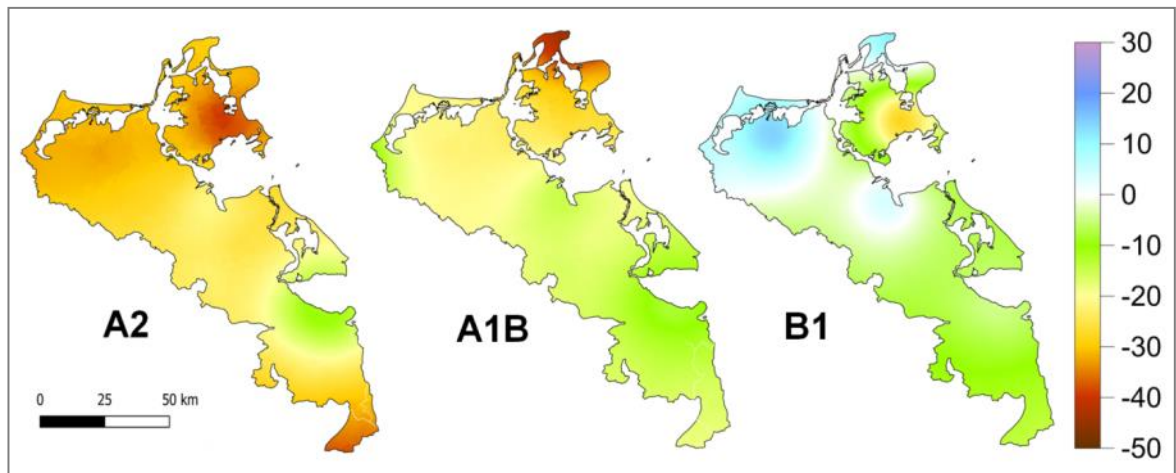


Abbildung 19 Änderung des mittleren Sommerniederschlages 2041-2060 [mm]

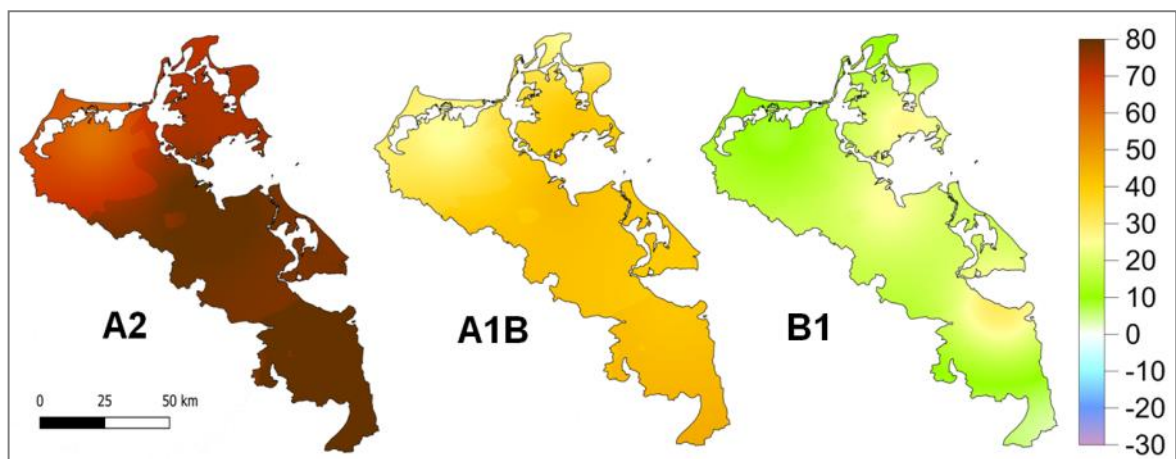


Abbildung 20 Änderung der mittleren Grasreferenzverdunstung 2041-2060 [mm]

Die stärkste Abnahme des Jahresniederschlages, verbunden mit der größten Erhöhung des Verdunstungsanspruches der Atmosphäre (Grasreferenzverdunstung) ergibt sich für das pessimistische Szenario A2 (langsame und lokal orientierte Wirtschaftsentwicklung). Bei Zugrundelegung des optimistischen Emissionsszenarien B1 (ressourcenschonendes Wachstum) werden hingegen nur geringe Änderungen projiziert.

Vor allem für das mittlere Szenario A1B zeigt sich teilweise eine deutliche Verschiebung von den Sommer- zu den Winterniederschlägen. Während der Jahresniederschlag im Norden in der Planungsregion durchschnittlich 10...20 mm abnehmen würde, liegt die projizierte Abnahme des Sommerniederschlags eher bei 20...30 mm, die Winterniederschläge nähmen entsprechend zu. Angesichts des hohen Anteils von Dränflächen würden die höheren Winterniederschläge nur zu einem sehr geringen Teil grundwasserneubildungswirksam werden, da überschüssiges Wasser über die Dräne schnell in die Gewässer geleitet wird. Ferner wären eine Zunahme des Landoberflächenabflusses und damit einhergehend eine stärkere Bodenerosion zu erwarten.

Unter Zugrundelegung der Änderungen in den Klimadaten wurden die Grundwasserneubildungsraten für den Betrachtungshorizont um 2050 neu berechnet. In der Abbildung 21 sind die Änderungen visualisiert. Es ergibt sich eine Abnahme der Grundwasserneubildung um durchschnittlich 30 mm/a beim Szenario A2, um 20 mm/a beim mittleren Szenario A1B und um weniger als 10 mm/a beim optimistischen Szenario B1. Das als Summe der Grundwasserneubildungsraten berechnete Grundwasserdargebot würde sich in der Planungsregion auf 78 Prozent, 83 Prozent bzw. 95 Prozent vermindern.

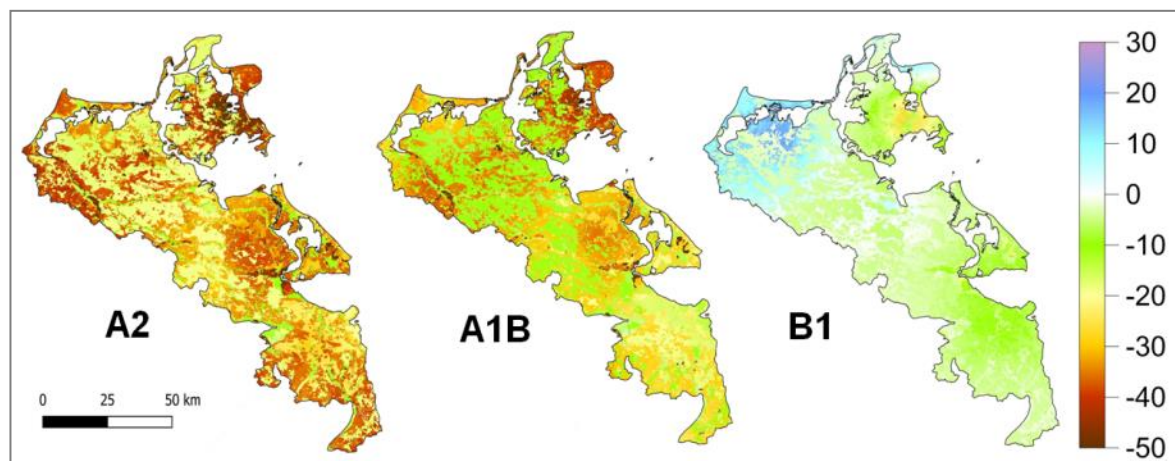


Abbildung 21 Änderung der mittleren Grundwasserneubildungsraten 2041-2060 [mm]

7 Wo kann das Wasser in Zukunft knapp werden?

UmweltPlan, IPO

7.1 Geohydraulische Szenariorechnungen zur Auswirkung möglicher Klimaänderungen

Heiko Hennig, UmweltPlan

Mithilfe des Geohydraulischen Modells wurde berechnet, wie sich die Änderungen der Grundwasserneubildungsraten und die Wasserbedarfsschätzung für 2050 auf die mittleren Grundwasserstände auswirken würden. Für einige Bereiche sind aufgrund des vereinfachten Modelldesigns – horizontal ebene Strömungsprozesse im einheitlichen Hauptgrundwasserleiter – keine verwertbaren Aussagen möglich (ausgegraute Flächen in Abbildung 22).

- (a) Jasmund und Brohmer Berge: Die Lagerungsverhältnisse sind stark gestört und es ist kein zusammenhängender Grundwasserleiter ausgebildet.
- (b) Uckermark: Der Hauptgrundwasserleiter ist von ca. 40 m mächtigem, sehr schlecht durchlässigem Geschiebemergel bedeckt und nicht an die oberirdischen Gewässer angebunden. Der Grundwasserspiegel ist ca. 10 m niedriger als die Wasserspiegel in den Seen und Bächen. Es ist daher davon auszugehen, dass Niederschläge ganz überwiegend oberflächennah abfließen und somit das Grundwasserströmungsgeschehen nicht signifikant durch die Grundwasserneubildung am Standort beeinflusst wird.

Klimabedingte Änderungen der mittleren Grundwasserstände

Die Berechnungsergebnisse sind in der Abbildung 22 visualisiert. Bei den Szenarien A2 und A1B sind verbreitet Grundwasserabsenkungen um ca. 50 cm zu verzeichnen. In den Entlastungsgebieten ist die mittlere Absenkung aufgrund der ausgleichenden Wirkung der Vorfluter zwar geringer, hier sind aber verstärkte Probleme mit der Sommertrockenheit zu erwarten (geringere Abflüsse). Besonders stark wirkt sich die verminderte Grundwasserneubildung auf den hydraulischen Hochlagen aus, die meist als Grundwasserspeisungsgebiete wirken. Für diese Bereiche wurden 1...3 m niedrigere Grundwasserstände berechnet.

Beim optimistischen Szenario B1 würden die Grundwasserstände nur geringfügig sinken – durchschnittlich 50 cm in den Speisungsgebieten, sonst meist weniger als 10 cm.

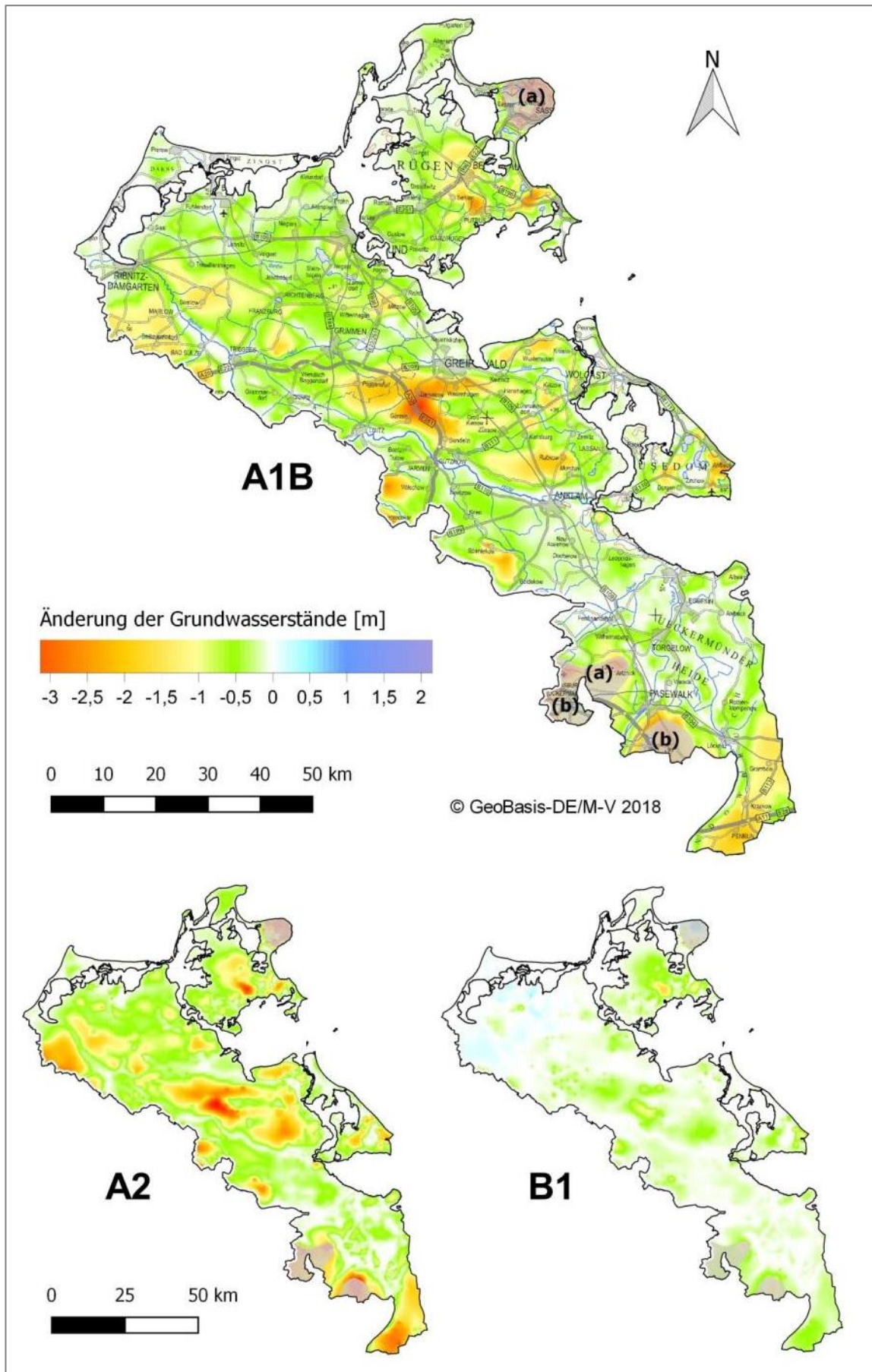


Abbildung 22 Änderung der mittleren Grundwasserstände 2041-2060

Folgen möglicher Klimaänderungen auf die Grundwassernutzung

Ein abnehmendes Grundwasserdargebot und sinkende Grundwasserstände, wie in den Szenarien A2 und A1B, wirken sich nachteilig auf die Wasserversorgung und den Schutz grundwasserabhängiger Ökosysteme aus.

Auf den touristisch stark frequentierten Ostseeinseln ist das nutzbare Grundwasserdargebot begrenzt, so dass zu den kleineren Inseln Usedom und Darß bereits jetzt Trinkwasser vom Festland übergeleitet wird. Aktuelle Trinkwasserversorgungskonzepte der zuständigen Wasserversorger sehen den Ausbau der Überleitungen vor, um den steigenden Bedarf der Wassernutzer zu decken (UmweltPlan 2014, 2015, Boddenland 2012, WASTRA-PLAN 2015). Klimatische Änderungen sind in den Versorgungskonzepten bislang nicht berücksichtigt.

Im Falle der Szenarien A2 und A1B würde sich das Grundwasserdargebot der Inseln stark vermindern; schon bei einem leichten Absinken der Grundwasserstände müsste die Entnahme stark reduziert werden, um eine Intrusion von Brackwasser aus der Ostsee in das Grundwasser zu vermeiden. Eine große Versorgungslücke wäre die Folge, welche nur durch eine weiter erhöhte Überleitung vom Festland oder die Entsalzung von Ostseewasser gedeckt werden könnte.

Auf dem Festland ist in der Regel ein ausreichendes Grundwasserdargebot für die Trinkwasserversorgung vorhanden. Die Grundwasserleiter sind aber überwiegend relativ gering mächtig und nur mäßig gut durchlässig (Brunnenergiebigkeit meist unter 30 m³/h), so dass für die Wassergewinnung große Fassungstrassen mit vielen Brunnen erforderlich sind. Hydrochemische Qualitätsbeeinträchtigungen – meist infolge der intensiven Düngepraxis in der landwirtschaftlichen Nutzung – sind verbreitet und weisen in den letzten Jahren eine deutlich zunehmende Tendenz auf (Trinkwasserversorgungskonzeption des Landes Mecklenburg-Vorpommern 2019, Teil 1: Statusbericht¹¹). Es sind Anstiege von Nitrat und Sulfat zu beobachten, ferner wurden vermehrt Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle nachgewiesen. Auf die Qualitätsprobleme wurde mit der Schließung von Wasserfassungen (z.B. Nipmerow, Krummin, Barth) oder der Anpassung der Aufbereitungstechnologie (Niederdruckumkehrosiose in Stralsund) reagiert. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die Grundwasservorkommen in der Planungsregion Vorpommern aufgrund der fehlenden Verbreitung des Rupeltones nur relativ schlecht gegen den Aufstieg salinärer Tiefenwässer geschützt sind und daher starke Grundwasserabsenkungen vermieden werden müssen, um eine Versalzung der Grundwasservorkommen zu verhindern.

Bei abnehmendem Grundwasserdargebot und sinkenden Grundwasserständen ist eine Verschärfung der Qualitätsprobleme zu erwarten. Da bei den hydraulisch wenig ergiebigen Grundwasserleitern eine Erhöhung der Grundwasserabsenkung meist nicht möglich ist, müssten die Fassungstrassen weiter vergrößert werden, was die Nutzungskon-

¹¹ <https://www.regierung-mv.de/Publikationen/>

flikte unter anderem mit der Landwirtschaft verstärken würde. Zur Deckung des Bedarfes wäre es erforderlich, auf hydrochemisch stärker beeinträchtigte Grundwasserressourcen zurückzugreifen (siehe Kapitel 5.1, Abbildung 8) und die Aufbereitungstechnologie entsprechend anzupassen.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Genehmigung von Grundwasserentnahmen ist, dass eine nachteilige Beeinflussung grundwasserabhängiger Ökosysteme infolge der Absenkung des Grundwasserspiegels ausgeschlossen werden kann (z. B. Moore, Sölle, grundwassergespeiste Seen). Bereits bei den derzeitigen Klimaverhältnissen sind Nutzungskonflikte in diesem Bereich verbreitet.

Bei einer Verminderung der Grundwasserneubildung und einem flächenhaften Absinken des Grundwasserstandes, wie in den Szenarien A2 und A1B, würden grundwasserabhängige Ökosysteme beeinträchtigt werden. Vor diesem Hintergrund wäre auch die Erschließung neuer Fassungsstandorte umweltrechtlich zunehmend problematisch.

7.2 Saisonalität

Stefan Schulz, IPO

Das vorgestellte und angewendete geohydraulische Modell bezieht sich stationär auf mehrjährige Mittelwerte (Siehe 5.3. Geohydraulisches Modell). Mit seiner Hilfe konnte untersucht werden, wie sich mögliche Änderungen des Grundwasserdargebotes auf den Grundwasserhaushalt auswirken. Darüber hinaus ist zu beachten, dass je nach Ausprägung der örtlichen Wirtschaftsstruktur teilweise deutliche saisonale Schwankungen auftreten, die vor allem durch den Tourismus verursacht werden (siehe Abbildung 24 und Abbildung 25).

Werden die vier Monate mit dem höchsten Wasserbrauch und die vier Monate mit dem geringsten Wasserverbrauch in Relation gesetzt, lassen sich je Wasserfassung Aussagen zu den saisonalen Schwankungen treffen. Die Werte des gebildeten Quotienten reichen dabei von 1,0 bis 3,9 oder sogar 6,8 (also Sommermonatsverbräuche bis teilweise fast zum Siebenfachen der Wintermonatsverbräuche). Die Tendenz zu erhöhter Saisonalität in Küstennähe ist sehr deutlich. In diesen Bereichen wird in den Spitzenzeiten ein vielfaches des Jahresdurchschnittes an Grundwasser gefördert. Besonders deutlich wird dieser Aspekt bei der Gegenüberstellung der Förderganglinien zweier unterschiedlicher Wasserfassungen.

Nehmen wir z. B. die Wasserfassungen der Stadtwerke Pasewalk im südlichen Hinterland des Landkreises Vorpommern-Greifswald und im Gegensatz dazu die kumulierten Wasserfassungen der Insel Rügen.

In der Abbildung 23 a) sehen wir einen deutlichen und kontinuierlichen Anstieg der Fördermengen mit einem Maximum in den Sommermonaten Juli-August. Die Entnahmen nehmen anschließend wieder deutlich bis unter den Jahresdurchschnitt ab. In der Abbildung 23 b) entspricht die Fördermenge dagegen keiner eindeutig zuzuordnenden Regelmäßigkeit. Die Schwankungen um den Jahresdurchschnitt fallen weniger stark

aus. Ein Muster saisonaler Änderungen des Nutzerkreises ist in der Hinterlandgemeinde Pasewalk im Gegensatz zur Insel Rügen nicht eindeutig festzustellen.

Im Falle der Abbildung 23 a) wird jedoch sehr deutlich, wie sehr die Spitzenfördermengen vom Durchschnittswert abweichen. Diese Saisonalität muss bei der Interpretation der Modellergebnisse berücksichtigt werden.

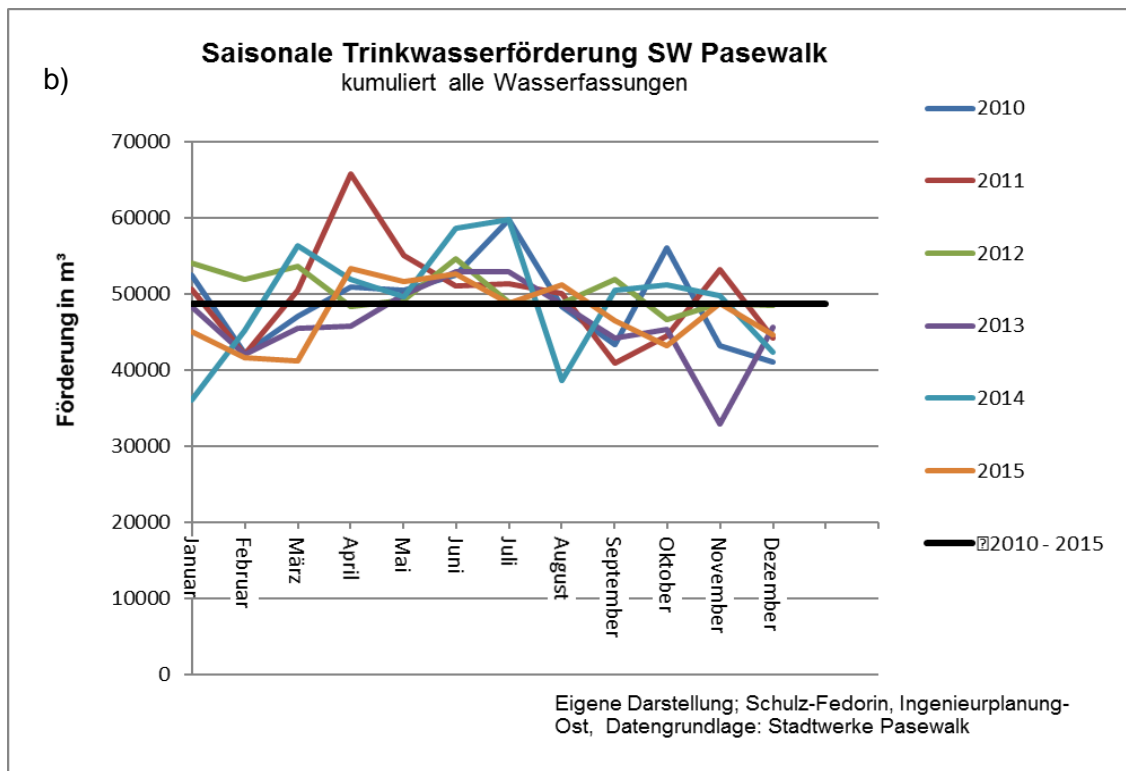
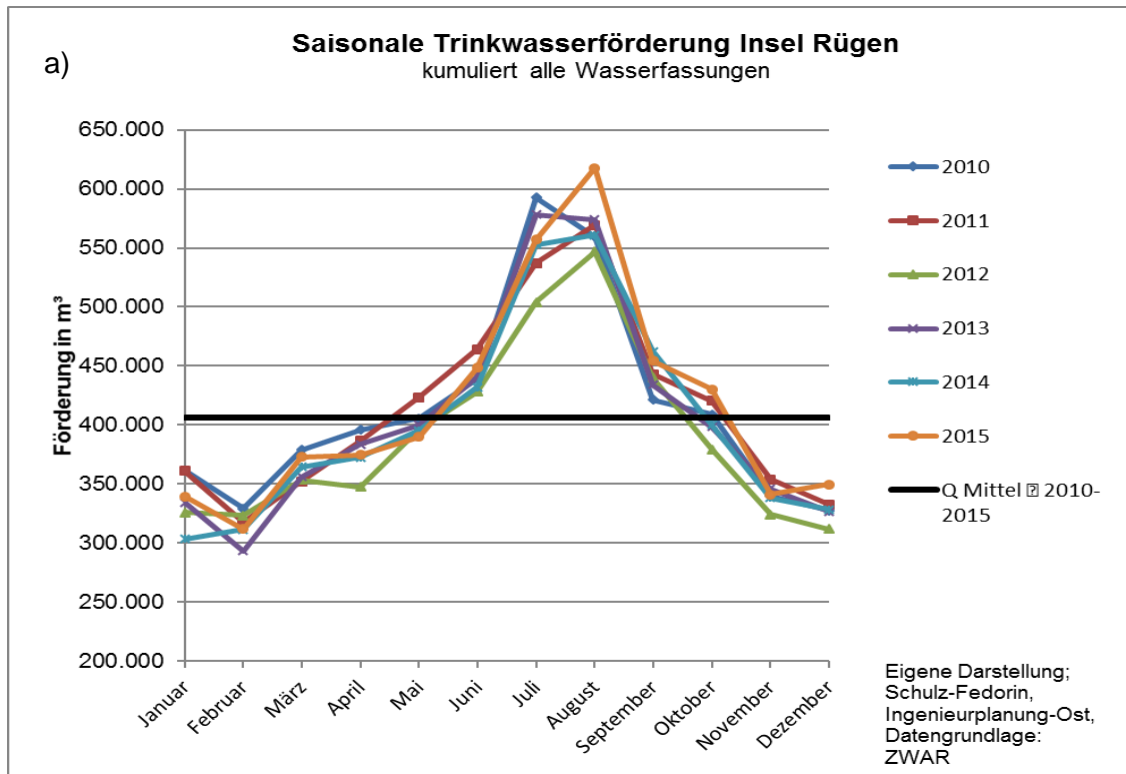


Abbildung 23 Fördermengen unterschiedlicher Wasserfassungen im Jahresverlauf

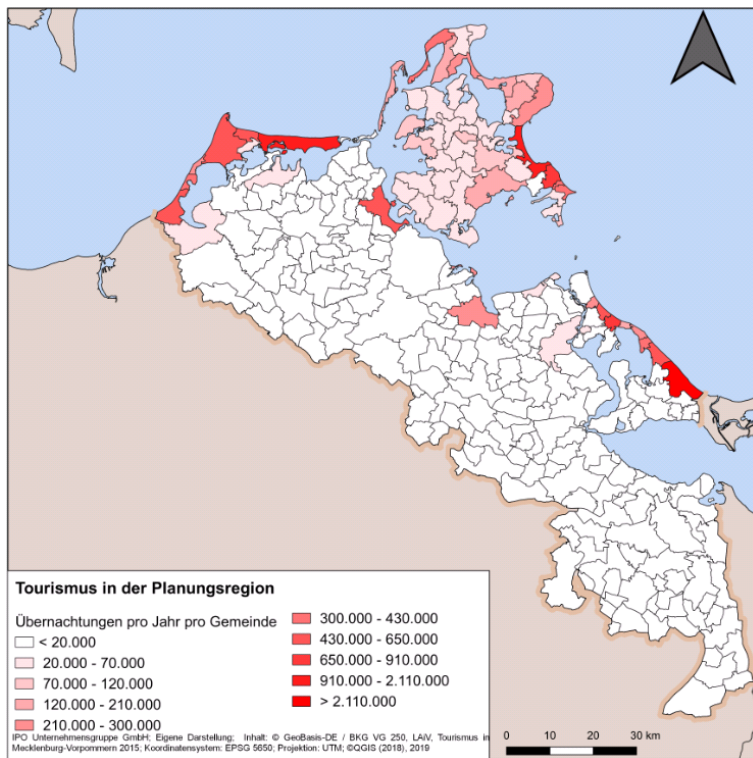


Abbildung 24: Räumliche Verteilung der Gästeübernachtungen pro Gemeinde pro Jahr

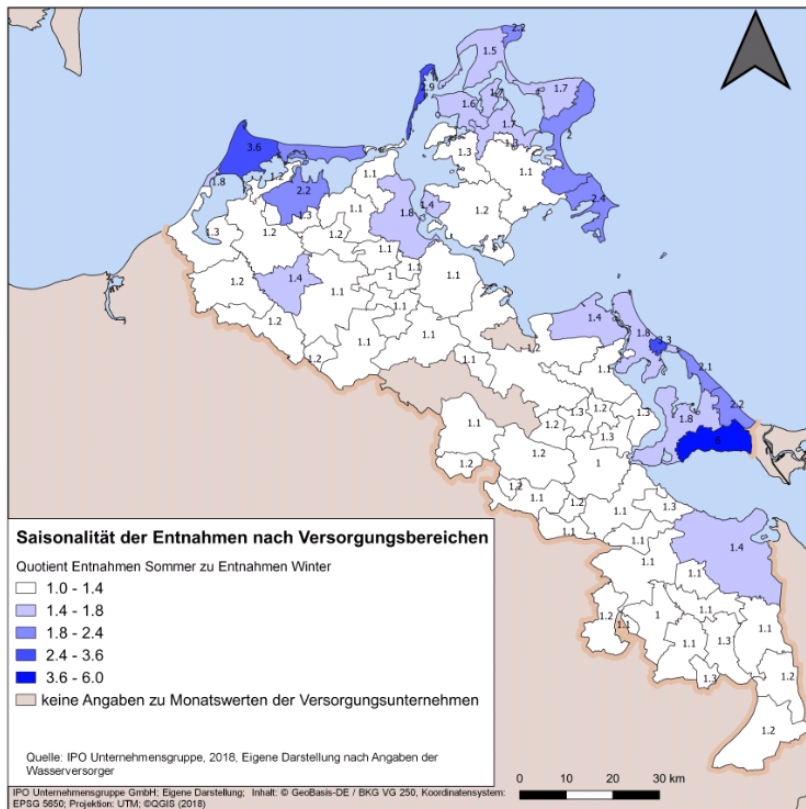


Abbildung 25: Räumliche Verteilung der saisonalen Schwankungen der Wasserfördermengen

8 Wie kann die Wasserverfügbarkeit auch in Zukunft sichergestellt werden?

UmweltPlan, IPO, RPV

Wie im vorherigen Kapitel dargelegt, werden sich die Klimaänderungen im Untersuchungsgebiet unterschiedlich auswirken. Um den Folgen begegnen zu können, werden nachstehend verschiedene Maßnahmenansätze diskutiert.



Naturräumliche Maßnahmen



Ingenieurtechnische Maßnahme



Wassernutzungsorientierte Maßnahmen

8.1 Szenariorechnungen zu großräumigen Anpassungsmaßnahmen

Heiko Hennig, UmweltPlan

Es wurden vier grundlegende Maßnahmen diskutiert und untersucht, die dazu dienen können, den Grundwasserhaushalt zu stabilisieren.



(1) Waldumbau

Natürlicherweise würden in Vorpommern Buchenwälder auf den Lehmstandorten und Eichen-Kiefernwälder auf den Sandstandorten dominieren. Die Wälder auf den bindigen Böden wurden bereits im frühen Mittelalter fast vollständig gerodet, um Ackerland zu gewinnen. Die sandigen Böden werden überwiegend forstwirtschaftlich genutzt, wobei derzeit noch schnell wachsende Nadelbäume (ca. $\frac{3}{4}$ Kiefer, $\frac{1}{4}$ Fichte dominieren). Unter Nadelbäumen ist die Grundwasserneubildungsrate vor allem aufgrund der höheren Interzeption deutlich kleiner als unter Laubbäumen. So vergleicht z. B. Müller (2011) den Wasserhaushalt unter Kiefern und Buchen. Unter Kiefern ist die Sickerwasserrate sehr gering, da der größte Teil des Niederschlages in der immergrünen Krone zurückgehalten wird (Interzeption), Stammabfluss aufgrund der rauen Borke kaum auftritt und somit die Interzeptionsverdunstung sehr hoch ist. Buchen hingegen tragen im Winter kein Laub, haben eine glatte Rinde und Zweige, die bei einem Niederschlagsereignis das Wasser trichterförmig zum Stamm leiten und somit den Bodenwassergehalt mehren.

Auf dem dritten Wasserforum am 13.06.2017 wurde das Ziel der Landesforst deutlich, die Nadelwälder schrittweise zu Mischwäldern umzubauen. Ferner soll die Kahlschlagbewirtschaftung, die zu starken zyklischen Schwankungen der Sickerwasserbildung und damit zu starken Schwankungen des Grundwasserstandes führt (Hennig & Kachholz 2015), weiter eingeschränkt werden. Eine Rückkehr zu natürlichen Waldbeständen

wird aus wirtschaftlichen Gründen hingegen nur kleinräumig möglich sein. Um das Potenzial des Waldumbaus abzuschätzen, wurde für das A1B-Szenario berechnet, wie sich der Umbau aller Nadelwälder der Planungsregion zu Mischwäldern auf die mittleren Grundwasserneubildungsraten und die mittleren Grundwasserstände auswirken würde.

Die Berechnungsergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Vor allem in der forstwirtschaftlich geprägten Ueckermünder Heide würden sich die Grundwasserneubildungsraten deutlich um ca. 30 mm/a erhöhen (Abbildung 26). Der dadurch bewirkte Anstieg der Grundwasserstände um 0,5...1 m (vgl. Abbildung 27) könnte die klimatisch bedingten Änderungen vollständig kompensieren. Deutlich positive Auswirkungen wären auch auf Usedom und dem Darß zu verzeichnen, deren Grundwasserhaushalt besonders sensibel auf klimatische Änderungen reagiert.

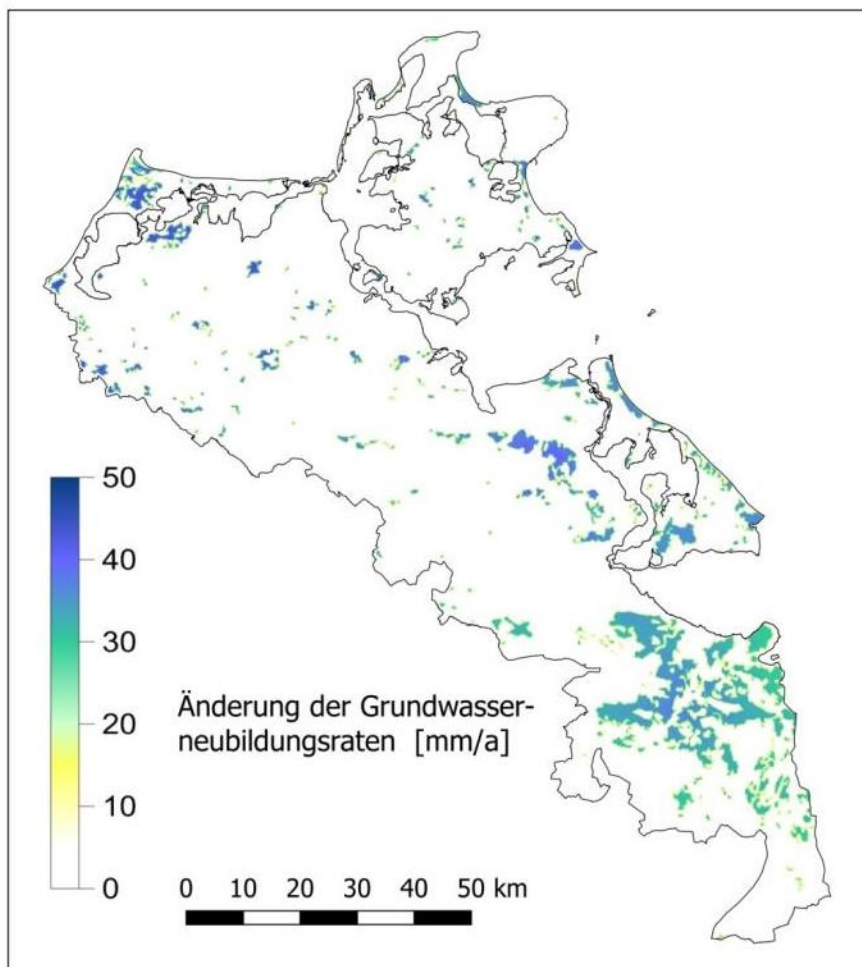


Abbildung 26 Mögliche Erhöhung der Grundwasserneubildungsraten beim Umbau von Nadelwald zu Mischwald



(2) Bewirtschaftungssteuerung für Entwässerungsgräben

Um die Niederungen in Vorpommern landwirtschaftlich nutzen zu können, werden sie hauptsächlich durch offene Gräben entwässert. Die Steuerung der wasserwirtschaftlichen Anlagen erfolgt entweder durch die Landwirte direkt (Öffnen / Schließen der Wehre) oder auf deren Anforderung hin. Im Winterhalbjahr wird meist ein höherer Wasserstand eingestellt, im Frühling erfolgt eine Absenkung, um die Befahrbarkeit der Flächen zu ermöglichen. Die Wasserverluste infolge der Frühjahrsabsenkung sind meist so groß, dass sie auch nach einem Schließen der Wehre im Sommer nicht wieder ausgeglichen werden können und der Grundwasserstand erst im Winterhalbjahr wieder ansteigt.

Es wird erwartet, dass sich die Wasserverluste durch eine genaue, flächenspezifische und witterungsangepasste Steuerung der wasserwirtschaftlichen Anlagen vermindern lassen. Darüber hinaus könnte durch die Etablierung einer Landwirtschaft auf nassen Flächen (Paludikultur) die Entwässerung drastisch vermindert werden. Um die regionale Wirkung einer grundwasserschonenden Bewirtschaftung flächenhaft abschätzen zu können, wurde für die geohydraulische Modellierung pauschal angenommen, dass die Grabenwasserstände im Jahresmittel um 50 cm erhöht werden.

Das Berechnungsergebnis ist in der Abbildung 27 dargestellt. Es wird deutlich, dass die erzielbaren Wirkungen überwiegend auf die Entlastungsgebiete begrenzt sind. Ausgeprägte Grundwasseranstiege sind im Bereich ausgedehnter Meliorationsflächen wie der Friedländer Großen Wiese oder dem Thurbruch auf Usedom zu erwarten. Im Zusammenwirken mit dem Waldumbau sind beispielsweise im Süden Usedoms deutliche Verbesserungen des Grundwasserhaushalts zu erzielen. Ein zusätzlicher positiver Effekt, der durch die stationäre Modellierung nicht abgebildet werden kann, wäre die verminderte Sommertrockenheit in den Niederungsflächen.



(3) Reduzierung des Wasserverbrauches

Im Kapitel 4 ist die Vorgehensweise bei der Abschätzung des zukünftigen Wasserverbrauches beschrieben. Die angenommene Steigerung des Wasserverbrauches bis 2050 ergibt sich in erster Linie aus einer verstärkten landwirtschaftlichen Bewässerung. Bei zunehmender Sommertrockenheit wird erwartet, dass bereits bestehende Wasserrechte vollständig ausgenutzt werden und die Bewässerungsfläche insgesamt deutlich ausgeweitet wird. Unter der Annahme, dass 10 Prozent der berechnungswürdigen, aber derzeit noch nicht beregneten Flächen zukünftig mit einer Beregnungsmenge von 80 mm/a bewässert werden, ergibt sich ein Beregnungswasserbedarf in der Planungsregion von insgesamt etwa 24.000 m³/d. Das entspricht ungefähr einer Verdreifachung des derzeitigen Verbrauchs von ca. 7.800 m³/d. Eine Erhöhung des Trinkwasserverbrauches wird vor allem infolge des weiter wachsenden Tourismussektors gesehen. Der ermittelte Anstieg beträgt 9 Prozent (von 66.600 m³/d auf 72.400 m³/d).

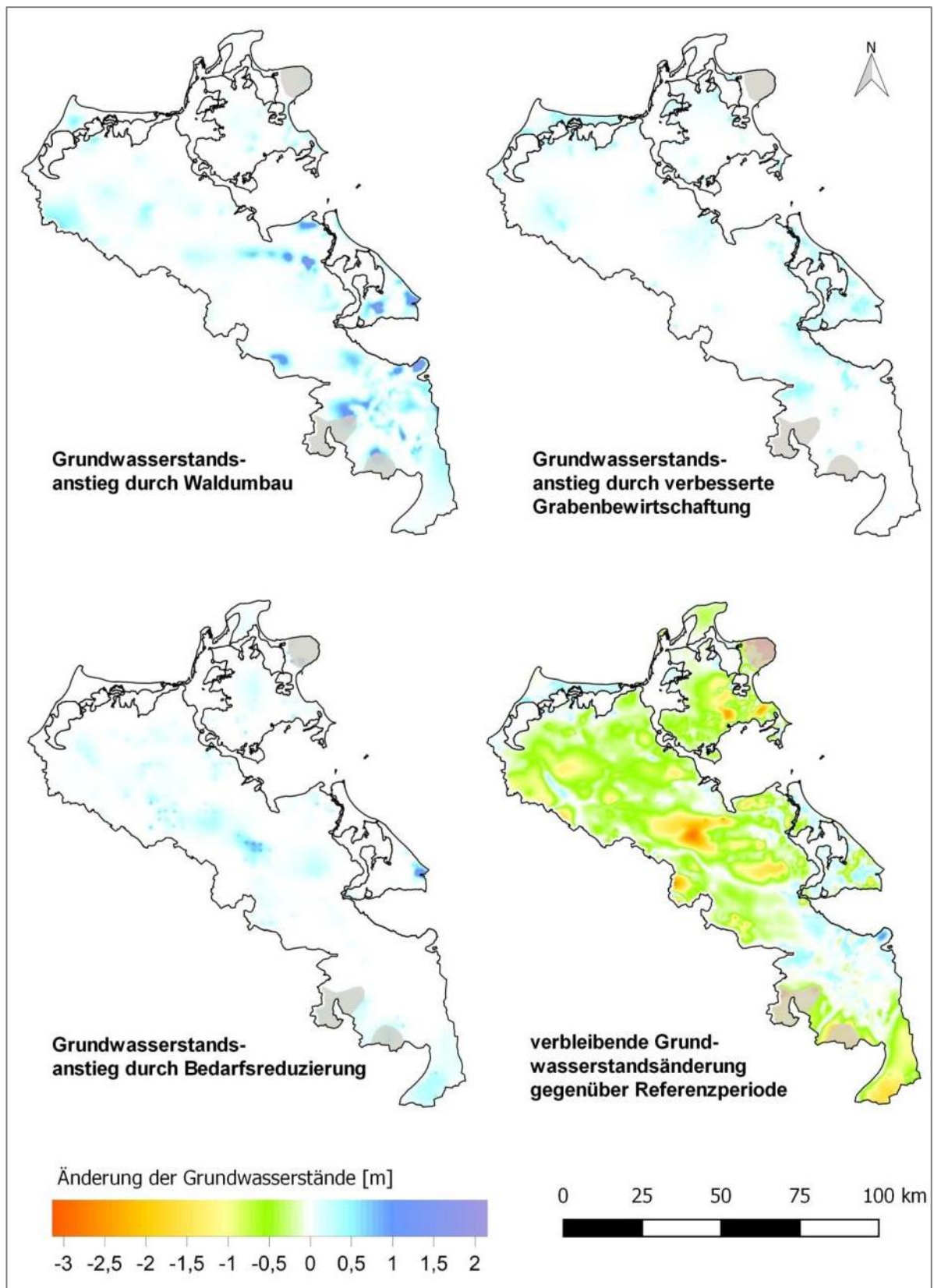


Abbildung 27 Wirkung von Anpassungsmaßnahmen – Szenariorechnungen auf der Basis der A1B-Entwicklung

Mithilfe des geohydraulischen Modells wurde geprüft, wie sich eine Begrenzung der Bedarfssteigerung auf die mittleren Grundwasserstände auswirken würde. Das zugrunde gelegte moderate Bedarfsszenario geht davon aus, dass zwar die bereits bestehenden landwirtschaftlichen Wasserrechte zukünftig vollständig ausgenutzt, aber keine neuen Brunnen errichtet werden. Damit reduziert sich die zukünftige Entnahme für Berechnungszwecke auf etwa 2.200 m³/d (+28 % gegenüber dem aktuellen Wert). Ferner wurden für das moderate Bedarfsszenario die touristischen Zuwachsraten gegenüber der Trendextrapolation halbiert, woraus sich ein zukünftiger Trinkwasserbedarf von 69.800 m³/d ergeben würde.

Die berechneten Änderungen des Grundwasserstandes sind ebenfalls in der Abbildung 27 dargestellt. Positive Effekte zeigen sich vor allem im Zentrum der Planungsregion (Raum Grimmen-Gützkow) und im äußersten Süden (Penkun) – beides Bereiche, in denen die zuvor betrachteten Maßnahmen Waldumbau und verbesserte Polderbewirtschaftung kaum wirken. Der für Ost-Usedom berechnete Grundwasseranstieg resultiert vor allem aus der Annahme der moderaten Bedarfsszenarien, dass die derzeitige Entnahme aus der polnischen Grenzwasserfassung Granica auf dem derzeitigen Niveau von ca. 2.500 m³/d verbleibt und nicht auf den Maximalwert von 3.600 m³/d erhöht wird.

In der Abbildung 27 ist ebenfalls dargestellt, welche Grundwasserstandsänderungen bei der A1B-Entwicklung zu erwarten wären, wenn alle drei untersuchten Anpassungsmaßnahmen flächenhaft umgesetzt würden. Die Darstellung zeigt im Vergleich mit Abbildung 22, dass im Zusammenwirken aller Maßnahmen regional deutliche Abmilderungen möglich sind. Das betrifft vor allem die Ueckermünder Heide, aber auch die Problemregionen Usedom und Darß.



(4) Steuerung der Dränung

Auf den hydraulischen Hochlagen im Südosten Rügens, südlich von Greifswald und im Süden der Planungsregion sind weiterhin starke Grundwasserabsenkungen von 1 m bis über 2 m zu erwarten. Diese Gebiete werden überwiegend landwirtschaftlich genutzt, wobei die Lehm Böden großflächig gedränt werden müssen, um eine effektive Bewirtschaftung der Flächen zu ermöglichen. Durch die Dräne wurden künstliche Abflussbahnen geschaffen, über die ein Großteil des Niederschlages bereits innerhalb von Stunden bis wenigen Tagen nach dem Niederschlagsereignis die Gewässer erreicht und nicht zur Grundwasserneubildung beiträgt. Wasserhaushaltsbetrachtungen und Auswertungen von Lysimetermessungen zeigen, dass in der Jahressumme etwa die Hälfte des Gebietsabflusses stark gedränkter Einzugsgebiete als Direktabfluss erfolgt (Hennig & Hilgert 2007). In der Abbildung 28 ist der Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss dargestellt. Wenn es gelänge, durch eine Steuerung der Dräne einen Teil des Abflusses im Gebiet zurückzuhalten, könnte die Grundwasserneubildung erhöht und eine Kompensation des durch Klimaänderungen bedingten Rückgangs der Neubildung und des Grundwasserstandes erzielt werden. Möglichkeiten einer solchen kontrollierten Dränung werden im Kapitel 8.2 diskutiert.

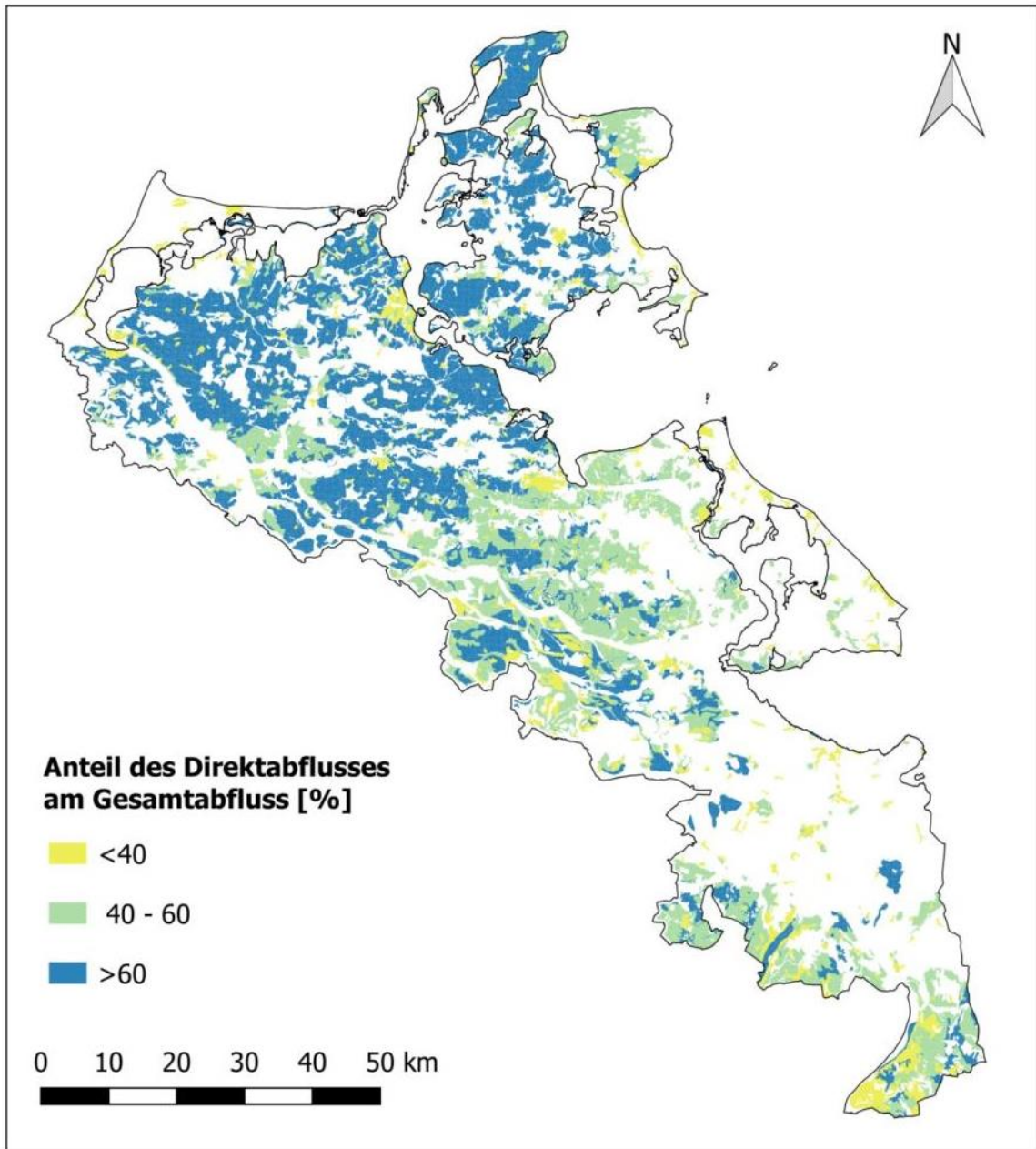


Abbildung 28 Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss

8.2 Weitere untersuchte Anpassungsmaßnahmen

Stefan Schulz, IPO

Neben den in Kapitel 8.1 analysierten Maßnahmen wurden weitere Ansätze zur Anpassung an den Klimawandel und die damit veränderte Wasserverfügbarkeit in der Region untersucht. Für eine Konkretisierung der in den Kapiteln 8.1 und 8.2 behandelten Maßnahmen siehe auch die nachfolgende Abbildung 29, in der einige mögliche Umsetzungsorte beispielhaft herausgestellt sind.



Abflussregulierung

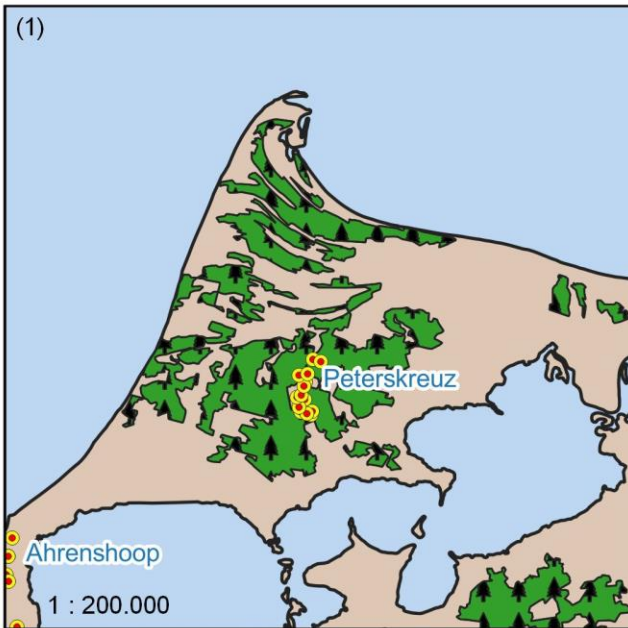
Im Vergleich zu den standortbedingten Schwerpunkten der Versorgungssicherung ist auch eine klimabedingt flächenhafte Grundwasserabsenkung feststellbar. Um dieser Herausforderung für die Grundwassersicherung zu begegnen, wäre eine flächenhafte Gegensteuerung notwendig. Die größten Flächennutzer in Mecklenburg-Vorpommern finden sich in der Landwirtschaft.¹² Die landwirtschaftlichen Nutzflächen (LNF) sind gegenwärtig zu einem überwiegenden Teil dräniert. Dies erfolgt in den Niederungen meist über offene Gräben, bei ungenügender Vorflut sind zusätzlich Schöpfwerke erforderlich. Die fruchtbaren Böden der vorpommerschen Lehmplatten werden großflächig über Rohrdrainagen entwässert.¹³ 6.487 km Gräben und rund 170.000 ha unter Rohrdrainung¹⁴ entwässern ca. 70 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche.

Durch die Entwässerung werden die Grundwasservorkommen beeinflusst, indem die Versickerung verringert oder weitgehend unterbunden wird. Durch das schnelle Ableiten in Gräben und Flüsse werden die Bodenfeuchte und die Grundwasserneubildung stark vermindert. Die Entwässerung erfolgt in der Regel unkontrolliert.

¹² Vgl. Klüter (2016). Die Landwirtschaft Mecklenburg-Vorpommerns im Vergleich mit anderen Bundesländern. Greifswald. S. 147 ff. Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche an der Gesamtfläche liegt mit 57,74 % deutlich über dem deutschen Durchschnitt von 46,80 %.

¹³ Siehe dazu: Biota (2010). Ermittlung von Art und Intensität künstlicher Entwässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen in Mecklenburg-Vorpommern im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern. Der ermittelte Anteil direkt entwässerter Flächen liegt bei ca. 61 % der LNF. Hinzu kommt die doppelte Menge an Fläche, welche durch die Entwässerung beeinflusst wird.

¹⁴ Zusammen mit Gräben, Schluckern und Schöpfwerken werden rund 294.000 ha landwirtschaftliche Nutzfläche künstlich entwässert.



Waldumbau

Anlass: Küstennahe Grundwasserentnahme, drohende Salzwasserintrusion
 Lösungsvorschlag: Erhöhung der Grundwasserneubildung durch Umbau von Nadel- zu Misch-/ Laubwald
 Verantwortung: Forstbehörde/ Flächeneigner
 Zeithorizont: mittel- bis langfristig

Standortsicherung Trinkwasserschutz

Anlass: Konkurrierende Nutzungsansprüche zwischen Wasserwirtschaft und Landwirtschaft
 Lösungsvorschlag: Festlegung verbindlicher Zielvorgaben
 Verantwortung: Planungsbehörden, Flächeneigner
 Zeithorizont: mittel- bis langfristig

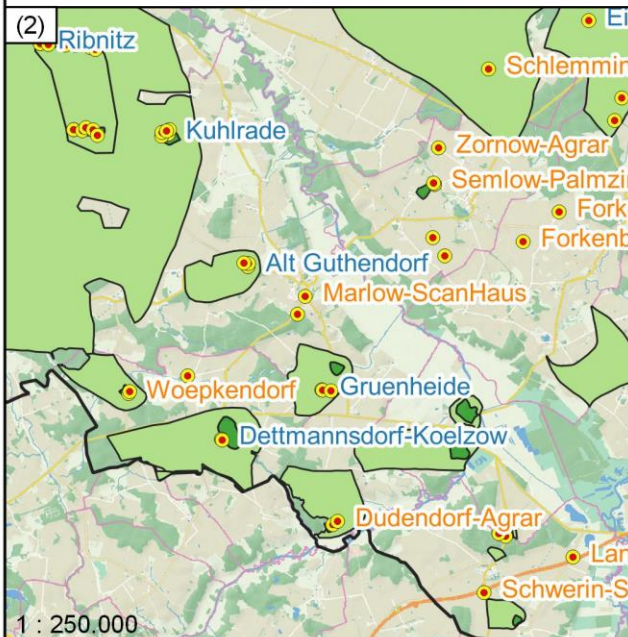
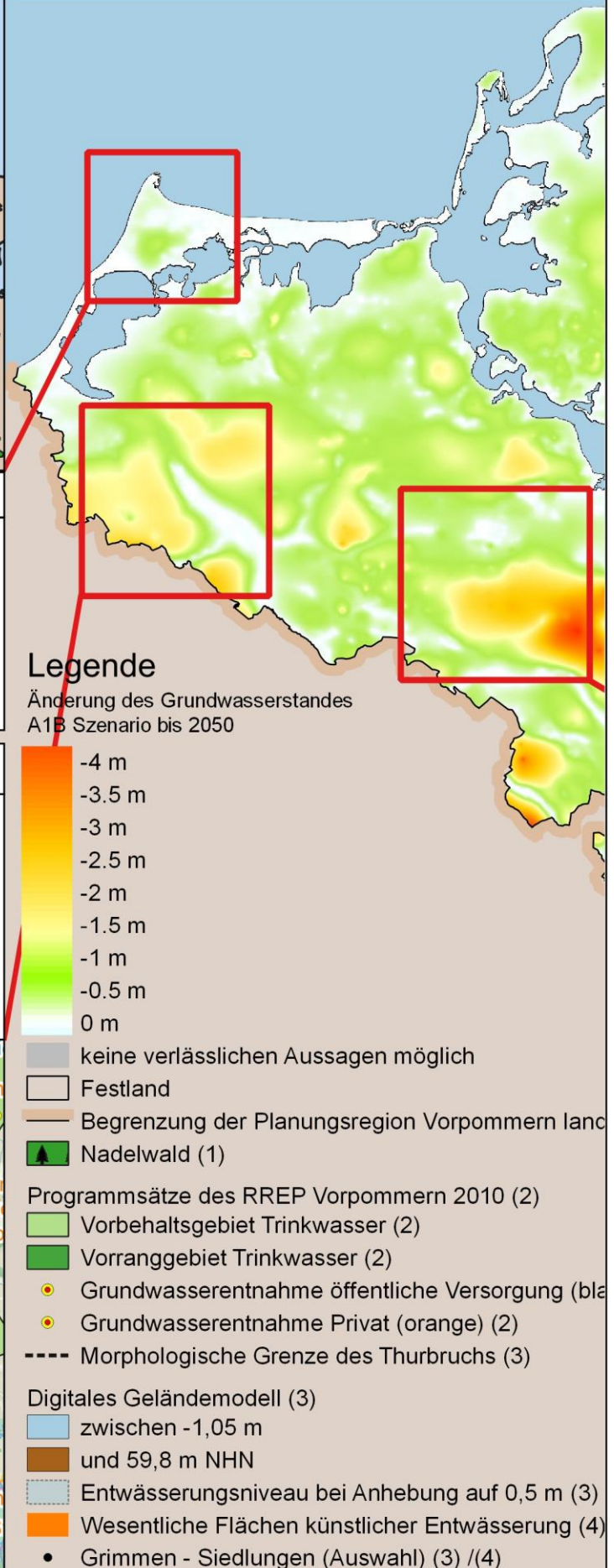
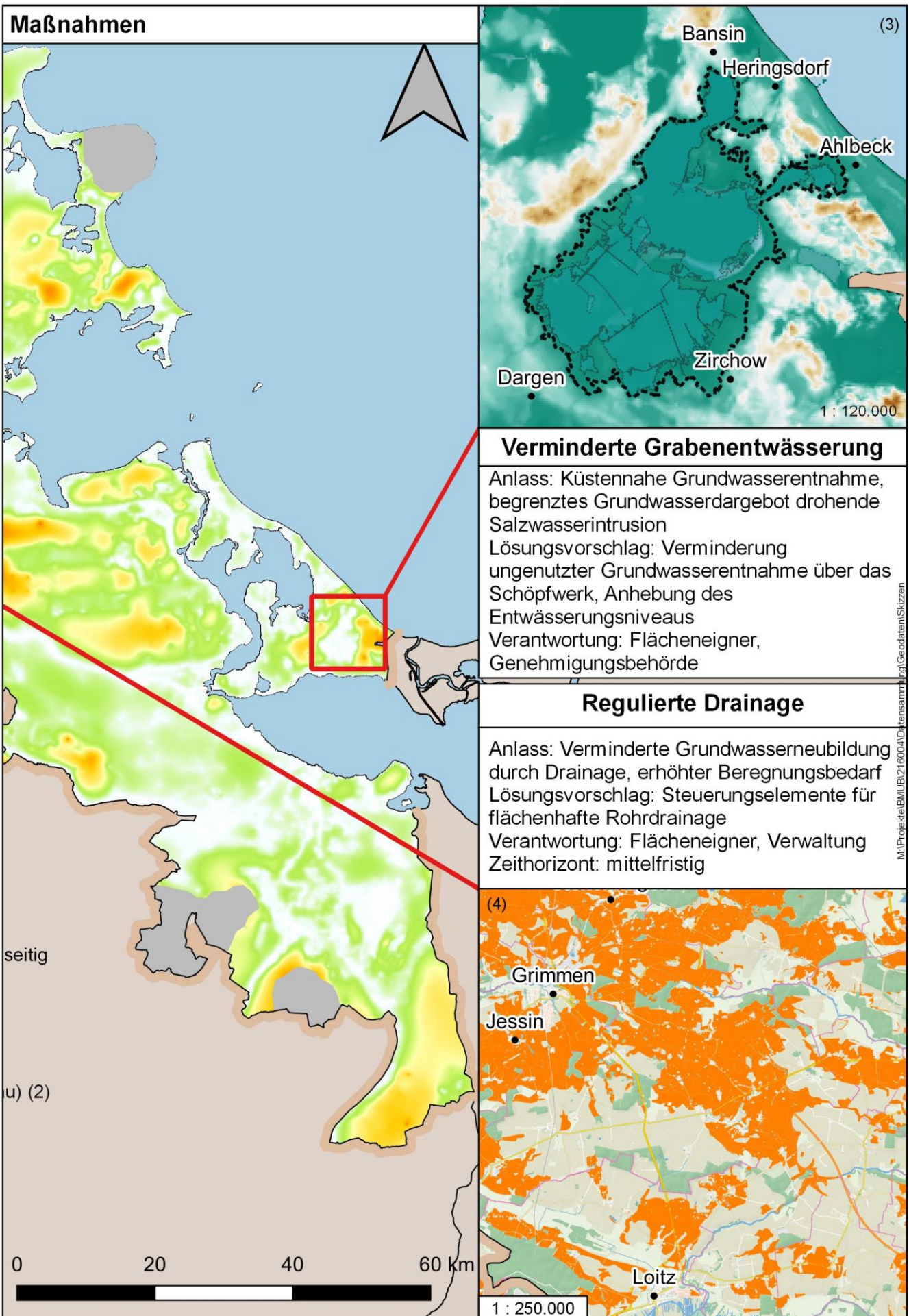


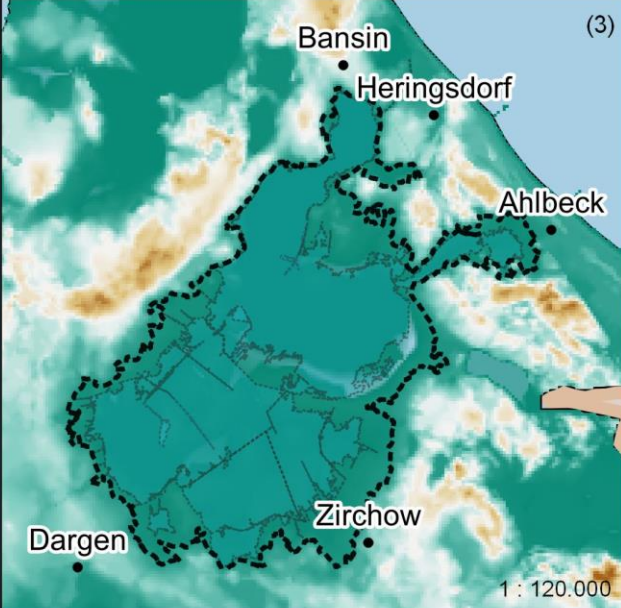
Abbildung 29

Vorschläge für



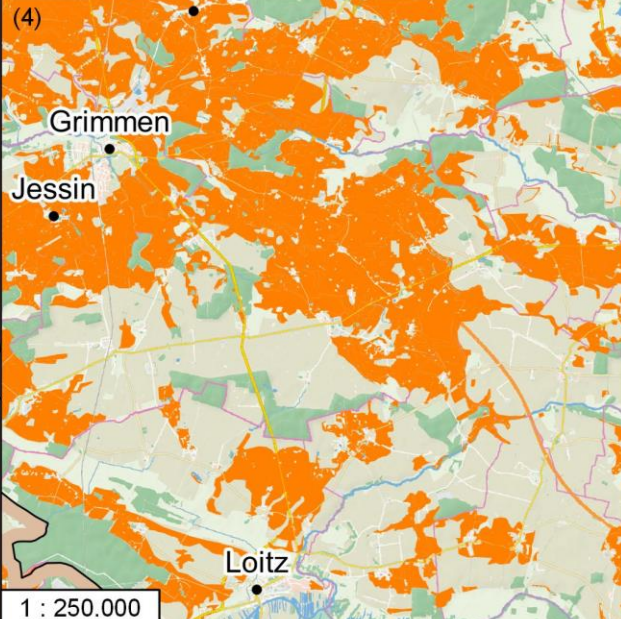


Maßnahmen



Verminderte Grabenentwässerung
 Anlass: Küstennahe Grundwasserentnahme, begrenztes Grundwasserdargebot drohende Salzwasserintrusion
 Lösungsvorschlag: Verminderung ungenutzter Grundwasserentnahme über das Schöpfwerk, Anhebung des Entwässerungsniveaus
 Verantwortung: Flächeneigner, Genehmigungsbehörde

Regulierte Drainage
 Anlass: Verminderte Grundwasserneubildung durch Drainage, erhöhter Beregnungsbedarf
 Lösungsvorschlag: Steuerungselemente für flächenhafte Rohrdrainage
 Verantwortung: Flächeneigner, Verwaltung
 Zeithorizont: mittelfristig



seitig

u) (2)



Die Verweilzeit des Wassers in der Fläche zu kontrollieren und damit zu erhöhen, birgt eine Reihe von Vorteilen. Durch die längere Verweilzeit könnte die Grundwasserneubildung flächenhaft gefördert werden. Es würde die bessere Wasserversorgung des Pflanzenanbaus sichergestellt, bzw. eine zusätzliche Entnahme zur Feldberegnung gegebenenfalls überflüssig gemacht werden. Die momentanen Forschungsprojekte zu diesem Thema in Mecklenburg-Vorpommern bezogen sich vornehmlich auf die erhöhte Resorption und den Abbau von Nährstoffen, welcher ebenfalls mit einer längeren Verweilzeit des Wassers einhergeht.¹⁵ Die bisherige Steuerung des Wasserregimes im Untersuchungsgebiet erfolgt in den durch Gräben entwässerten Flächen über Durchlässe, deren Steuerung im Verantwortungsbereich der Wasser- und Bodenverbände liegt. Aufgrund mangelnder personeller und finanzieller Ausstattung erfolgt die Bedienung dieser Steuerungselemente häufig autonom durch die angrenzenden Flächennutzer.

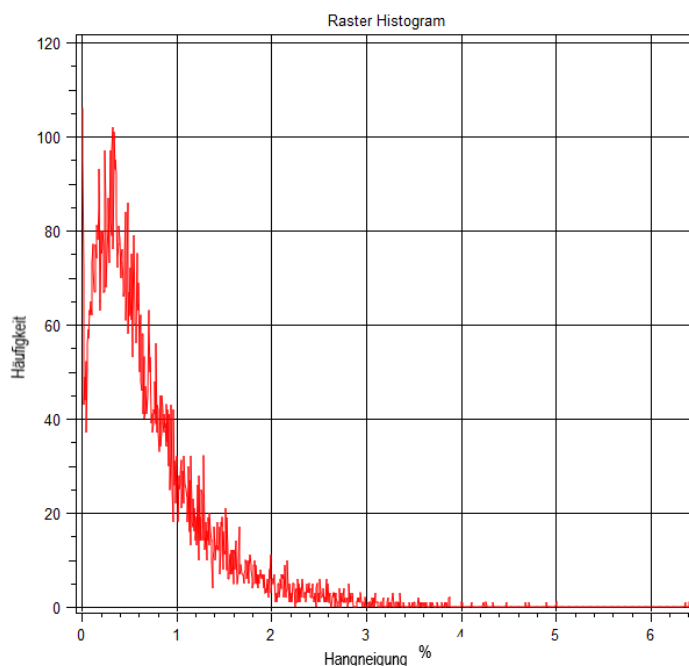


Abbildung 30 Flächenanteile nach Hangneigung der Entwässerungsflächen im Untersuchungsgebiet

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die durch Rohrleitungen dränierten Abflüsse gezielt zu regulieren. Dieses Verfahren der kontrollierten Dränung ist in anderen Regionen bereits erfolgreich erprobt und gehört dort zum gängigen Repertoire landwirtschaftlicher Bewirtschaftung. In Mecklenburg-Vorpommern gab es dazu bisher nur einzelne Forschungsvorhaben, die noch nicht in die breitere Praxis überführt wurden. Das Relief des Untersuchungsgebietes wäre dieser Art der Steuerung jedoch zuträglich, da die Steuerung dränbedingter Abflüsse am ehesten bei Neigungen zwischen maximal 0,5 Prozent – 1 Prozent durchführbar sind (vgl. Abbildung 30).¹⁶ Mittlerweile sind jedoch

¹⁵ Siehe: Fachinformation des LUNG M-V „Kontrollierte Drainung“ unter: http://www.wrrl-mv-landwirtschaft.de/sites/default/files/downloads/Fachinfo-WRRRL-Controlled-drainage_2012.pdf

¹⁶ Weitere Staubauwerke im Hangverlauf der Rohrdränung ermöglichen diese Art des Wasserrückhaltes auch bei stärkerer Hangneigung.

durch weitere, hangseitig höher gelegene Staulemente auch Anwendungen auf steileren Hanglagen möglich. Die Idee zu einer Regulierung dräniertes Landwirtschaftsflächen reicht zurück bis in die Zeit der großmaßstäblichen Dränage Nordostdeutschlands im 19. Jh. Dieses Konzept wurde weiterentwickelt und geht weit über die manuell gesteuerten Ansätze hinaus. Insbesondere fällt auf, dass die offenbar fortgeschrittene Projektierung und Forschung zur Thematik der Unterflurstau in den letzten Jahren der DDR im starken Kontrast steht zu der derzeitigen fachlichen Praxis.¹⁷ Das Ausmaß der Durchführbarkeit, die modellgestützt abgebildeten positiven Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sowie der Bedarf an ökonomischen Bewertungen und Planungen weisen auf einen zukünftigen Forschungsbedarf in diesem Bereich hin.

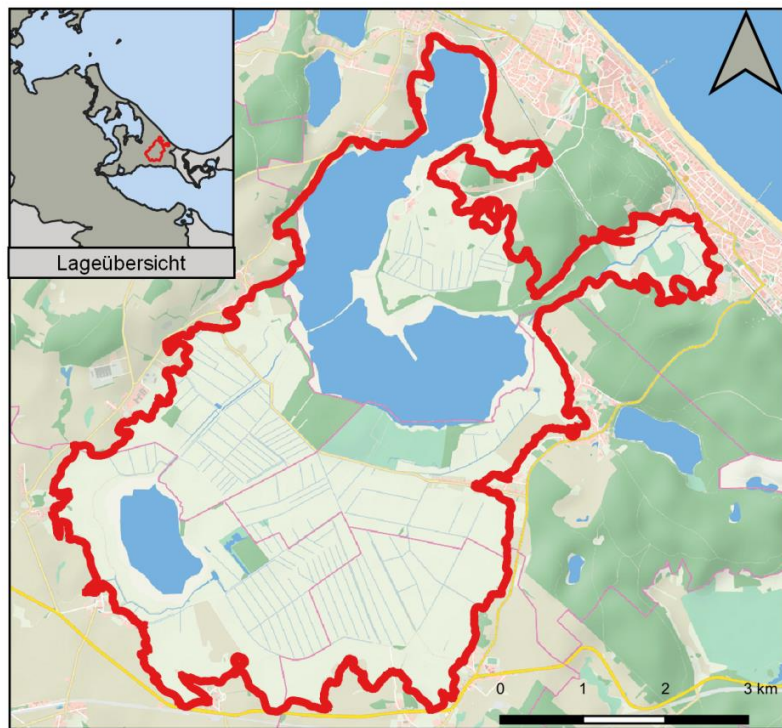


Einbeziehung der natürlichen Umwelt / Relief

Die Betrachtung der Grundwassersituation ist unmittelbar mit der naturräumlichen Umgebung verbunden und kann nicht losgelöst von ihr betrachtet werden. Wollen wir die Situation ändern, müssen wir die Möglichkeiten zur Änderung der Umgebungselemente ebenfalls in Betracht ziehen.

Ein Beispiel bietet die angespannte Versorgungssituation im touristisch genutzten Küstenbereich. Das Risiko eines auftretenden Brackwassereinstroms in die Grundwasserleiter muss gemindert werden, um die zukünftige Sicherung dieser Entnahmestandorte zu gewährleisten. Für diese Konstellation bietet sich der südliche Teil der Insel Usedom an. Das im Hinterland befindliche Thurbruch als entwässerter Moor-Standort ist ein Landschaftselement, das neben ökologischen und landwirtschaftlichen Aspekten auch eine wasserwirtschaftliche Relevanz aufweist. Das in die Entwässerungsgräben entlassende Grundwasser wird derzeit über ein Schöpfwerk in die Ostsee gepumpt. Ein hoher Wasserstand im Thurbruch würde diese ungenutzte Grundwasserentnahme vermindern. Darüber hinaus würde durch die gezielte Erhöhung der Grundwasserstände und die Etablierung eines Gefälles zum Meeresniveau dem meeresseitigen Druck einströmenden Wassers begegnen und damit eine Versalzung des Grundwassers verhindert werden. Auf den betroffenen Flächen könnte eine Umstellung der bisherigen Nutzung von trockenen auf feuchtere Bodenstandorte erfolgen. Eine Wiedervernässung dieses trockengelegten Moores ist als wirksame Maßnahme zur zukünftigen Sicherung der näheren Grundwasserentnahmestandorte anzusprechen (vgl. Abbildung 31).

¹⁷ Siehe: Quast, J. (2012.) schneidet dieses Thema einer Eigenentwicklung zur vollautomatischen Regulierung der Unterflurstau an und resümiert, dass die Produktionskosten für die Jahre 1992/93 zu hoch gewesen wären. In: Anders, Szűcs (Hrsg.) (2012). Landnutzungswandel in Mitteleuropa. Göttingen.



*Abbildung 31:
Das Thurbruch (rot) und
der Gothensee - nördlich
anschließend die „Kaiser-
bäder“ der Insel Usedom;
ein komplexes System
von Gräben und Schleu-
sen durchzieht das Moor.
Durch Regulierung der
Schöpfwerksleistung wäre
eine Renaturierung zeit-
nah und kostengünstig
möglich.*

Bestehende Oberflächengewässer eignen sich hingegen nicht für die Speicherung und Entnahme für Trinkwasserzwecke bzw. zur Überbrückung von Spitzen in den Zeiträumen stark erhöhter Bedarfe. Einerseits liegt das daran, dass nicht alle Regionen mit ausreichend großen Standgewässern ausgestattet sind. Auf der anderen Seite verbietet die häufige Einstufung als Naturschutzgebiet eine ökologische Beeinträchtigung durch Wasserentnahme. Erschwerend kommt hinzu, dass, wie im Fall des Gothensees im Bereich Süd-Usedom, durch den stark erhöhten Trophiegrad eine zusätzliche, kostenintensive Aufbereitung berücksichtigt werden müsste.



Nutzung bisher ungenutzter Vorkommen

Es stehen einige bisher ungenutzte Vorkommen zur Verfügung, wie beispielsweise die 300.000 bis 350.000 m³ pro Jahr, welche durch die dauerhafte Grundwasserabsenkung am Industriestandort Lubmin entnommen werden. Diese Menge entspricht etwa der jährlichen Entnahme der Wasserfassungen Sagard und Quoltitz auf dem Jasmund (Insel Rügen), die 481.000 Übernachtungsgäste, sowie 1.318 Einwohner pro Jahr versorgen. Da es dafür jedoch derzeit am Industriestandort keine Verwendung gibt, wird das abgepumpte Grundwasser¹⁸ ungenutzt in den Greifswalder Bodden geleitet. Eine Verwendung zur Anreicherung des nahegelegenen Grundwasserkörpers zur Wasserfassung Lodmannshagen durch Versickerung wäre möglicherweise sinnvoll. Diese Wasserfassung versorgt aktuell nicht nur fünf Gemeinden des vorpommerschen Festlandes, sondern über eine Fernleitung auch den nördlichen Teil der Insel Usedom.

¹⁸ Über die Qualität des geförderten Grundwassers liegen für die Maßnahmenvorschläge an dieser Stelle keine Informationen vor.

9 Wie sind die möglichen Maßnahmen ökonomisch zu bewerten?

Jesko Hirschfeld, IÖW

Die im Rahmen des Projektes RegWaKlim untersuchten Entwicklungen der Wasserverfügbarkeit und der Managementansätze, mit denen das regionale Wassermanagement in der Region Vorpommern in Richtung einer dauerhaften Sicherung der Trinkwasserressourcen gesteuert werden könnte, haben neben den angestrebten Effekten auf die für die Trinkwasserversorgung nutzbaren Wassermengen außerdem zahlreiche verschiedene Auswirkungen auf eine ganze Reihe weiterer Ökosystemleistungen in der Küstenregion.

Unter Ökosystemleistungen werden alle Leistungen verstanden, die Ökosysteme für die Menschen zur Verfügung stellen – seien es direkte bereitstellende Leistungen, beispielsweise in Form von Getreide, Holz oder Trinkwasser, regulierende Leistungen, wie der Rückhalt und Abbau von Schadstoffen im Boden oder die Festlegung von Kohlenstoff in Biomasse, oder schließlich kulturelle Leistungen, wie ein als schön empfundenes Landschaftsbild, das der einheimischen Bevölkerung wie auch den touristischen Besuchern Erholungsnutzen bietet (vgl. Abbildung 32).

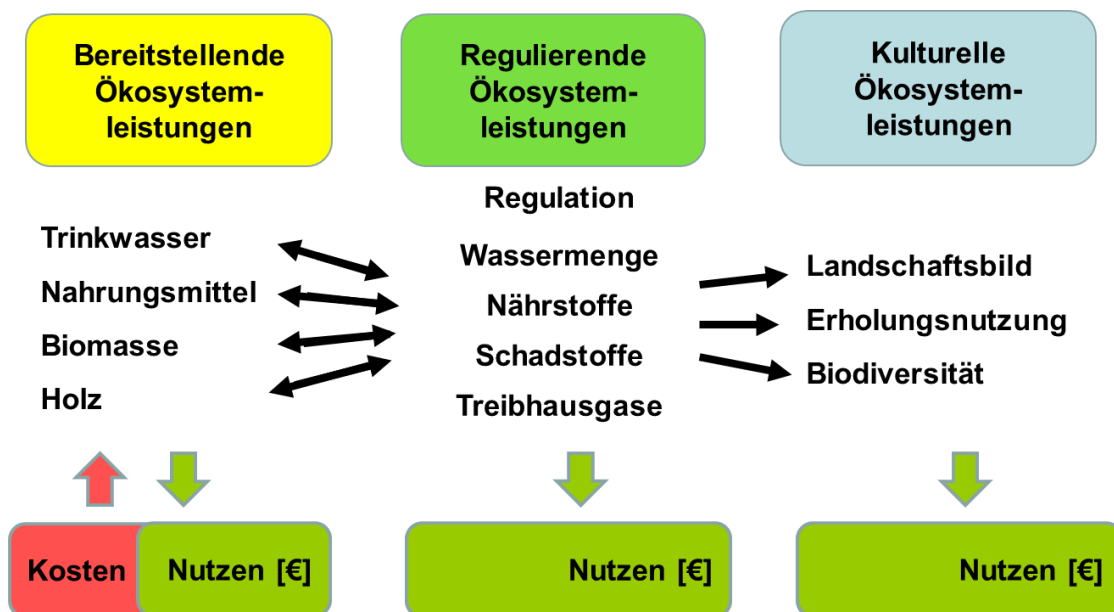


Abbildung 32 Übersicht zu den mit dem Wassermanagement zentral verknüpften Ökosystemleistungen

Im Rahmen des RegWaKlim-Projektes standen folgende Ökosystemleistungen im Fokus:

1. Die **bereitstellenden Ökosystemleistungen** Trinkwasser, Nahrungsmittel, Biomasse und Holz – mit Einfluss auf die land- und forstwirtschaftlichen Einkommen sowie auf die Kosten der Trinkwasserbereitstellung

2. Die **regulierenden Ökosystemleistungen** Regulation des mengenmäßigen Wasserhaushaltes, von Nähr- und Schadstoffen sowie die Festlegung von Kohlenstoff bzw. die Regulation von Treibhausgasen – mit Auswirkungen vor allem auf die Wasserverfügbarkeit in ausreichender Menge und Qualität
3. Die **kulturellen Ökosystemleistungen** Landschaftsbild, Erholungsnutzen und beobachtbare Artenvielfalt – mit Konsequenzen für die Lebenszufriedenheit der Bevölkerung sowie für die Attraktivität der Region für Besucher und Urlauber

Im Folgenden werden die möglichen Effekte der im Projekt betrachteten Maßnahmen auf die verschiedenen Ökosystemleistungen zunächst qualitativ diskutiert. Im anschließenden Teil werden die Auswirkungen der einzelnen Maßnahmenoptionen so weit wie möglich quantifiziert und monetär bewertet.

Bereitstellende Ökosystemleistungen

a) Trinkwasserbereitstellung

Eine Reihe der Klimaszenarien weist auf eine mögliche Verringerung der Wasserverfügbarkeit insbesondere in den Sommermonaten hin. Um die Touristenzentren entlang der Küste trotzdem weiterhin ausreichend versorgen zu können, müssen die Wasserversorgungsunternehmen gegebenenfalls in zusätzliche Brunnen und Leitungen oder auch in Anlagen zur Aufbereitung von qualitativ beeinträchtigtem Grundwasser oder zur Meerwasserentsalzung investieren. Diese kostspieligen technischen Maßnahmen würden die Bereitstellungskosten erhöhen und sich in höheren Wasserpreisen für die Nutzer niederschlagen.

Durch naturräumlich orientierte Maßnahmen zur Sicherung der Grundwasserressourcen, wie Waldumbau, Waldmehrung oder Wiedervernässung, kann die Wasserverfügbarkeit verbessert oder stabilisiert werden, was sich für die Wasserversorger in niedrigeren Bereitstellungskosten und für die Wassernutzer in entsprechend niedrigeren Bereitstellungspreisen niederschlägt. Dies kann allerdings mit deutlichen Einschränkungen für die Landwirtschaft einhergehen (s. folgender Absatz).

b) Nahrungsmittel und landwirtschaftliche Biomasseerzeugung

Einige der Maßnahmen zur nachhaltigen Sicherung der Wasserverfügbarkeit können die landwirtschaftlichen Ertragspotenziale beeinträchtigen, andere diese stabilisieren oder fördern. Versuchen Landwirte, die Niederschlagsdefizite im Frühjahr und Sommer durch zusätzliche künstliche Beregnung zu kompensieren, können sie zwar ihre Erträge stabilisieren, zugleich aber werden damit die Grundwasserstände weiter abgesenkt und die Verfügbarkeit für die Bereitstellung von Trinkwasser weiter verschlechtert.

Bei Verzicht auf zusätzliche Bewässerung ist in einer Reihe von Klimaszenarien mit Ertragseinbußen wegen zurückgehender Wasserversorgung der Pflanzen aufgrund zurückgehender Niederschläge zu rechnen. Teilweise könnte dies gegebenenfalls mit ei-

ner gezielteren Steuerung der Wasserstände in der Landschaft durch eine regional abgestimmte Steuerung der Entwässerung über Gräben und Dränagerohre aufgefangen werden.

Bei vollständiger Wiedervernässung gegenwärtig entwässerter Moore entstünden bei den landwirtschaftlichen Betrieben Einbußen wegen starker Einschränkung oder Aufgabe der Bewirtschaftung. Mit dem Anbau von sogenannten Paludikulturen, die mit der wiedervernässten Umgebung gut zurechtkommen, könnte gegebenenfalls ein Teil der Einkommenseinbußen aufgefangen werden. Ohne eine Kompensation in Form von Agrarumweltprämien wäre aber in den meisten Fällen mit Einkommenseinbußen zu rechnen.

Bei Aufforstung gegenwärtig landwirtschaftlich genutzter Flächen würden mit den Nutzflächen auch die landwirtschaftlichen Erträge verloren gehen, die zu den aktuellen Marktbedingungen höher liegen als die nach Umstellung der Flächennutzung langfristig erzielbaren forstwirtschaftlichen Erträge.

c) Holz

Aufforstung führt (auf Kosten der landwirtschaftlichen Erträge) langfristig zu einer Erhöhung der Holzerträge in der Region.

Ein Umbau bestehender Nadelwälder zu Laub- oder Mischwäldern mit dem Ziel der Grundwassermehrung kann gegebenenfalls zu forstwirtschaftlichen Erlöseinbußen führen. Grund dafür ist der langsamere Aufwuchs der Laubbäume sowie die gegenüber dem Nadelholz aktuell schlechtere holzwirtschaftliche Verwertbarkeit.

Bei Wiedervernässung von gegenwärtig entwässerten Mooren und Feuchtgebieten ist mit forstwirtschaftlichen Ertragseinbußen durch Absterben der Bestände oder Umbau zu weniger ertragreichen Paludikulturen bzw. nassetoleranten Baumarten mit geringeren Erträgen und Erlösen zu rechnen.

Regulierende Ökosystemleistungen

a) Regulation des Wasserhaushaltes

Die Erhöhung des Wasserrückhalts in der Fläche und im Boden und damit eine Erhöhung der Grundwasserneubildung steht natürlich im Fokus der Maßnahmen für ein nachhaltiges Wassermanagement zur Sicherung der Trinkwasserversorgung. Insofern ist die Wiederherstellung und Stärkung dieser regulierenden Ökosystemleistung das zentrale Managementziel. Es soll die Voraussetzung dafür schaffen, auch in Zukunft unter den Bedingungen des Klimawandels ausreichend Trinkwasser für die Bevölkerung, den Tourismussektor, die Land- und Forstwirtschaft, die Industrie und den Naturschutz bereitzustellen.

b) Rückhalt von Nährstoffen und Schadstoffen

Auch die Qualität des Grundwassers kann zu regionaler Trinkwasserknappheit führen, wenn nämlich aufgrund der Belastungen mit Nährstoffen und Schadstoffen Brunnen

geschlossen werden müssen. Die regulierende Ökosystemleistung des Bodens, der Nähr- und Schadstoffe eine gewisse Zeit lang zu puffern und abzubauen vermag, ist in einigen Teilen Vorpommerns (wie in vielen anderen Regionen Deutschlands) inzwischen erkennbar an ihre Leistungsgrenzen gekommen, bzw. sind diese durch die intensive Düngepraxis in der Landwirtschaft überschritten worden – was in der Wasserwirtschaft zu zusätzlichen Kosten für den Bau von Fernleitungen oder für Investitionen in aufwändige Wasseraufbereitungstechnologien führt und damit die Wasserpreise für die Endverbraucher erhöht. Eine Bewahrung der regulierenden Leistungen der Böden wäre in erster Linie durch eine Reduzierung der Nährstoffüberschüsse und der Schadstoffeinträge durch die Landwirtschaft zu erreichen.

c) Festlegung von Kohlenstoff / globale Klimaregulation

Unterschiedliche Landnutzungen haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Festlegung oder Freisetzung von Kohlenstoff – und damit auf das globale Klima. Während durch Holzaufwuchs, Humus- und Torfbildung Kohlenstoff gebunden und gegebenenfalls langfristig festgelegt wird, werden durch die Entwässerung und Bewirtschaftung vormaliger Moorböden große Mengen Kohlenstoff freigesetzt und tragen erheblich zum Treibhauseffekt und damit zum Klimawandel bei. Mit einem Stopp der Entwässerung und gesteuerter Wiedervernässung können wiederhergestellte Moore und Feuchtgebiete wirksam zur Regulierung des globalen Klimas sowie gleichzeitig zur Stabilisierung des Boden- und Grundwasserhaushalts beitragen (vgl. vorstehender Absatz zur Regulation des Wasserhaushalts).

Kulturelle Ökosystemleistungen

a) Landschaftsbild

Einige der im Projekt untersuchten Maßnahmen für ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement haben auch Auswirkungen auf das Landschaftsbild. So können Waldumbau und Waldmehrung die Vielfalt des Landschaftsbildes erhöhen, ebenso eine Extensivierung der Landwirtschaft und das Schaffen von Saumstrukturen, mit denen große Felder unterteilt und umgrenzt werden können. Die Renaturierung von Feuchtgebieten stellt weitere natürliche Landschaftselemente wieder her, die von vielen Besuchern wertgeschätzt werden.

b) Beobachtbare Biodiversität

Die Beobachtung von Küsten- und Zugvögeln, weiteren Wildtieren sowie von einer großen Vielfalt von Pflanzenarten ist vielen Einheimischen und Besuchern sehr wichtig. Der gegenwärtige starke Rückgang der Anzahl und Vielfalt von Bienen, weiteren Insektenarten und von Vogelarten löst in der Bevölkerung große Besorgnis aus. Der Erhalt und die Förderung der Artenvielfalt erhöht die Lebenszufriedenheit der Bevölkerung und die Attraktivität einer Region (TEEB DE 2016).

c) Erholungsnutzen

Viele Menschen begeben sich nach draußen in die Natur, um dort Ruhe und Erholung zu finden. Eine große Rolle spielen dabei Spaziergänge an der Küste, im Wald, in vielfältiger Landschaft und entlang von Binnengewässern. Die gefundene Erholung verbessert das Wohlbefinden, die Gesundheit und die Leistungsfähigkeit und entfaltet damit neben dem individuellen persönlichen auch einen gesellschaftlichen Nutzen.

Erweiterte ökonomische Bewertung der Maßnahmenoptionen

Nach der grundsätzlichen Übersicht über die möglichen Effekte eines nachhaltigkeitsorientierten Wasserressourcenmanagements werden nun die einzelnen Maßnahmen im Hinblick auf ihre Kosten und Nutzen untersucht.

Auf der Kostenseite stehen die Investitions- und Unterhaltungskosten von ingenieurtechnischen Maßnahmen (Erschließung neuer Brunnen, Bau zusätzlicher Fernleitungen, Bau wassertechnischer Anlagen im Zusammenhang mit Wiedervernässungsprojekten sowie die Kosten von Wasseraufbereitungs- und von Meerwasserentsalzungsanlagen). Auch naturräumlich orientierte Maßnahmen wie Waldmehrung, Waldumbau oder Wiedervernässung von Mooren verursachen Umsetzungskosten und gegebenenfalls Kosten durch den Verzicht auf andere, betriebswirtschaftlich ertragreichere Nutzungen.



Ingenieurtechnische Maßnahmen zur Sicherung und zum Ausbau der Trinkwasserversorgung

Die hier näher betrachteten ingenieurtechnischen Maßnahmen umfassen:

- die Neuerschließung zusätzlicher Brunnen,
- den Bau von Fernleitungen
- den Bau von Wasseraufbereitungsanlagen, die belastetes Grundwasser zu Trinkwasserqualität aufbereiten können,
- den Bau von Meerwasserentsalzungsanlagen,
- eine gezieltere Steuerung der Wasserstände in Entwässerungsgräben,
- den Einbau von Steuerungseinrichtungen in Dränagesystemen.

Im Folgenden werden die Kosten und Nutzen dieser Maßnahmen erörtert.

Erschließung und Nutzung bisher ungenutzter Vorkommen

In dem für den Zweckverband Wasserversorgung & Abwasserbeseitigung Insel Usedom erstellten Trinkwasserversorgungskonzept wurden Investitionskosten für **nahegelegene Neubrunnen** kalkuliert (UmweltPlan 2015). Die Anlage solcher Brunnen ist natürlich nur dort möglich, wo ein ausreichendes Grundwasserdargebot in ausreichender Qualität zur Verfügung steht.

Rechnet man die in den Beispielen aus UmweltPlan (2015) ermittelten Kosten für den Brunnen- und Leitungsbau einschließlich einer neu gebauten Grundwassermessstelle sowie der Baunebenkosten auf die damit bereitzustellende Tagesrate $Q_{d,max}$ um, ergeben sich Werte von **500 bis 700 €/m³/d** (eigene Berechnung auf Grundlage der von UmweltPlan 2015 ermittelten Daten). „Kubikmeter pro Tag“ (m³/d) wird hier als Maßstab verwendet, um die verschiedenen technischen Lösungen untereinander vergleichen zu können – denn letztlich geht es bei der Sicherung oder Erhöhung der Versorgungskapazität um die Gewährleistung der täglichen Versorgung mit einem bestimmten Wasservolumen.

Bau zusätzlicher Fernleitungen

Die Kosten des Baus von **Fernleitungen** sind natürlich stark abhängig davon, über welche Distanz, durch welches Gelände und mit welcher Kapazität die Fernleitung das Wasser transportieren soll. In der auf konkrete Beispiele auf der Insel Usedom bezogenen Studie von UmweltPlan (2015) liegen die Gesamtbaukosten bei einer Überleitungslänge von ca. 5 km, umgerechnet wiederum auf die Tagesmenge $Q_{d,max}$, bei ca. **900 €/m³/d**. Bei längeren Überleitungsstrecken können die Kosten natürlich deutlich höher liegen.

Aufbereitung zunehmend belasteter Altfassungen

Eines der großen Probleme in Vorpommern, wie auch in vielen anderen landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen in Deutschland, sind der übermäßige Düngemiteleininsatz und die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Daraus resultieren Belastungen des Grundwassers, die in nicht wenigen Fällen dazu führen, dass Brunnen geschlossen werden müssen, dass das Wasser aus den belasteten Brunnen mit Wasser aus weniger belasteten Brunnen verschnitten werden muss, um die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung einzuhalten oder dass, wie beispielsweise in Stralsund, das Grundwasser technisch aufwendig aufbereitet werden muss. Diese Aufbereitung kann u.a. mit der Umkehrosmose-technik durchgeführt werden. Die Investitionskosten in solche **Anlagen zur weitergehenden Aufbereitung belasteten Grundwassers** liegen bei ca. **1.000 bis 1.800 €/m³/d** (Berechnungen auf Grundlage von UmweltPlan 2015 und UBA 2017).

Meerwasserentsalzung

In einigen sehr wasserarmen und zugleich küstennahen Regionen im Mittelmeerraum, aber auch in anderen Regionen der Welt, werden Meerwasserentsalzungsanlagen eingesetzt, die unter hohem Energieaufwand Meerwasser zu Trinkwasser aufbereiten. Insbesondere wenn dies unter Einsatz fossiler Energieträger geschieht, wie beispielsweise am Persischen Golf, verursacht diese Technik der Trinkwasserbereitstellung hohe Treibhausgasemissionen. Neben diesen negativen Klimaeffekten können durch die Wiedereinleitung der konzentrierten Salzlauge ins Meer, in der sich je nach Verfahren

zudem noch umweltschädliche Chemikalien befinden können, ökologische Beeinträchtigungen rund um die Wiedereinleitungsstelle auftreten. Durch Einsatz von Wind- oder Solarenergie und eine sorgfältige Konstruktion des Bauwerks zur Wiedereinleitung des Salzkonzentrats kann jedoch ein Teil dieser potenziellen negativen Auswirkungen der Meerwasserentsalzung vermieden werden.

Der mit der **Meerwasserentsalzung** verbundene technische Aufwand und der notwendige Energieeinsatz machen die Form der Trinkwasserbereitstellung auch zur teuersten Lösung: **1.500 bis 2.000 €/m³/d** kostet die Investition in Anlagen einer Größe, wie sie in Küstengemeinden an der Ostsee in Frage kämen (Berechnungen auf Grundlage von UmweltPlan 2015).

Beispielhafter Vergleich der verschiedenen ingenieurtechnischen Optionen

Die von in Kapitel 4 umrissenen Szenarien zur Entwicklung der zukünftigen Wasserbedarfe in der Region Vorpommern ermittelten mögliche Mehrbedarfe von 6 bis 8 Millionen m³ pro Jahr, was zusätzlichen täglichen Wasserbedarfen von insgesamt 16.000 bis 22.000 m³/d entspricht.

Einige der in den letzten Jahren vorgeplanten möglichen Erweiterungen von Trinkwasserversorgungsinfrastrukturen in Vorpommern waren auf Dimensionen von um die 2.000 m³ pro Tag ausgelegt. Da diese Dimension für jeweils einzelne Gemeinden in der Region Vorpommern eine plausible Größenordnung für Erweiterungsbedarfe in den nächsten Jahren darstellt, werden hier die in den vorhergehenden Abschnitten aufgeführten Investitionskosten für Anlagen zur Erweiterung der Versorgungskapazität um 2.000 m³ pro Tag berechnet.

Sollte also in einer Beispielgemeinde aufgrund eines Zuwachses an Wassernachfrage oder durch den durch Stoffbelastung bedingten Wegfall einer Wasserfassung ein **Mehrbedarf von 2.000 m³/d** entstehen (entspricht der Versorgungskapazität für ca. 20.000 Einwohner), wäre ein solcher Mehrbedarf (vorbehaltlich der technischen Realisierbarkeit vor Ort) **durch Investitionen in folgender Höhe zu decken:**

nahegelegene Neubrunnen:	1,0 – 1,4 Mio. €
Fernleitungen:	1,6 – 2,0 Mio. €
Weitergehende Aufbereitung:	2,0 – 3,6 Mio. €
Meerwasserentsalzung:	3,0 – 4,0 Mio. €

Fällt eine der kostengünstigeren Alternativen aus (beispielsweise, weil in der Nähe keine ausreichenden, noch nicht genutzten Grundwassermengen erschlossen werden können), müsste jeweils die nächst teurere Variante realisiert werden – falls es nicht durch andere Maßnahmen gelingt, entweder die Qualität des vorhandenen Grundwassers zu verbessern, die Grundwasserneubildung zu erhöhen oder die Wassernachfrage zu begrenzen. Mit diesen letztgenannten Alternativen beschäftigen sich die folgenden Abschnitte.

Gezieltere Steuerung der Wasserstände in Entwässerungsgräben sowie Einbau von Steuerungseinrichtungen in bestehende Dränanlagen

Wie in Kapitel 8 bereits dargestellt, könnte eine gezieltere Steuerung der Wasserstände in Entwässerungsgräben sowie der Einbau von Steuerungseinrichtungen in bestehende Dränanlagen zu einer Erhöhung der Boden- und Grundwasserstände und zugleich zu einer Verringerung der Risiken von Sommertrockenheiten beitragen, d. h. die Erträge auf Acker- und Grünlandstandorten stabilisieren.

Als Kosten für eine solche genauere Steuerung würden zusätzliche Personalkosten für häufigere Kontrolle und Nachsteuerung anfallen, außerdem gegebenenfalls Baukosten für eine Sanierung oder technische Aufrüstung bestehender Regelungseinrichtungen bzw. eines Einbaus zusätzlicher Regelungsanlagen. Die Kosten sind sehr standort- und anlagenspezifisch und daher schwierig generalisierend zu berechnen. Eine Studie des LfULG Sachsen kommt in den darin angestellten Kosten-Nutzen-Berechnungen allerdings zu der Einschätzung, dass der **betriebswirtschaftliche Nutzen** von Investitionen in Boden- und Grundwasserregulierungsanlagen und ihren Unterhalt die Kosten in den meisten Fällen deutlich überwiegen – dies vor allem aufgrund der erzielbaren **Ertragssteigerungen** gegenüber Situationen, in denen der Boden- und Grundwasserhaushalt weniger gezielt gesteuert wird (LfULG 2013).

Neben den betriebswirtschaftlich positiv zu Buche schlagenden Ertragssteigerungen können **Zusatznutzen für den Gewässerschutz und den Grundwasserhaushalt** erzielt werden. Durch die längere Verweilzeit des Wassers im Boden können Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) zurückgehalten und von den Pflanzen besser verwertet werden, was zu geringeren Nährstoffausträgen in Grund- und Oberflächenwasser führt. Durch die höhere Grundwasserneubildung vergrößert sich das für die Wasserversorgung nutzbare Grundwasserdargebot. Abbildung 27 in Kapitel 8.1 zeigt die möglichen positiven Effekte einer verbesserten Grabenbewirtschaftung auf die Grundwasserstände (bis zu 50 cm höhere Grundwasserstände), und Abbildung 28 gibt einen Eindruck der mengenmäßigen Potenziale eines verbesserten Wasserrückhaltes im Boden bei gezielter gesteuerter Dränung (bis zu 60 % mit Hilfe des Gebietsabflusses werden aktuell über die Dränung abgeleitet).

Einige der regionalen Wasser- und Bodenverbände bemühen sich bereits in Absprache mit den Landwirten um eine gezieltere Steuerung der Grabenentwässerung. Und im Rahmen des Demonstrationsvorhabens „Controlled Drainage – Kontrollierte Dränung“ des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Rostock und dem Ingenieurbüro „Fränkische Rohrwerke“ die Anwendungspotenziale des Einbaus von Regelungseinheiten in bestehende Dränsysteme demonstriert (MULV 2012).



Naturräumlich orientierte Maßnahmen

Neben den oben erörterten ingenieurtechnischen Maßnahmen stehen alternativ oder ergänzend auch Maßnahmen zur Verfügung, mit denen die natürliche Regulation des

Wasserhaushaltes in Richtung eines höheren Wasserrückhalts und höherer Grundwasserneubildung beeinflusst werden können (vgl. Kapitel 8), darunter ein Waldumbau von Nadel- zu Laubwald oder Mischwald, Aufforstung oder die Wiedervernässung von Moorflächen. Im Folgenden werden die Kosten und Nutzen dieser naturräumlich orientierten Maßnahmen diskutiert.

Waldumbau Nadel- zu Laub / Mischwald

Ein Umbau von Nadel- zu Laub- oder Mischwald trägt zu einer vermehrten Grundwasserbildung und zu einer Verbesserung der Grundwasserqualität bei (MLUV 2016). Daher fördern die Forstbehörden seit einigen Jahren Maßnahmen zu einem naturnahen Waldumbau mit dem Ziel des Gewässerschutzes. So wurden im Zeitraum 2011 bis 2015 Waldumbaumaßnahmen auf einer Fläche von 3.773 ha mit insgesamt 13,5 Mio. € zu 70 Prozent gefördert. Bei Gesamtinvestitionen von 19,3 Mio. € ergeben sich damit Kosten von ca. **5.000 € pro Hektar Waldumbau**.

Aus dem Waldumbau kann sich langfristig eine **Erhöhung der Grundwasserneubildung um bis zu 50 mm pro Jahr** ergeben, was einer Menge von **500 m³ pro Hektar pro Jahr** entspricht. Mit dieser Menge wäre der Jahresbedarf von 11 bis 15 Einwohnern zu decken (Wasserverbrauch der Bevölkerung im Hinterland: ca. 33 m³ pro Jahr pro Kopf bzw. 90 Liter pro Tag, Wasserverbrauch in den Tourismushochburgen: 44 m³/Jahr/Kopf bzw. 120 Liter pro Tag).

Um beispielsweise eine Menge von **2.000 m³/ha/Tag** (bzw. 730.000 m³/ha/Jahr) zur Versorgung von ca. 20.000 Einwohnern bereitzustellen, müssten ca. **1.500 ha Nadelwald in Laub / Mischwald** umgebaut werden – das entspricht ca. einem Prozent der Waldfläche in den Landkreisen Vorpommern-Rügen und Vorpommern-Greifswald (141.219 Hektar im Jahr 2016, Statistisches Jahrbuch MV 2017).

Durch Waldumbau besonders in den Regionen, bei denen sich vor dem Hintergrund der Klima- und Bedarfsszenarien zukünftige Versorgungsprobleme abzeichnen, könnten im Zusammenwirken mit weiteren naturräumlich orientierten Maßnahmen die Grundwasserspeicher so weit angereichert werden, dass auf den Bau zusätzlicher Fernleitungen oder aufwendigerer technischer Aufbereitungslösungen gegebenenfalls verzichtet werden könnte.

Waldmehrung

Die Aufforstung zuvor landwirtschaftlich genutzter Flächen bringt aus Sicht des Grundwasserschutzes vor allem eine Reduzierung der Belastung des Grundwassers durch Nährstoffe und Pflanzenschutzmittel mit sich. Damit kann also der Verknappung von sauberem Grundwasser entgegengewirkt werden, die in der Region in den letzten Jahren immer weiter fortgeschritten ist. Bei Vermeidung der in der Region üblichen Stickstoffausträge aus den oberen Bodenschichten von 25 bis 100 kg pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche können **Umweltkosten der Grundwasserverschmutzung von mindestens 150 bis 600 € pro Hektar pro Jahr vermieden** werden.

Die mengenmäßige Grundwasserbildung unter Wald unterscheidet sich dagegen nicht deutlich von der unter gedrähtem Acker- oder Grünland.

Darüber hinaus fallen im Zuge der Aufforstung die Treibhausgasemissionen aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in einer Größenordnung von 1 bis 40 t CO₂-Äquivalenten weg (UBA 2006), die durch die Ausbringung von Düngemitteln und – im Falle der bisherigen Nutzung entwässerter Moorböden – gegebenenfalls durch den Zerfall von Torfsubstanz verursacht werden. Zusätzlich werden durch den Aufwuchs von Bäumen pro Hektar und Jahr ca. 4,6 t CO₂-Äquivalente festgelegt. Bewertet man diese Vermeidung von Treibhausgasemissionen mit dem vom Umweltbundesamt ermittelten Kostensatz der damit zu vermeidenden Klimaschäden (z.B. durch vermehrte Hochwasser-, Dürre- und Sturmereignisse sowie durch Meeresspiegelanstieg, UBA 2018), ergibt sich ein **Klimaschutz-Nutzen von mindestens 800 bis zu 6.000 €/ha/Jahr aufgeforsteter Fläche**.

Ein weiterer Nutzen der Waldmehrung besteht in der Förderung von Biodiversität. Der Verlust von Artenvielfalt, der mit einer intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung einhergeht, die Randstreifen und Strukturelemente ausgeräumt hat und auf intensiven Einsatz von Pflanzenschutzmitteln setzt, wird in der Bevölkerung als dramatisch wahrgenommen. Repräsentative Befragungsstudien ergeben immer wieder eine hohe Wertschätzung und **Zahlungsbereitschaft für den Erhalt und die Förderung von Biodiversität – in der Untersuchungsregion zwischen 6 und 40 Millionen Euro pro Jahr** (Hirschfeld et al. 2019).

Neben den positiven Auswirkungen auf die Biodiversität wird durch eine partielle Aufforstung aus Sicht der Bevölkerung auch das Landschaftsbild bereichert. Auch hierfür besteht in den beiden Landkreisen Vorpommern-Rügen und Vorpommern-Greifswald eine Zahlungsbereitschaft zwischen 3 und 6 Millionen Euro pro Jahr pro Prozentpunkt Erhöhung des Waldanteils (Hirschfeld et al. 2019), bzw. **zwischen 2.000 und 4.000 Euro jährlicher Zahlungsbereitschaft pro Hektar Aufforstung**.

Insgesamt ergibt sich also pro Hektar Waldzuwachs ein jährlicher Nutzen von 3.000 bis 10.000 Euro, der sich aus verbessertem Gewässerschutz, verstärktem Klimaschutz und bereicherterem Landschaftsbild ergibt. Da die positiven Effekte auf eine Erhöhung der Artenvielfalt nur schwierig einzelnen Aufforstungsmaßnahmen pro Hektar zugeschrieben werden können, sind diese weiteren erheblichen Nutzen hierbei noch gar nicht hinzugerechnet.

Diesem jährlichen Nutzen stehen einmalige **Investitionskosten für die Aufforstung von ca. 7.750 €/ha** gegenüber (MLUV 2016). Auch in dem Fall, dass Flächen für die Waldmehrung den gegenwärtigen Eigentümern abgekauft werden müssten (bei aktuellen Preisen von 15.000 bis 25.000 Euro pro Hektar landwirtschaftlich genutzte Fläche), **würde sich eine gesellschaftliche Investition in Waldmehrung also innerhalb von 3 bis 10 Jahren ausgezahlt haben und für alle weitere Zukunft gesellschaftlichen Gewinn abwerfen**.

Wiedervernässung von Moorflächen

In Vorpommern werden seit vielen Jahren in großem Umfang ehemalige Moorflächen dauerhaft entwässert und landwirtschaftlich als Grünland- oder Ackerflächen genutzt. Diese Praxis wird in den letzten Jahren aus drei Gründen immer stärker auf den Prüfstand gestellt:

Erstens werden durch die Entwässerung große Mengen Treibhausgase emittiert: Durch den Zerfall des Torfes werden pro Jahr zwischen **20 und 40 t CO₂-Äquivalente pro Hektar** entwässerten Moorbodens freigesetzt, was gesellschaftliche **Klimaschadenskosten von 1.600 bis 6.000 €/ha** verursacht (Hirschfeld et al. 2008, Flessa et al. 2012, UBA 2018) – allein dies ist häufig schon mehr, als auf der Fläche als betrieblicher Gewinn erwirtschaftet werden kann.

Zum Zweiten sind mit der Bewirtschaftung der ehemaligen Moore **wertvolle Biotope** verlorengegangen, u. a. beispielsweise damit auch Rast- und Nistplätze für Vögel. Durch eine Wiedervernässung könnten diese Biotope wiederhergestellt und über die folgenden Jahre nach und nach wieder besiedelt werden. Für eine Erhöhung der Artenvielfalt besteht, wie oben bereits im Abschnitt zur Waldmehrung erörtert, eine hohe Wertschätzung in der Bevölkerung (Hirschfeld et al. 2019).

Und zum Dritten speichern Moore und Feuchtgebiete große Mengen Wasser, können also in Trockenperioden, deren Häufigkeit, Intensität und zeitliche Ausdehnung im Zuge des Klimawandels von Frühjahr bis Herbst voraussichtlich zunehmen werden, als Puffer dienen – sie **stabilisieren damit den Wasserhaushalt in der Landschaft** und **sichern damit auch die Verfügbarkeit sauberen Trinkwassers**.

Diesen Nutzen stehen einmalige **Investitionskosten für Kauf bzw. Entschädigung dieser Flächen und zur Planung und technischen Ausführung der Wiedervernässung in Höhe von 20.000 bis 30.000 €/ha** gegenüber. Aus gesellschaftlicher Sicht würde sich eine solche Investition bereits allein auf Grundlage der Klimaschadenskosten in einem Zeitraum von etwa 4 bis 20 Jahren amortisieren, unter Einbezug der positiven Wirkungen auf Biodiversität und Wasserverfügbarkeit noch deutlich schneller. Zudem bedeutet Wiedervernässung nicht automatisch eine vollständige Nutzungsaufgabe. Die Universität Greifswald untersucht bereits seit vielen Jahren Möglichkeiten zu Anbau und Ernte von Gehölzen und anderer Biomasse auf vernässten Flächen (Wichtmann, Schröder, Joosten 2016). Mit diesen sogenannten Paludikulturen könnten einerseits die positiven Klimaeffekte der Wiedervernässung weiter erhöht und andererseits durch die Generierung von Einkommen aus der angepassten Nutzung der Flächen die Kosten der Nutzungsänderung reduziert werden.



Wassernutzungsorientierte Maßnahmen

Landwirtschaft

Wie sich im Dürresommer 2018 zeigte, drohen der Landwirtschaft bei ausbleibenden Niederschlägen Ernteauffälle von durchschnittlich etwa einem Drittel der langjährigen Mittelwerte, mit Einnahmeverlusten von 280 Mio. Euro bei den Mähdruschfrüchten und 130 Mio. Euro im Futterbau (IPB 2018). Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft rät vor diesem Hintergrund zu einer Anpassung an die geänderten Klimabedingungen durch **Anbaudiversifizierung, konservierende Bodenbearbeitung, Züchtung angepasster Sorten und Änderung der Sortenwahl** (BMEL 2018). **Künstliche Beregnung** ist nicht in allen Fällen möglich, in der Regel kostenintensiv und trägt zu einer weiteren Verknappung der Trinkwasserressourcen gerade in den verbrauchsintensiven Sommermonaten bei. Aus Sicht des Trinkwasserschutzes sollte daher von einem Ausbau der Beregnungskapazitäten unbedingt abgesehen werden (vgl. hierzu auch die Modellierungsergebnisse aus Kapitel 8).

Von zentraler Bedeutung zur Sicherung der Trinkwasserressourcen ist vor allem eine Reduzierung der eingesetzten Dünge- und Pflanzenschutzmittel, da diese Emissionen zunehmend ins Grundwasser durchschlagen. Dies führt zu einer Verknappung sauberen Grundwassers. Zu hoch belastete Wasserfassungen müssen aufgegeben werden, was aufwendige technische Lösungen erforderlich macht, wie den Bau von Fernleitungen oder Investitionen in kostenintensive weitergehende Reinigungstechniken.

Tourismus

Wie im Zukunftsszenario zur Tourismusedwicklung in Kapitel 4 dargestellt, ist in den nächsten Jahren mit einem weiteren Anstieg der Übernachtungszahlen gerade in den Sommermonaten zu rechnen – und damit auch mit weiter steigenden Wasserbedarfen. Der Einsatz wassersparender Armaturen und Spülungen, aber auch Aufklärung und Sensibilisierung der Besucher für ein sparsames Nutzungsverhalten einschließlich eines wassersparenden Wäschemanagements in Hotels und Ferienwohnungen bieten hierzu noch einiges Potenzial.

Eine differenziertere Ausgestaltung der Wasserpreise könnte gezielt zusätzliche Anreize setzen. So wurde in einigen der Regionalen Wasserforen das Problem angesprochen, dass die privaten Haushalte in der Region über ihren Wasserpreis die erheblichen Zusatzkapazitäten mitfinanzieren, die für die Sommertouristen bereitgestellt werden – während die Einwohner selber im Vergleich zum Bundesdurchschnitt sehr sparsam mit dem Wasser umgehen. Eine Lösung könnte darin liegen, für gewerbliche Wassernutzer aus dem Tourismussektor einen höheren und progressiven Wassertarif vorzusehen als ihn Privathaushalte zahlen müssen. Dies würde die Kostenträgerschaft für die zusätzlich vorzuhaltenden Kapazitäten verursachergerechter verteilen und für die Tourismusbranche den Anreiz zum Ausschöpfen der Wassersparpotenziale erhöhen.

Planung

Eine zentrale Rolle für die nachhaltige Sicherung der Wasserversorgung kommt der regionalen Planung zu. Die planungsrechtliche Sicherung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für den Trinkwasserschutz ist aus fiskalischer Sicht – und damit auch aus der Perspektive der breiten Bevölkerung, bzw. der Steuer- und Wassergebührenden – die kostengünstigste Lösung, Trinkwasserressourcen für die Zukunft zu sichern.

Kostenlos ist eine solche Sicherung nicht, denn sie bringt für aktuelle oder auch zukünftige Landnutzer Nutzungseinschränkungen mit sich. Bewirtschaftungsauflagen, Landnutzungsänderungen, wie Aufforstung auf landwirtschaftlichen Flächen oder Wiedervernässung von Moorflächen, bedeuten privatwirtschaftliche Nutzungseinbußen, die je nach Rechtslage gegebenenfalls kompensiert oder entschädigt werden müssen. In einigen Fällen kann dies auch durch einen Ankauf von Flächen geschehen – mit dem Kaufpreis als Kompensation für entgangene zukünftige Erträge.

Diesen Einschränkungen privatwirtschaftlicher Flächennutzungen stehen jedoch, wie oben gezeigt, hohe gesellschaftliche Nutzen gegenüber, die eine solche planerische Sicherung von Flächen rechtfertigen – für einen nachhaltigen Schutz der Trinkwasserressourcen und damit eine gesicherte und bezahlbare Trinkwasserversorgung auch in einer Zukunft mit fortschreitendem Klimawandel, für den Erhalt und die Förderung von Biodiversität, für ein vielfältiges und attraktives Landschaftsbild und Erholungsmöglichkeiten für die Bevölkerung und die Besucher.

Fazit der erweiterten ökonomischen Bewertung

Ingenieurtechnische Maßnahmen, wie der Bau neuer Fernleitungen, aufwendiger Aufbereitungsanlagen oder im Extremfall Meerwasserentsalzung sind technisch zeitnah machbar, wirksam, teils kostspielig und durch die Wassernutzer zu zahlen. Durch ihre Umsetzung entstehen weitere Zusatz-Kosten, wie zusätzliche Ressourcen- und Energieverbräuche, nachteilige Eingriffe in Landschaft und Ökosysteme.

Naturräumliche Maßnahmen sind insbesondere langfristig kostengünstiger als ingenieurtechnische Lösungen und zahlen sich aus gesellschaftlicher Perspektive besser aus, da sie erhebliche Zusatznutzen für Gewässerschutz, Biodiversität und Landschaftsbild erbringen, die der gesamten aktuellen und zukünftigen Bevölkerung zugutekommen.

Verbrauchsorientierte Maßnahmen sind flankierend wichtig, um die Versorgungsbedarfe in Zukunft nicht noch weiter wachsen zu lassen. Sie sind aus gesellschaftlicher Sicht kostengünstig, politisch aber teilweise konfliktträchtig, da einzelne Nutzergruppen, wie z. B. landwirtschaftliche Betriebe mit ihren Bewässerungsbedarfen, gegebenenfalls eingeschränkt oder mit höheren Kosten belastet werden (wie z. B. durch höhere Wasserpreise für Großverbraucher).

Planerische Maßnahmen sind aus gesellschaftlicher Sicht ebenfalls kostengünstig und mit ihrer langfristigen Orientierung am Vorsorgeprinzip sehr vorteilhaft. Um Konflikte mit Land- und Wassernutzern, die durch planerische Vorgaben in ihren Nutzungen eingeschränkt werden, zu verringern oder zu vermeiden, müssen jedoch gegebenenfalls geeignete Kompensationsregelungen für entstehende Einkommensverluste gefunden werden. Das hohe Gemeinwohlinteresse an der nachhaltigen Sicherung von Trinkwasserressourcen wird jedoch in vielen Fällen die Einschränkung zukünftiger Nutzungen rechtfertigen.

10 Regionalplanerische Aspekte

Robert Mandtke & Roland Wenk, RPV

Der Schutz natürlicher Ressourcen ist grundlegender Bestandteil der Daseinsvorsorge und damit auch Teil der Raumordnung und Regionalplanung. Der Regionale Planungsverband Vorpommern widmet sich in seinem Regionalen Raumentwicklungsprogramm von 2010 (RREP) u. a. dem Schutz des Trinkwassers. Hierzu werden in der Karte im Maßstab 1:100.000 Vorranggebiete sowie Vorbehaltsgebiete festgesetzt. Als Ziel der Raumordnung sind in Vorranggebieten alle Planungen und Maßnahmen so abzustimmen, dass sie den Anforderungen des Trinkwasserschutzes entsprechen. Vorbehaltsgebiete haben hingegen einen Grundsatzcharakter. Hier muss dem Trinkwasserschutz gegenüber anderen Planungen und Maßnahmen ein besonderes Gewicht beigemessen werden. Grundlage für die Abgrenzung bilden bisher die Trinkwasserschutzgebiete mit ihren Trinkwasserschutzzonen I und II für die Vorranggebiete sowie III und IV für die Vorbehaltsgebiete. Somit wird planerisch ein Beitrag zum Schutz der gegenwärtig genutzten Wasservorkommen sowie zur Sicherung der Qualität und Verfügbarkeit des Trinkwassers geleistet.

Wie die Projektergebnisse zeigen, sind neben der Sicherung der Grundwasserressourcen weitere Maßnahmen möglich, um sich den Herausforderungen bei der Trinkwasserversorgung zu stellen. Auch die Regionalplanung kann mit Planungsinstrumenten dazu beisteuern. Dabei stellt sich die Frage, welcher Beitrag über die Festsetzung von Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten hinaus raumordnerisch geleistet werden kann. Im Folgenden werden Ansatzpunkte für die Verknüpfung von Ressourcenschutz und Ressourcenentwicklung mit regionalplanerischen Instrumenten beschrieben.

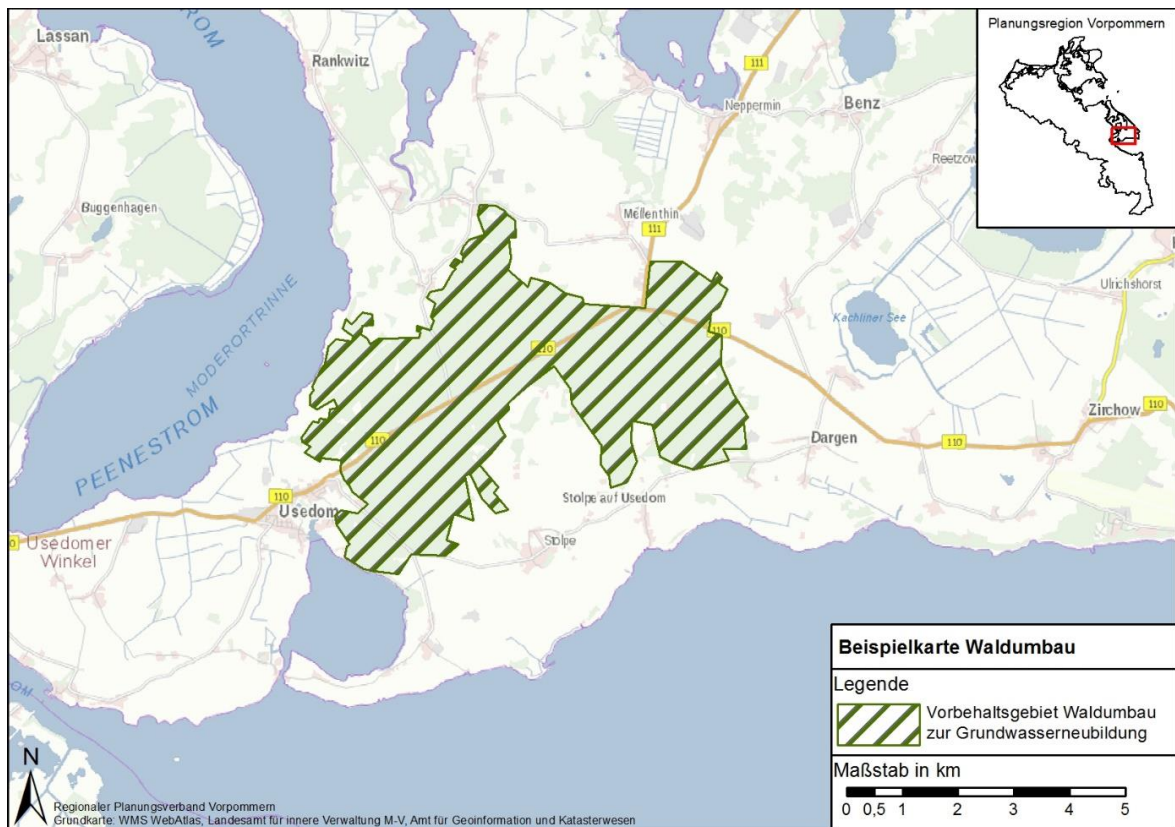


Abbildung 33 Beispiel für raumordnerische Festlegungen zum Umbau von Waldflächen mit dem Ziel, in diesem Bereich die Grundwasserneubildung zu fördern.

Forstwirtschaft / Wald

Im RREP Vorpommern (2010) werden bereits Aussagen zur Waldmehrung getroffen. So sollen gemäß des Programmsatzes 5.4 (7) geeignete Flächen zur Waldmehrung u.a. unter Berücksichtigung der Belange des Trinkwasserschutzes aufgeforstet werden. Zur stärkeren Berücksichtigung der Grundwasserneubildung können weitere Aussagen zum Waldumbau aufgenommen werden. Ein Grundsatz der Raumordnung sollte den Waldumbau von Nadelwäldern in den Blick nehmen und den Umbau von geeigneten Waldflächen unterstützen. Neben allgemeinen textlichen Festsetzungen sind ebenso räumlich-konkrete Aussagen bzw. kartografische Kennzeichnungen bestimmter Schwerpunkträume für den Waldumbau möglich (siehe Abbildung 33). Die Grundlagen dazu können gemeinsam mit den Forstbehörden in der Region erarbeitet werden.

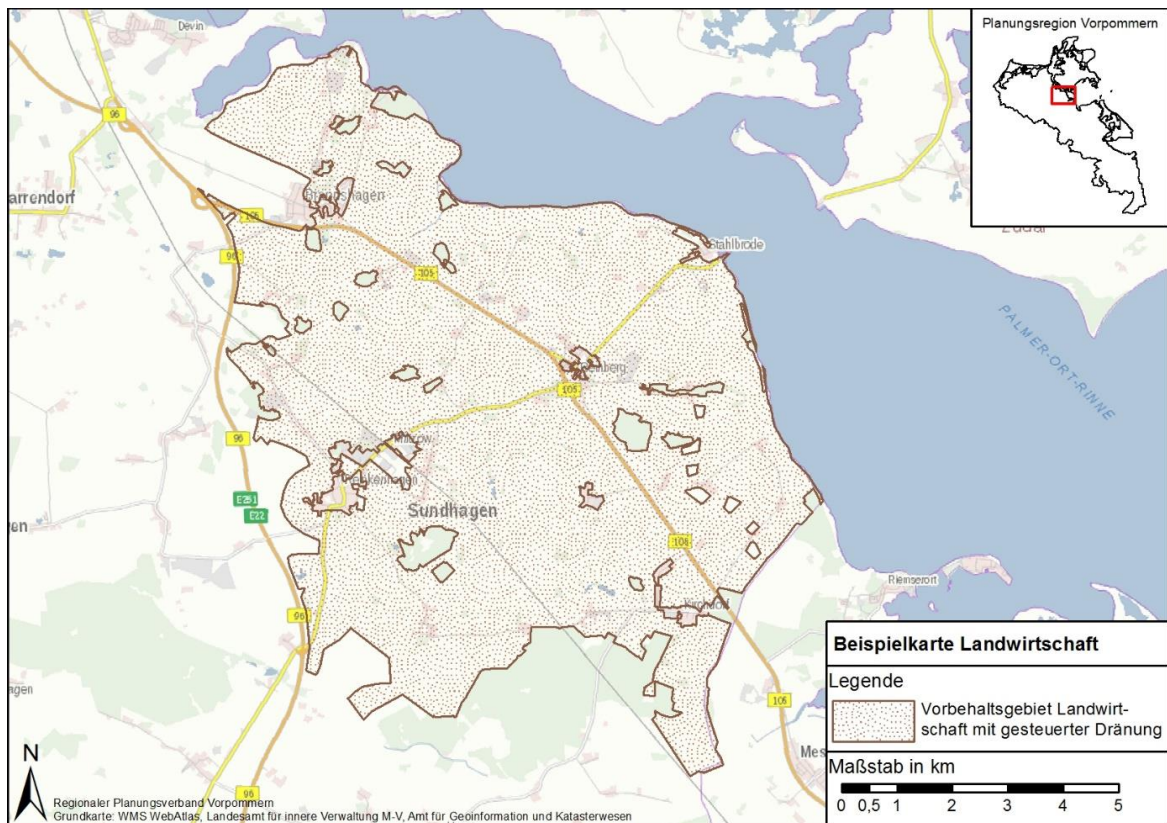


Abbildung 34 Beispiel für raumordnerische Festlegungen zur Steuerung der Dränung innerhalb von Vorbehaltsgebieten Landwirtschaft als Beitrag für eine verbesserte Grundwasserneubildung.

Landwirtschaft

Regionalplanerische Aussagen zur Landwirtschaft beziehen sich vor allem auf die Sicherung ihrer Leistungsfähigkeit als bedeutender Wirtschaftssektor des ländlichen Raumes. So werden im RREP Vorpommern (2010) kartografisch Vorbehaltsgebiete Landwirtschaft ausgewiesen, in denen der Landwirtschaft gegenüber anderen Nutzungen eine besondere Rolle beigemessen wird. Programmsätze, die Anforderungen des Trinkwasserschutzes an die Landwirtschaft stellen, sind aktuell nicht im RREP integriert. Hier bestehen verschiedene Anknüpfungspunkte. Für Vorbehaltsgebiete Landwirtschaft können Festsetzungen getroffen werden, die sich auf eine für den Grundwasserhaushalt schonende Entwässerung landwirtschaftlicher Nutzflächen richten. Dazu zählt die Erhöhung der Grundwasserneubildung durch eine gezielte Steuerung der Dränung (siehe Abbildung 34). Die gesteuerte Dränung hätte den positiven Nebeneffekt, einer Verlagerung von Pflanzennährstoffen in tiefere Bodenschichten sowie einer Verfrachtung in die Vorflut von Oberflächengewässern entgegenzuwirken.

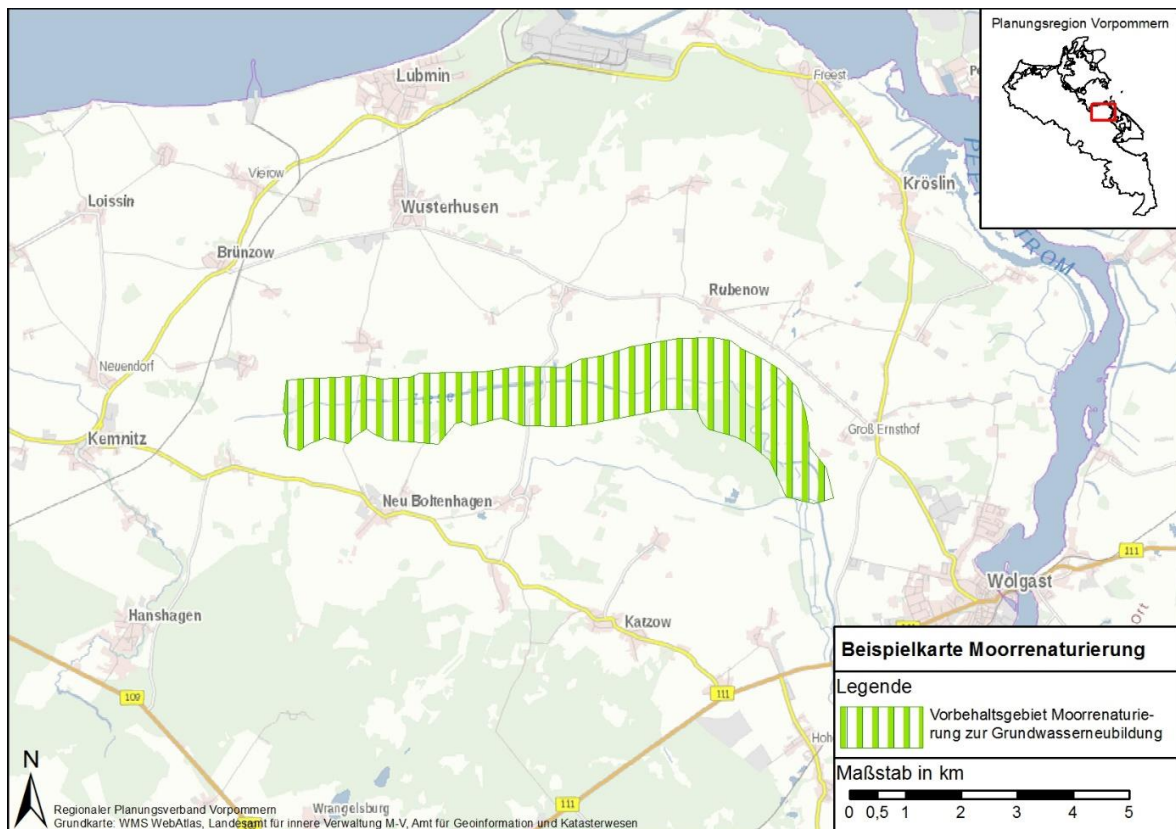


Abbildung 35 Beispiel für eine raumordnerische Festlegung von Schwerpunkträumen zur Renaturierung von Mooren (hier am Beispiel des Ziesetals).

Naturschutz und Klimaschutz

Die im RREP Vorpommern ausgewiesenen Vorrang- und Vorbehaltsgebiete Naturschutz und Landschaftspflege orientieren sich u.a. an den vorhandenen Moorflächen. Moore haben eine hohe landschaftsökologische Bedeutung und tragen mit ihren Funktionen zum Erhalt gefährdeter Arten bei. Die bereits beschriebenen umweltrechtlichen Anforderungen bei der Genehmigung von Grundwasserentnahmen spielen hier eine wichtige Rolle. Durch den Klimawandel bedingte Absenkungen des Grundwasserspiegels gefährden die grundwasserabhängigen Moore. Eine Wiedervernässung bzw. Renaturierung der Moore wirkt sich positiv auf den Erhalt selbst sowie auf die Grundwasserneubildung und auf die Verminderung von CO₂-Emissionen aus. Es besteht die Möglichkeit, mit der Festlegung von Schwerpunkträumen Flächen für die Renaturierung regionalplanerisch zu sichern (siehe Abbildung 35). Für eine räumlich-konkrete Abgrenzung der Schwerpunkträume bedarf es der Zusammenarbeit mit den Naturschutzbehörden.

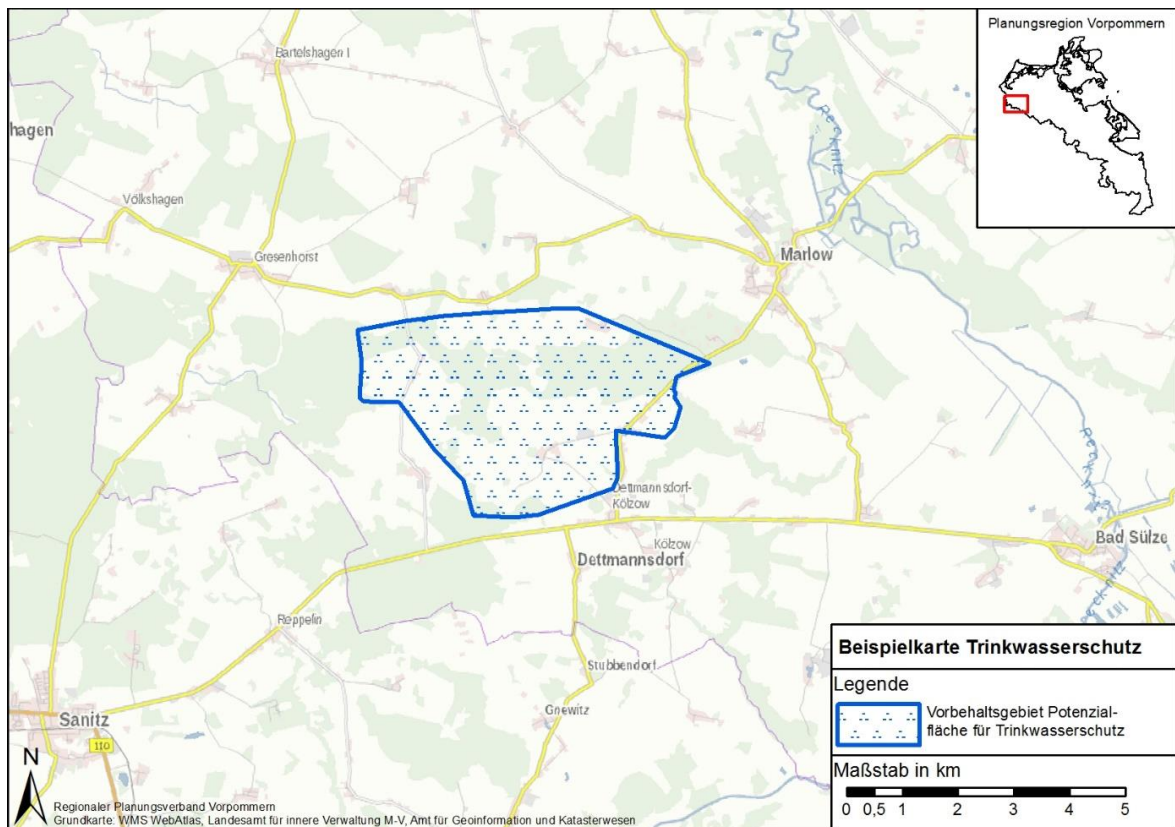


Abbildung 36 Beispiel für eine raumordnerische Festlegung zur Sicherung von Grundwasserressourcen.

Potenzialflächen schützen

Bisher basieren die regionalplanerischen Aussagen für Vorrang- und Vorbehaltsgebiete auf den festgelegten Trinkwasserschutzgebieten inklusive Trinkwasserschutzzonen I - IV. Weiterführende Festlegungen können sich auf die raumordnerische Sicherung von potenziellen Trinkwasserschutzgebieten beziehen. Das können Gebiete sein, welche nicht durch eine Trinkwasserschutzverordnung gesichert sind, jedoch die für eine solche Festsetzung notwendigen Voraussetzungen erfüllen und mittel- bis langfristig zur Gewährleistung der Trinkwasserversorgung herangezogen werden müssen. Als Instrument der Raumordnung bieten sich bspw. Vorbehaltsgebiete Grundwassersicherung / Trinkwasserschutz an, um dem Ressourcenschutz in den festgelegten Bereichen gegenüber anderen Nutzungen und Planungen ein erhöhtes Gewicht zu verleihen (siehe Abbildung 36).

Darüber hinaus haben die Projektergebnisse weitere Maßnahmen zum Trink- und Grundwasserschutz aufgezeigt, welche auf der Ebene der Regionalplanung jedoch nur schwer fassbar sind. Dazu zählen Maßnahmen zur Sensibilisierung und Aufklärung in Tourismusregionen oder die Bereitstellung von Grauwasser bzw. Klarwasser aus Kläranlagen zur Feldberegnung oder Versickerung.

Ausblick

Die Aufgabe des Regionalen Planungsverbandes Vorpommern innerhalb des Projektes war neben der regionalplanerischen Ableitung von Maßnahmen vor allem auch die Vernetzung wichtiger Akteure mithilfe der durchgeführten Regionalen Wasserforen. Mit Beendigung des RegWaKlim-Projektes werden der notwendige Vernetzungsprozess sowie die erforderlichen Maßnahmen nicht abgeschlossen sein. Vielmehr bedarf es weiterer Abstimmungen und der Kommunikation zwischen den Wasserverbänden, Kommunen und weiteren Interessenverbänden, um die Herausforderungen in der Trinkwassersicherung vor dem Hintergrund des Klimawandels zu meistern. Eine Fortführung der Wasserforen für den Austausch erscheint daher sinnvoll, auch um das Bewusstsein für ein gemeinsames regionales Vorgehen zu schärfen.

11 Literaturliste

Ad-hoc-AG Hydrogeologie (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland - Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung. 456 S., Geol. Jb., A 163, Hannover

ATV-DVWK (2001): ATV-DVWK-M 504. Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Merkblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 144 S., Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser, Bonn

BMEL (2018): Klimaschutz und Klimawandel - Trockenheit und Dürre – Überblick über Maßnahmen. Bonn, Berlin. https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Nachhaltige-Landnutzung/Klimawandel/_Texte/Extremwetterlagen-Zustaendigkeiten.html (abgerufen 20.12.2018)

Boddenland (2012): Trinkwasserkonzeption 2020. Wasser und Abwasser GmbH Boddenland, unveröffentlicht

Flessa, H., Müller, D., Plassmann, K., Osterburg, B., Techen, A.-K., Nitsch, H., Nieberg, H., Sanders, J., zu Hartlage, O., Beckmann, E., Anspach, V. (2012): Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Landbauforschung Sonderheft 361. Braunschweig

Hennig H.; Kachholz, F (2015): Klima, Grundwassernutzung oder Waldbewirtschaftung? Ursachen tendenziell fallender Grundwasserstände am Beispiel Südwest-Use-lands. In: Neubrandenburger Geologische Beiträge, Band 13, S.10-27, DOI 10.3285/ngb.13

Hennig, H.; Hilgert, T. (2007): Dränabflüsse. Der Schlüssel zur Wasserbilanzierung im nordostdeutschen Tiefland. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Jg. 51, Heft 6, S.248-257

Hennig, H.; Hilgert, T. (2013): Bewertung der Grundwassergeschüttheit anhand der Verweilzeit in der Grundwasserüberdeckung. In: Neubrandenburger Geologische Beiträge, Band 12, S.3-18, DOI 10.3285/ngb.12

Hennig, H.; Hilgert, T. (2018): Speisung bedeckter Grundwasserleiter im norddeutschen Lockergestein. Eine Auswertung für Mecklenburg-Vorpommern. In: Brandenburgische geowissenschaftliche Beiträge, Jg. 25, Heft 1/2, S.27-37, im Druck

Hennig, H.; Hilgert, T.; Schwerdtfeger, B.; Handke, H.; Lemke, G. (2014): Grundwasserressourcen Mecklenburg-Vorpommern - Erläuterung zur Karte. Abgerufen von https://www.lung.mv-regierung.de/dateien/erlaeuterung_zur_karte.pdf (26.02.2018)

Herrmann, F., Hübsch, L., Elbracht, J., Engel, N., Keller, L., Kunkel, R., Müller, U., Röhm, H., Vereecken, H., Wendland, F. (2017): Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen. In: Hydrologie & Wasserbewirtschaftung, Jg. 61, Heft 4, 244-260

Hilgert, T.; Hennig, H. (2017): Grundwasserfließgeschehen Mecklenburg-Vorpommerns. Geohydraulische Modellierung mit Detrended Kriging. In: Grundwasser, Vol. 22, S. 17 – 29, DOI 10.1007/s00767-016-0348-6

Hinterding, A. (2002): Entwicklung hybrider Interpolationsverfahren für den automatisierten Betrieb am Beispiel meteorologischer Größen. Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 152 S.

Hirschfeld, J., Weiß, J., Preidl, M., Korbun, T. (2008): Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Berlin

Hirschfeld, J., Weller, P., Sagebiel, J., Elsasser, P. (2019): Ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung. In: Fick, J., Gömann, H. (Hrsgg.): Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel. Springer-Verlag, Berlin. (im Erscheinen)

Holdaway, M. (1996): Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using kriging. In: Climate Research, Vol. 6, S. 215-225

Hölting, B.; Coldewey, W. G. (2005): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Spektrum Akademischer Verlag, München, 6. Auflage, 326 Seiten

IPB (Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern) (2018): Erntebericht MV 2018, 31. Kalenderwoche. Gülzow

IPCC (2007): Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 996 S., Cambridge

Jacob, D.; Bülow, K.; Kotova, L.; Moseley, C.; Petersen, J.; Rechid, D (2012): Regionale Klimaprojektionen für Europa und Deutschland. Ensemble-Simulationen für die Klimafolgenforschung. CSC Report 6, Climate Service Center, Germany

Jordan, H.; Weder, H.-J (Hrsg., 1995): Hydrogeologie – Grundlagen und Methoden, Regionale Hydrogeologie. Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen. 603 S.; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

LfULG – Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2013): Dränsysteme in Sachsen. Schriftenreihe, Heft 28/2013. Dresden

LUNG - Landesamt für Umwelt Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern: Grundwasserressourcen Mecklenburg-Vorpommern. Abgerufen von https://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/publikation/publikation_download/publikation_download_geologie/pd_geo_gw_hydro.htm (17.10.2018)

LUNG - Landesamt für Umwelt Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern: Grundwasserneubildungsraten. Abgerufen von https://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/publikation/publikation_download/publikation_download_geologie/pd_geo_gw_hydro.htm (19.02.2018)

MLUV – Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2016): Konzept zur Minderung der diffusen Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer und in das Grundwasser in Mecklenburg-Vorpommern – Fortschreibung für den zweiten Bewirtschaftungszeitraum 2016 bis 2021. Schwerin

MLUV – Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2012): Minderung diffuser Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Flächen in die Gewässer durch landwirtschaftliches Wassermanagement. Fachberatung „Wasserrahmenrichtlinie und Landwirtschaft.“ Abgerufen von http://www.wrrl-mv-landwirtschaft.de/sites/default/files/downloads/Fachinfo-WRRL-Controlled-drainage_2012.pdf (20.12.2018)

Müller, J. (2011): Die Anwendung von Lysimetern zur Ermittlung des Wasserhaushaltes in Wäldern des nordostdeutschen Tieflands. In: Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz. Heft 12, urn:nbn:de:0041-afsv-01254

Roeckner, E.; Baeuml, G.; Bonaventura, L.; Brokopf, R.; Esch, M.; Giorgetta, M.; Hagemann, S.; Kirchner, I.; Kornblueh, L.; Manzini, E.; Rhodin, A.; Schlese, U.; Schulzweida, U.; Tompkins, A. (2003): The atmospheric general circulation model ECHAM5 - Part 1. Model Description. MPI-Berichte, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Bd. 349

Schafmeister, M.-T. (1999): Geostatistik für die hydrogeologische Praxis. 172 S., Springer Verlag, Berlin

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. – 149 S., Förderkennzeichen 204 41 138, Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH; Berlin

Statistisches Amt Mecklenburg-Vorpommern (2017): Statistisches Jahrbuch Mecklenburg-Vorpommern 2017. Schwerin

TEEB DE (Naturkapital Deutschland) (2016): Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen – Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Hrsg. von Christina von Haaren und Christian Albert. Leibniz Universität Hannover, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Hannover, Leipzig

Trinkwasserversorgungskonzeption des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Entwurf, 12.12.2017, unveröffentlicht

Umweltbundesamt (2018): Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Kostensätze. Stand 02/2019. Dessau

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2017): Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung. UBA-TEXTE 43/2017. Dessau

Umweltbundesamt (2006): Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2004

UmweltPlan (2014): Trinkwasserversorgungskonzept Insel Usedom –Teil 1. Bedarfsprog-nose / Wasserressourcen / Versorgungsvarianten. UmweltPlan GmbH in Zusammenarbeit mit PROWA EPPLER GmbH im Auftrag des Zweckverbandes Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung der Insel Usedom, unveröffentlicht

UmweltPlan (2015): Trinkwasserversorgungskonzept Insel Usedom – Teil 2. Vorplanung und Variantenvergleich. UmweltPlan GmbH in Zusammenarbeit mit PROWA EPPLER GmbH im Auftrag des Zweckverbandes Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung der Insel Usedom, unveröffentlicht

WASTRA-PLAN (2015): Ergänzung zum Trinkwasserkonzept 2020. WASTRA-PLAN Ingenieurgesellschaft mbH im Auftrag der Wasser und Abwasser GmbH Boddenland, unveröffentlicht

Wichtmann, W., Schröder, C., Joosten, H. (2016): Paludikultur - Bewirtschaftung nasser Moore. Klimaschutz - Biodiversität - regionale Wertschöpfung. Stuttgart

Wahlwerbungsverbot

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Regionalen Planungsverbandes Vorpommern unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen / Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen / Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin / dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme des Regionalen Planungsverbandes Vorpommern zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Der Klimawandel stellt die regionalen Wasserversorger vor enorme Herausforderungen. Der Dürresommer 2018 hat einen Vorgeschmack darauf gegeben, wohin sich die Situation der Wasserverfügbarkeit in der Region Vorpommern in den nächsten Jahren entwickeln könnte.

Das vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit geförderte Forschungsprojekt „Regionale Grundwassernutzung im Klimawandel (Reg-WaKlim)“ hat vor diesem Hintergrund folgende Fragen untersucht:

- Wieviel Wasser wird aktuell genutzt?
- Wieviel Wasser wird in Zukunft benötigt?
- Wieviel Wasser ist aktuell verfügbar?
- Wieviel Wasser wird in Zukunft verfügbar sein?
- Wo kann das Wasser in Zukunft knapp werden?
- Wie kann die Wasserverfügbarkeit auch in Zukunft sichergestellt werden?
- Wie sind die möglichen Maßnahmen zu bewerten?

Die vorliegende Broschüre gibt einen anschaulichen Überblick zu den Ergebnissen und Antworten des Projektes zu diesen Fragen und erläutert die dabei verwendeten Analyseansätze. Abschließend gibt der Regionale Planungsverband Vorpommern einen Ausblick darauf, wie diese Ergebnisse in der Region weiter genutzt werden können.

