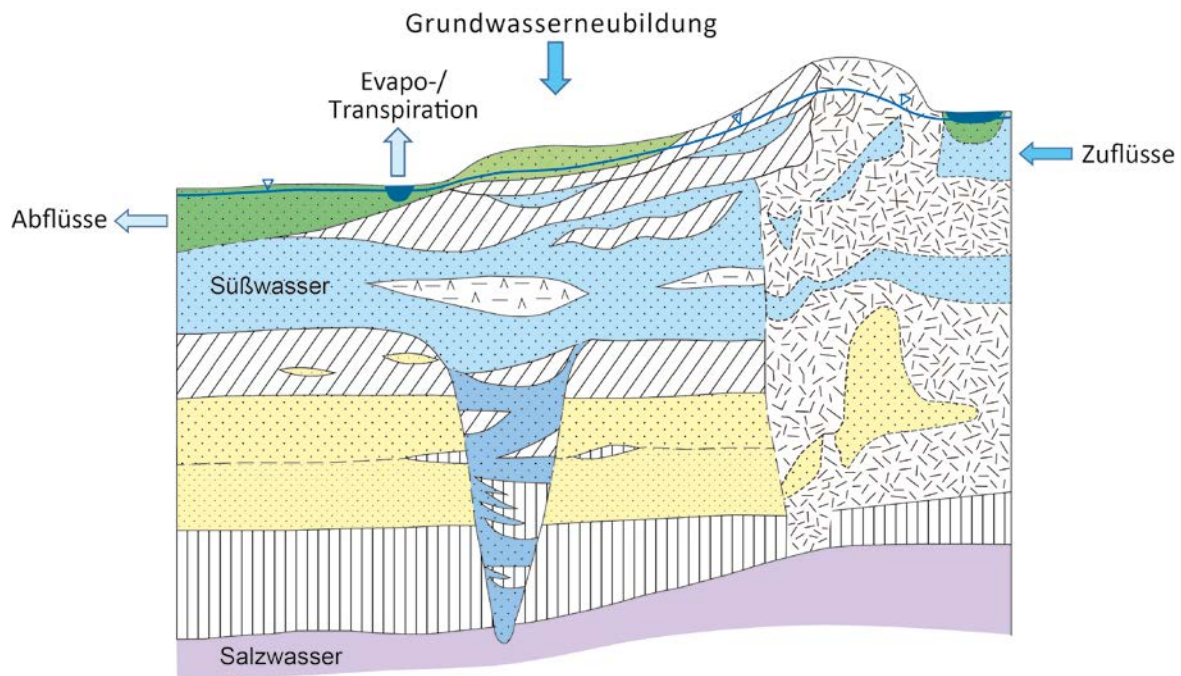




LAND
BRANDENBURG

Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz

Wasserversorgung



Wasserversorgungsplanung Brandenburg

Sachlicher Teilabschnitt mengenmäßige
Grundwasserbewirtschaftung



Landesamt für Umwelt

Herausgeber

Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz (MLUK)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S, 14467 Potsdam
Telefon: +49 (0)331 866-7237
E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de
Internet: mluk.brandenburg.de oder agrар-umwelt.brandenburg.de

Redaktion

Landesamt für Umwelt (LfU)
Abteilung Wasserwirtschaft 1
Referat W12 – Hydrologischer Landesdienst, Hochwassermeldezentrale
Referat W15 – Altlasten, Bodenschutz, Grundwassergüte
Abteilung Technischer Umweltschutz 1
Referat T14 – Luftqualität, Klima, Nachhaltigkeit
Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam
Telefon +49 (0)33201 442-0
E-Mail: infoline@lfu.brandenburg.de
Internet: lfu.brandenburg.de

Titelbild

Darstellung der wirksamen Ein- und Ausgangsgrößen für eine Grundwasserbilanzierung
© LBGR - Manhenke et al. 1995, geändert Hermsdorf/Mehlau 2022

Satz

Satzweiss.com Print Web Software GmbH

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Broschüre dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Vorwort



© Stefan Gloede

Liebe Leserinnen, liebe Leser,

der Tag des Wassers am 22. März 2022 steht unter dem Motto „Unser Grundwasser: der unsichtbare Schatz“. Es ist ein Schatz, der viele Generationen lang weitgehend unbeachtet und wenig geschützt in der Erde schlummerte. Wasser war immer da, wenn man es brauchte und Brandenburg wirkt mit seinen 3.000 Seen und hunderten Flusskilometern für den unvoreingenommenen Betrachter auf den ersten Blick wasserreich. Aber der Gewässerreichtum täuscht. Aufgrund der spezifischen klimatischen Verhältnisse muss Brandenburg schon seit Langem als wasserarm verzeichnet werden.

Mit der heraufziehenden Klimakrise verschärft sich diese Situation. Wir müssen Antworten auf die Frage finden, wie viel Wasser – und gerade auch wie viel Grundwasser – zukünftig noch zur Verfügung steht und wie wir am besten mit dem vorhandenen Angebot umgehen.

Grundwassermessstellen im Land zeigen seit Jahren ein Abfallen der Wasserstände. Noch deutlicher machen die vielerorts sinkenden Pegel in den Seen die angespannte Lage im Wasserhaushalt. Die sehr geringen Niederschläge in den drei aufeinanderfolgenden Trockenjahren von 2018 bis 2020 haben

die Situation noch einmal verschärft. Stärkere Sonneneinstrahlung, höhere Verdunstung, verlängerte Vegetationsperioden und ein immer größerer Anteil an Niederschlag, der als Starkregen fällt und schnell abfließt, reduzieren die Grundwasserneubildung.

Das abnehmende Wasserdargebot wird in Brandenburg Auswirkungen auf die Ansiedlung neuer Industrien genauso wie auf touristische Angebote, den Ausbau von wasserintensiven landwirtschaftlichen Kulturen und dem Erhalt naturschutzfachlich wertvoller Feuchtgebiete haben.

Grundwasser speist Oberflächengewässer und sichert artenreiche Moore und andere Feuchtgebiete. Es stellt die Basis unserer Wasserversorgung dar. Es ist zugleich auch ein Archiv früherer Fehler und Versäumnisse beim Wasser- und Bodenschutz. Durch diffuse Einträge aus Atmosphäre und Landnutzung, durch Altlasten, regional auch durch Übernutzung, ist das Grundwasser gefährdet.

Im Rahmen der Brandenburger Anpassungsstrategien zur Minderung der Klimawandelfolgen dokumentiert diese Broschüre unser Konzept zur mengenmäßigen Grundwasser-

bewirtschaftung. Wir können nicht vor kritischen Entwicklungen die Augen verschließen und darauf hoffen, dass sich die Probleme von allein lösen. Auch wenn einmal wieder mehr Niederschläge zu verzeichnen sein sollten, zeigen dennoch alle Prognosen, dass auch einige niederschlagsreichere Jahre den Negativtrend nicht werden stoppen können. Der langfristige Trend ist unverkennbar.

Wir brauchen ein aktives Herangehen an die Lösung der schon bestehenden und sich weiter verschärfenden Probleme auf der Grundlage von verlässlichen Daten und den daraus abzuleitenden Strategien und Plänen. „Das Wasser ist ein freundliches Element für den, der damit bekannt ist und es zu behandeln weiß“, wusste schon Goethe, der bekanntlich nicht nur Dichter, sondern auch Naturwissenschaftler war. Mit dem Landesamt für Umwelt und weiteren wasserwirtschaftlichen Fachverwaltungen verfügt Brandenburg über

die notwendige Expertise für eine Wasserversorgungsplanung, um auch kommenden Generationen eine ausreichende Versorgung zu sichern.

Wir benötigen möglichst genaue und belastbare Prognosen für die zukünftigen Veränderungen des Wasserhaushalts und der Wassernutzungen. Aber auch verfeinerte Methoden zur Bewertung des mengenmäßigen Grundwasserzustands und wirksame Steuerungsinstrumente für die Zulassung von Wassernutzungen sind notwendig. Hierzu finden Sie auf den folgenden Seiten grundlegende Informationen. Auch wenn wir bei einigen Themen schon einen sehr guten Kenntnisstand haben, stehen wir bei anderen quasi noch in den Startlöchern. Die bestehenden Kenntnislücken schnell zu schließen, das ist eine unserer besonderen Herausforderungen und Aufgaben in den nächsten Jahren. Und wir werden es schaffen.



Axel Vogel

Minister für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg

Potsdam/Groß Glienicke, März 2022

Kurzfassung

In dem vorliegenden Bericht wird als Grundlage für die Wasserversorgungsplanung der sachliche Teilabschnitt zur mengenmäßigen Grundwasserbewirtschaftung erarbeitet. Ausgehend von den fachlichen Grundlagen zur Entwicklung der Grundwasserstände und der Auswertung zur Grundwasserbilanzierung wird hier der derzeitige Kenntnisstand beschrieben. Erstmals kann eine landesweite Betrachtung des natürlichen und verfügbaren Grundwasserdargebots für das Land Brandenburg präsentiert werden. In Bezug auf die einzelnen Grundwasser-Bilanzgebiete sind Steckbriefe erarbeitet worden, deren Ergebnisse in einem noch fertigzustellenden WEB-

Modul bereitgestellt werden. Auf die Auswirkungen der Klimaveränderung wird in diesem Bericht eingegangen, indem insbesondere die klimatische Situation und die zu erwartenden Änderungen auf das verfügbare Grundwasserdargebot beschrieben werden. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung eines Bewertungsinstrumentes zur Auswertung der Grundwasserverhältnisse. Hiermit erfolgt eine Klassifikation der Grundwasserverhältnisse von extremen Niedriggrundwasser über Normalwerte bis hin zu extremen Hochgrundwasser. Abschließend werden Maßnahmen auf dem Weg zu einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung aufgezeigt.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
Abkürzungsverzeichnis	11
1 Einführung	13
2 Entwicklung der Grundwasserstände	15
2.1 Hydrogeologische Verhältnisse und das Landesmessnetz Grundwasserstand	15
2.2 Trendbetrachtung zum Grundwasser	18
2.3 Darstellung zu den niedrigsten Grundwasserständen	20
3 Grundwasserdargebot und Bilanzierung	24
3.1 Ausgangssituation	24
3.2 Datengrundlagen	24
3.3 Bilanzierungsmethodik	25
3.4 Bilanzgebiete	27
3.4.1 Ausgrenzung der Bilanzgebiete	27
3.4.2 Aufstellung der Grundwasserbilanz	32
3.4.3 Grundwasserbilanz für das Klimaszenario 2031 bis 2060	35
3.5 Steckbriefe	37
3.6 WEB-Modul für die Grundwasserbilanzierung	39
3.6.1 Integration in die Auskunftsplattform Wasser (APW)	39
3.6.2 Benutzeroberfläche des Grundwasserbilanzierungsmoduls	39
4 Entwicklung des Wasserbedarfes	42
4.1 Bevölkerungsentwicklung in Brandenburg	42
4.2 Wasserentnahmen seit 1991	42
4.3 Zukünftiger Wasserbedarf	44
5 Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasserdargebot	47
5.1 Entwicklung der klimatischen Situation in Brandenburg	47
5.1.1 Messdaten	47
5.1.2 Das Brandenburgische Klimaprojektionsensemble	47
5.1.3 Rezente und zukünftige Klimaveränderungen	47
5.2 Auswirkung auf das Grundwasserdargebot	50
5.2.1 Potentielle Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasserdargebot	50
5.2.2 Studie zu Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt	52
5.3 Entwicklung eines Klimawandelabschlages auf das verfügbare Grundwasserdargebot	52

6	Entwicklung von Bewertungsinstrumenten für extreme Grundwassersituationen	54
6.1	Bewertung von Grundwasserständen	54
6.1.1	Langfristige Einordnung aktueller Grundwasserstände (Grundwasserklassifikation)	54
6.1.2	Auswertung der aktuellen Grundwassertendenzen für die Berichterstattung	56
6.2	Anpassung der Grundwasserstandsmessnetze	57
6.3	Zukünftige Bewertungsinstrumente zur Steuerung von Grundwasserentnahmen . . .	58
7	Geeignete Maßnahmen zur Grundwasserbewirtschaftung	60
8	Zusammenfassung und Ausblick	62
9	Quellenverzeichnis	64

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Schematische Darstellung der Grundwasserleiterkomplexe in Brandenburg	15
Abb. 2	Darstellung der drei Grundwasserleiterkomplexe in Brandenburg am Beispiel Hydrogeologischer Ost-West Schnitt 5870, Blatt 3148 Eberswalde, (LBGR 1998) . .	16
Abb. 3	Hydrologisches Landesmessnetz Grundwasserstand mit hervorgehobenen Wochenberichtsmessstellen (Stand: 2020)	17
Abb. 4	Grundwasserstandstrend in cm/a für die Zeitreihen 1976 bis 2020, Interpolation . .	18
Abb. 5	Räumliches und zeitliches Auftreten von Niedrigstgrundwasserständen an circa 1.000 Grundwassermessstellen des Basismessnetzes des LfU in den letzten vier Jahresdekaden	20
Abb. 6	Verteilung des Auftretens von Niedrigstgrundwasserständen in Beobachtungsreihen von Grundwassermessstellen im Land Brandenburg von 1981 bis 2021 . . .	21
Abb. 7	Niedrigwasserkennzahlen der Grundwassermessstelle 42517005 Gulben	22
Abb. 8	Niedrigwasserkennzahlen der Grundwassermessstelle 36532681 Frankfurt (Oder)	22
Abb. 9	Monatssummen des Gebietsniederschlages Brandenburg 2011 bis 2021 und Abweichung der Monatsmittelwerte der Grundwasserstände der repräsentativen Grundwassermessstelle 36532681 auf der südöstlichen Barnimhochfläche	23
Abb. 10	Darstellung der wirksamen Ein- und Ausgangsgrößen für eine Grundwasserbilanzierung	25
Abb. 11	Ablauf zur Berechnung der Grundwasserbilanzierung in einem Bilanzgebiet	26
Abb. 12	Verteilung der erreichten Bilanz-Genauigkeit (Gütekriterium) in den Bilanzgebieten	28
Abb. 13	Karte zur flächenhaften Verteilung des Gütekriteriums in dem jeweiligen Bilanzgebiet	29
Abb. 14	Karte zum natürlichen Grundwasserdargebot in dem jeweiligen Bilanzgebiet	32
Abb. 15	Karte zum verfügbaren Grundwasserdargebot in dem jeweiligen Bilanzgebiet	33
Abb. 16	Karte zum Auslastungsgrad in den Bilanzgebieten	34
Abb. 17	Anteil der Bilanzgebiete mit Auslastungsgrad für den Betrachtungszeitraum	35


Abb. 18	Anteil der Bilanzgebiete je Auslastungsgrad für das Klimaszenario 2031 bis 2060.	36
Abb. 19	Beispiel eines Steckbriefes für ein Bilanzgebiet.	38
Abb. 20	Konzeptionelle Benutzeroberfläche des Grundwasserbilanzierungsmoduls	41
Abb. 21	Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in Deutschland im Zeitraum 2017 bis 2040.	43
Abb. 22	Wasserentnahmen in Berlin und Brandenburg	44
Abb. 23	Wasserverbrauch pro Einwohnerin oder Einwohner und Tag in Berlin und Brandenburg	45
Abb. 24	Grundwasserklassifikation nach IKSE	54
Abb. 25	Ganglinie der Monatsmittelwerte der Grundwasserstände im Vergleich zu den Klassenwerten der langjährigen Referenzwerte	55
Abb. 26	Räumliche Darstellung der erreichten Grundwasserklassifikation im deutschen Einzugsgebiet der Elbe, Legende nach Abbildung 24	55
Abb. 27	Häufigkeitsverteilung der Anzahl von Grundwassermessstellen in den gewählten Klassen 1 bis 7 nach Abbildung 24	56

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Bilanzgebiete mit Einhaltung des Gütekriteriums.	30
Tab. 2	Veränderung der klimatischen Kennwerte in der Vergangenheit und im Emissionsszenario RCP8.5 „ohne Klimaschutz“ für den Zeitraum 2031 bis 2060. . .	49
Tab. 3	Klassengrenzen zu Grundwassertendenzen	57
Tab. 4	Maßnahmentabelle für zukünftige Arbeitsschritte	60

Abkürzungsverzeichnis

AfS BB	Amt für Statistik Brandenburg
APW	Auskunftsplattform Wasser
BAGLUVA	Wasserhaushaltsmodell - Mittlere Abflussspende für die Zeitreihe 1986 bis 2015
BbgWG	Brandenburger Wassergesetz
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BG	Bilanzgebiet
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
destatis	Statistisches Bundesamt
DWD	Deutscher Wetterdienst
E-OBS-Daten	ENSEMBLES daily gridded observational dataset for precipitation, temperature and sea level pressure in Europe
ET	Evapotranspiration
EU	Europäische Union
eWaBu	Elektronisches Wasserbuch
GK	Gütekriterium
GOK	Geländeoberkante
GWD	Grundwasserdargebot
GWLK	Grundwasserleiterkomplex
GWN	Grundwasserneubildung
GWVP	Grundwasservorratsprognose
IKSE	Internationales Komitee zum Schutz der Elbe
K	Kelvin
KI	Künstliche Intelligenz
KS	Klimafaktor
KWRA	Klimawirkungs- und Risikoanalyse
LAWA	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LBV	Landesamt für Bauen und Verkehr
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
m ³	Kubikmeter
mHS	Meter Höhensystem
MLUK	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz
MNK	Messnetzkonzeption
MQ	Gemessener langjähriger mittlerer Abfluss
NW	Niedrigste Grundwasserstände
QD	Abflusskomponente
Q _{min,ök}	Ökohydrologisch begründeter Mindestabfluss
QOW	Theoretischer Oberflächenabfluss
QR	Gesamtabfluss
Q _{verf}	Verfügbares Wasserdargebot
QZO	Oberirdischer Zufluss in das Bilanzgebiet
QZU	Unterirdischer Zufluss ermittelt aus flächenwirksamer Grundwasserneubildung
REGNIE	Regionalisierte Niederschläge
ROK	Rohroberkante
RR	Niederschlag
VEGEN	Vegetationsmodell im öko-hydrologischen Modellierungssystem ArcEGMO



WRRL Europäische Wasserrahmenrichtlinie
WVP Wasserversorgungsplan
ZALF Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung

Die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung sowie von Industrie und Gewerbe (soweit diese ihren Wasserbedarf aus dem öffentlichen Trinkwassernetz decken) ist grundsätzlich eine kommunale Aufgabe der Daseinsvorsorge. Diese Aufgabe umfasst neben einem ordnungsgemäßen Betrieb der technischen Anlagen und der Einhaltung aller maßgeblichen Rechtsvorschriften auch die mittelfristige Planung der Versorgungskapazitäten und die Bereitstellung der hierzu notwendigen Investitionen. Die kommunalen Zuständigkeiten bei der Wasserversorgung stoßen jedoch dort an Grenzen, wo eine übergreifende Bewirtschaftung der Wasserressourcen und deren Schutz erforderlich ist. Um der Exekutive dafür ein Planungsinstrument zur Verfügung zu stellen, hat der Landesgesetzgeber den Wasserversorgungsplan vorgesehen.

Gemäß § 63 des Brandenburgischen Wassergesetzes stellt das Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU) in seiner Funktion als Wasserwirtschaftsamt des Landes Brandenburg einen flächendeckenden Plan auf, der die Möglichkeiten zur Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung ausweist und der insbesondere dem Zweck dient, einen Ausgleich zwischen Wasserüberschuss- und Wassermangelgebieten herbeizuführen. In dem Plan sind darüber hinaus die Wassergewinnungsgebiete mit ihrem Wasserdargebot, die Versorgungsräume und deren Zuordnung zueinander sowie die Schutzzonen der Wasserschutzgebiete und einzelne erforderliche Maßnahmen auszuweisen.

Der erste Wasserversorgungsplan für Brandenburg wurde im Jahr 1996 veröffentlicht (MUNR 1996). Er basiert auf dem Datenstand vom 31. Dezember 1993. Sofern damals Daten aus dem Jahr 1994 verfügbar waren, wurden diese verwendet. Der Wasserversorgungsplan 1996 spiegelt somit die Situation Anfang der 1990er-Jahre wider. Nach Vollendung der Deutschen Einheit verzeichneten die

Neuen Bundesländer einen Nachholbedarf bei der Infrastruktur der Wasserversorgung und bei der Anpassung an die europäischen Standards der Trinkwasserbeschaffenheit. Dementsprechend wurden zahlreiche Einzelmaßnahmen zur Infrastrukturanpassung benannt, deren Umsetzung aus damaliger Sicht als prioritär eingestuft wurde. Ein Großteil dieser Maßnahmen konnte in den darauffolgenden Jahren – auch mit der Unterstützung durch Fördermittel – umgesetzt werden.

Im Jahr 2009 herrschte eine andere Situation, die sich auch im zweiten Wasserversorgungsplan 2009 niederschlägt, der den Datenstand vom 31. Dezember 2008 wiedergibt. Die nach der Deutschen Einheit eingeleiteten Entwicklungen waren weitgehend abgeschlossen. Anders als im Wasserversorgungsplan 1996 erwartet, kam es seit Anfang der 1990er-Jahre zu einem erheblichen Rückgang des Wasserverbrauchs durch

- den wirtschaftsstrukturellen, strukturpolitischen und demographischen Wandel,
- veränderte Nachfragestrukturen, verursacht durch das Sparverhalten vieler Bürgerinnen und Bürger,
- den vermehrten Einsatz wassersparender Haushaltsgeräte und Sanitärtechnik,
- eine zunehmende Eigenversorgung der Industrie sowie neue wasser sparende technologische Abläufe.

Im Jahr 2009 lautete die Einschätzung, dass zukünftig eine rückläufige Bevölkerungsentwicklung in weiten Teilen des Landes zu einem weiter abnehmenden Wasserbedarf führen werde.

Seitdem hat sich die Situation grundlegend geändert, da beim Wasserbedarf eine steigende Tendenz zu verzeichnen ist. Zusätzlich sind die Klimaveränderungen mit ihren meteorologischen Auswirkungen noch stärker ins Bewusstsein gerückt. Die drei Trockenjahre

von 2018 bis 2020 haben gezeigt, wie vulnabel der Wasserhaushalt in Brandenburg auf klimatische Änderungen reagiert.

Vor diesem Hintergrund entwickelt die Landesregierung Konzepte für den Klimaschutz und die Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels. Zum Klimaschutz wird das federführende Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) im ersten Halbjahr 2022 den Entwurf eines Klimaplanes vorlegen. Beim zweiten Schwerpunkt, der Anpassung an den Klimawandel, sieht der Koalitionsvertrag unter anderem vor, ein Gesamtkonzept für das Politikfeld Wasser zu entwickeln. Die Festlegung aus dem Koalitionsvertrag wurde am 26. August 2020 durch einen Landtagsbeschluss zum Antrag „Wasserhaushalt im Klimawandel stabilisieren“ präzisiert. Darin heißt es unter anderem:

- a) *Zur Verbesserung der Grundwasserneubildung als Grundlage für eine langfristige und nachhaltige Sicherung der Trinkwasserressourcen, insbesondere auf Hochflächen, sind effektive Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen. (...)*
- b) *Es ist ein Konzept zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung zu erstellen und in das Gesamtkonzept zu integrieren, um trotz der rückläufigen Grundwasserneubildung und der gleichzeitig steigenden Anforderungen zur Grundwassernutzung auch langfristig die Ressourcen zu sichern und die Versorgung der heutigen und folgenden Generationen mit Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität zu gewährleisten. (...)*

Ein erster Baustein für ein Konzept zur nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung soll das vorliegende Dokument sein. Es trägt den Titel „Wasserversorgungsplanung – Sachlicher Teilabschnitt mengenmäßige Grundwas-

serbewirtschaftung“, weil das Grundwasser die Hauptquelle der Trinkwasserversorgung im Land Brandenburg ist. Dementsprechend sind alle Aktivitäten zum Grundwasserschutz und zur mengenmäßigen Grundwasserbewirtschaftung zugleich auch ein aktiver Beitrag zum Trinkwasserschutz und zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung. Gleichzeitig wird mit dem Begriff „Wasserversorgungsplanung“ klargestellt, dass dieses Dokument nicht den Wasserversorgungsplan nach § 63 umfasst, sondern ein Grundlagen-dokument auf dem Weg zu einem umfassenden Wasserversorgungsplan darstellt.

Das Brandenburger Wassergesetz eröffnet in § 63 die Möglichkeit, den Wasserversorgungsplan in räumlichen und sachlichen Teilabschnitten aufzustellen. Der erste Schritt der Planungen auf dem Weg zu einem dritten Wasserversorgungsplan trägt daher den Titel „Sachlicher Teilabschnitt mengenmäßige Grundwasserbewirtschaftung“.

Das vorliegende Dokument gliedert sich in folgende Abschnitte: In den Kapiteln 2 und 3 wird schwerpunktmäßig die mengenmäßige Ausgangssituation beim Grundwasser beschrieben. Der Fokus wird dabei auf die Grundwasserstände und die Grundwasserbilanzierung gelegt. Die Kapitel 4 und 5 beleuchten die Faktoren, die sich absehbar ändern werden: die Entwicklung des Wasserbedarfs und die Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasserdargebot. Um diese Änderungen einordnen zu können, behandelt das Kapitel 6 die Entwicklung von Bewertungsinstrumenten für die Beschreibung der Grundwassersituation.

In allen Kapiteln werden Maßnahmen genannt, die für die zukünftige mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers eine Rolle spielen werden. Sie werden in Kapitel 7 zusammengefasst aufgeführt.

Entwicklung der Grundwasserstände 2

Die Grundwasserstände sind ein Indikator für den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers. Im Folgenden werden die geologischen Verhältnisse und die Entwicklung der Grundwasserstände bis Anfang der 2020er-Jahre dargestellt.

2.1 Hydrogeologische Verhältnisse und das Landesmessnetz Grundwasserstand

Die oberflächennah anstehenden Lockergesteinsschichten sind im Land Brandenburg durch eiszeitliche Bildungen geprägt. In ihnen sind die wasserwirtschaftlich nutzbaren Grundwasservorräte enthalten. Nach Manhenke et al. (1995) können in dem circa 100–200 m mächtigen Bereich oberhalb des Rupeltons (ein toniges Sediment, das tiefere salzwasserhaltige Sedimente von den darüber liegenden süßwasserführenden Sedimenten trennt) drei Grundwasserleiterkomplexe (GWLK) mit zwischengelagerten Grundwasserstauern (Geschiebemergel, tonige Schluffe) ausgehalten werden (Abbildung 1):

GWLK 1: oberer meist unbedeckter weichsel- und spätsaalekaltzeitlicher Grundwasserleiter in den Urstromtälern und Niederungen sowie weichsel- oder saalekaltzeitliche Sande auf den Hochflächen (vorwiegend Sander)

GWLK 2: weitgehend bedeckter saalekaltzeitlicher Grundwasserleiter

GWLK 3: vorwiegend tiefliegender elsterkaltzeitlicher Grundwasserleiter (zum Teil nur in quartären Rinnen ausgebildet) und tertiäre Sande oberhalb des miozänen Rupeltons

Gebietsbezogen kam es aufgrund der geologischen Verhältnisse im Zusammenhang mit den Gletschervorstößen der Kaltzeiten und deren Abtauphase zu Ablagerung, Erosion und Stauchungen der einzelnen geologischen Horizonte, sodass man nicht immer horizontal weit aushaltende Schichten erwarten kann. Die nachfolgende Abbildung 2

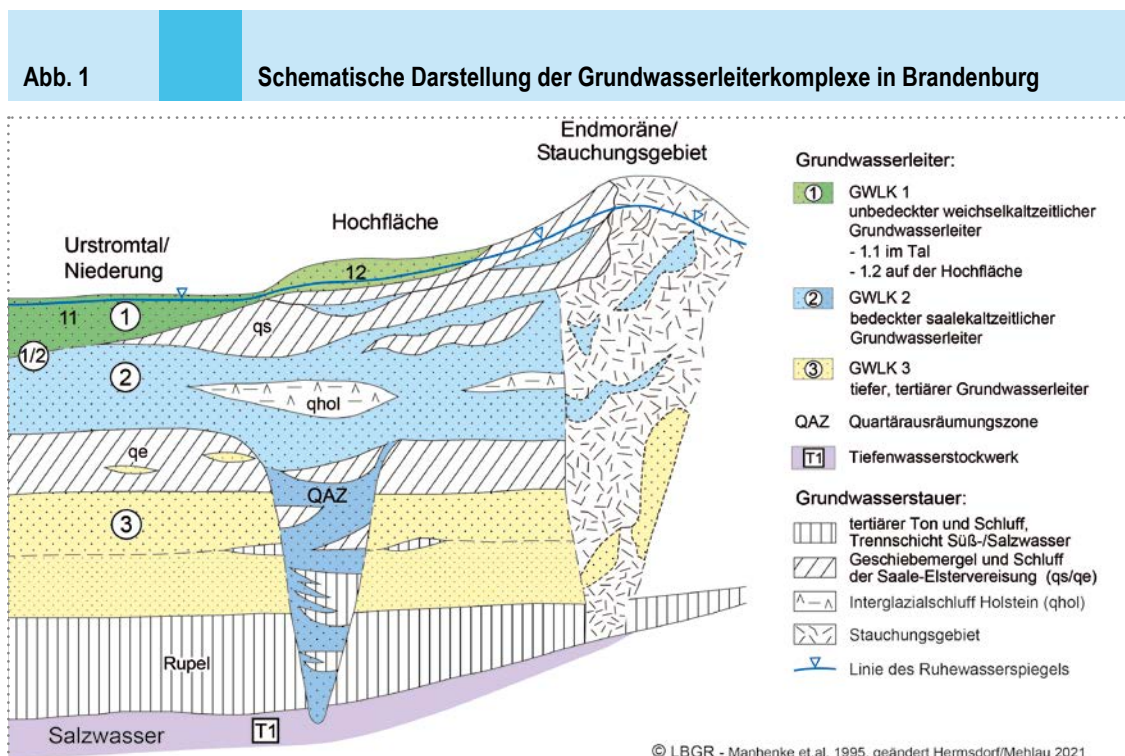
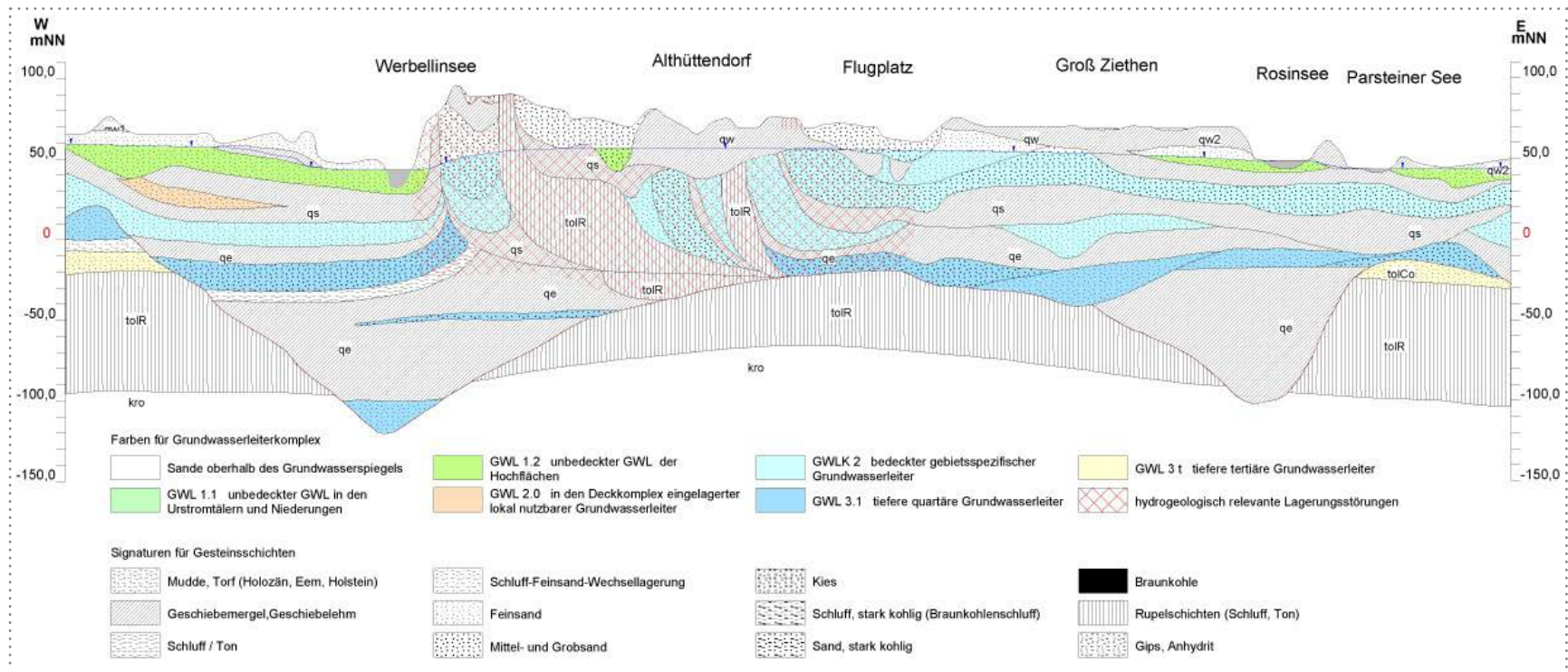


Abb. 2

Darstellung der drei Grundwasserleiterkomplexe in Brandenburg am Beispiel Hydrogeologischer Ost-West Schnitt 5870, Blatt 3148 Eberswalde, (LBGR 1998)

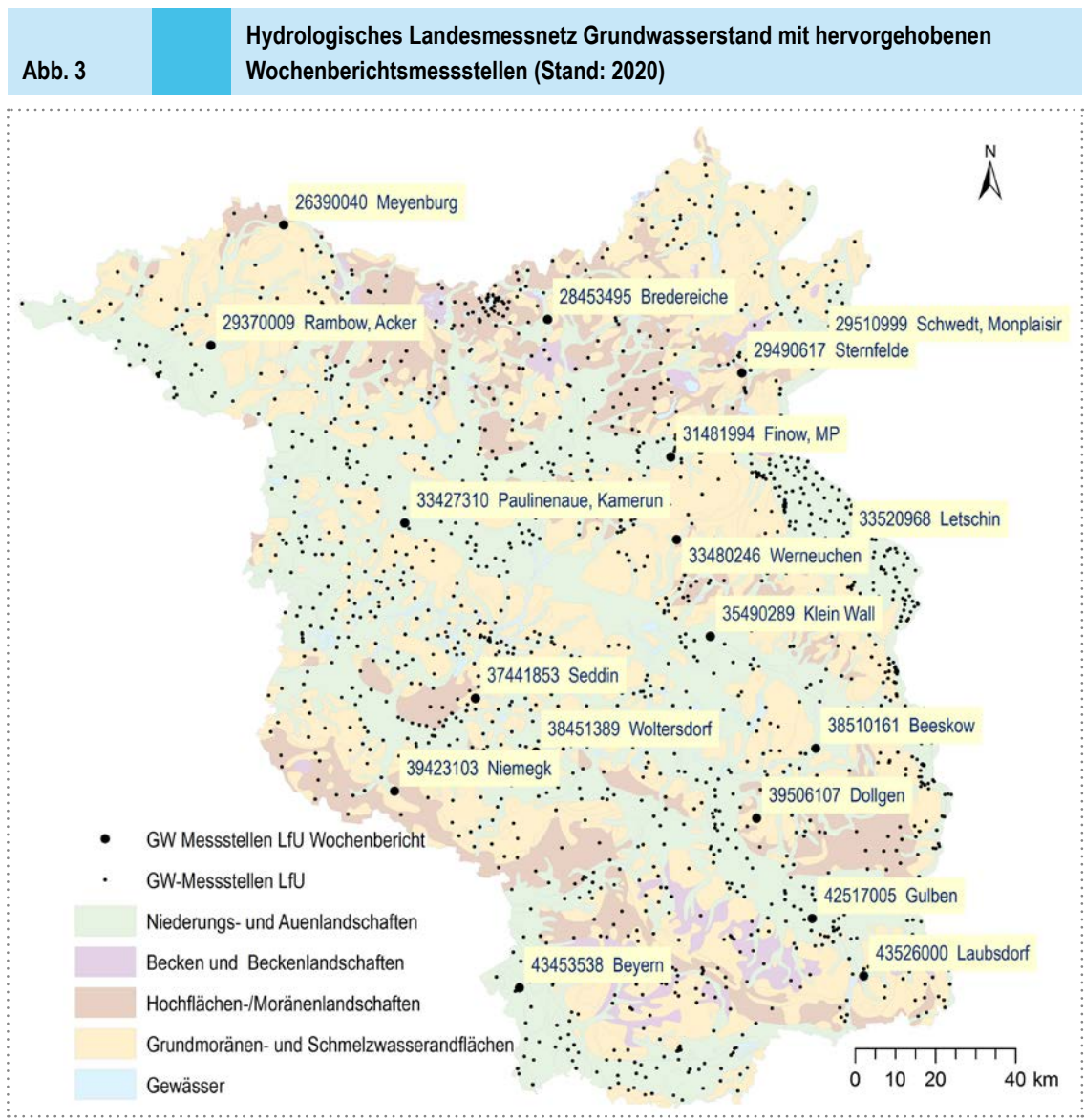


veranschaulicht für den hydrogeologischen Ost-West Schnitt 5870, Blatt 3148 Eberswalde (LBGR 1998) die Grundwasserleiterkomplexe nach der oben angeführten Nomenklatur für das hydrogeologisch komplizierte Gebiet im Bereich einer Endmoräne.

Vorhandene nutzbare Grundwasserleiter bestehen in der Hauptsache aus Sanden verschiedener Körnigkeit. Für die Wasserversorgung Brandenburgs hat der GWLK 2 eine große wasserwirtschaftliche Bedeutung, da viele Brunnen von Wasserwerken aus die-

sem meist bedeckten Grundwasserleiter ihr Wasser fördern.

Das LfU betreibt als Wasserwirtschaftsamt gemäß § 126 Brandenburgischem Wassergesetz aktuell ein circa 2.100 Grundwassermessstellen umfassendes Hydrologisches Landesmessnetz als Basismessnetz (Abbildung 3) welches auch nach WRRL zur Erfassung des mengenmäßigen Zustandes in den vorgenannten drei GWLK dient. Die gemessenen Daten werden in einer Datenbank geführt und statistisch aufbereitet.



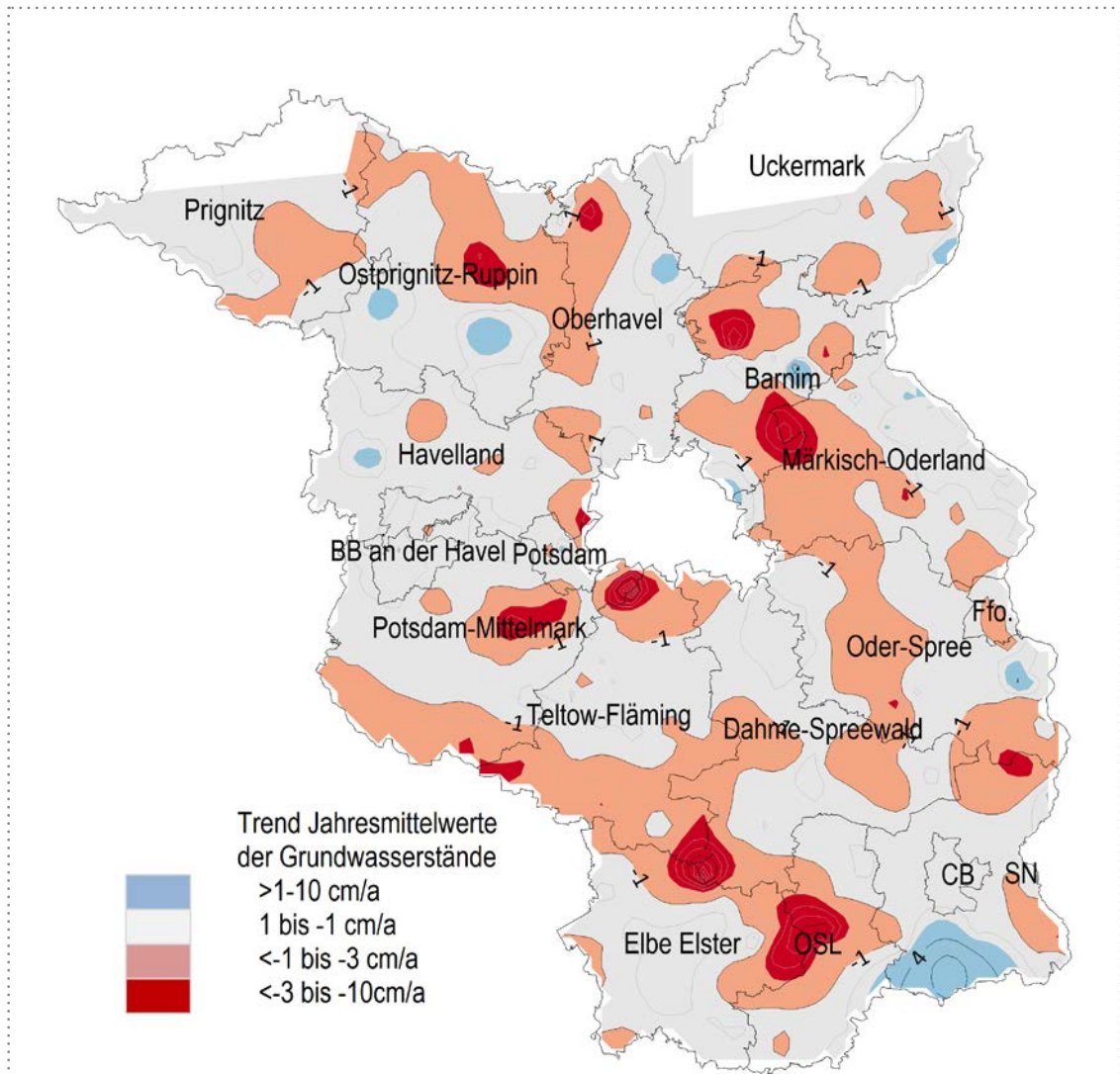
2.2 Trendbetrachtung zum Grundwasser

Zur Beurteilung der langfristigen Entwicklung der Grundwasserstände im Land Brandenburg wurden aktuell die Daten einer Trendbetrachtung (Zeitraum 1976 bis 2020) zugeführt. Für die Trendberechnung können nur langjährige Zeitreihen (mindestens 30 Jahre) verwendet werden. Für den gewählten Zeitbereich zur Trendauswertung von 1976 bis 2020 lagen landesweit für circa 1.250 GWM mindestens 30-jährige Reihen vor, die in die

Auswertung einbezogen werden konnten. Für diese Messstellen wurden punktbegonnen die Trends der mittleren Jahresgrundwasserstände anhand der linearen Regression berechnet und auf Signifikanz geprüft. Im Ergebnis dieser Berechnung lagen räumlich verteilt Angaben mit positiven (steigenden) und negativen (fallenden) Werten der betrachteten Grundwasserstandsmessstellen in den drei GWLK vor. Die Abbildung 4 zeigt die räumlich interpolierte Trendentwicklung der Grundwasserstände an den vom LfU betriebenen Grundwassermessstellen in den

Abb. 4

Grundwasserstandstrend in cm/a für die Zeitreihen 1976 bis 2020, Interpolation



GWLK 1 und 2. Berücksichtigt wurde bei Mehrfachausbau an einzelnen Messstellenstandorten nur der oberste Filterbereich. Für den GWLK 3 war eine auf die Landesfläche bezogene räumliche Auswertung nicht möglich, da der Umfang und die räumliche Verteilung geeigneter Trendmessstellen nicht ausreichend sind. Weitere Aussagen sind in nördlichen Teilgebieten der Landkreise Uckermark und der westlichen Prignitz auch in den GWLK 1 und 2 wegen fehlender langer Zeitreihen nur beschränkt möglich (weiße Flächen). Die landesweite Darstellung in Abbildung 4 vermittelt daher nur einen groben Überblick interpolierter Grundwasserstandstendenzen.

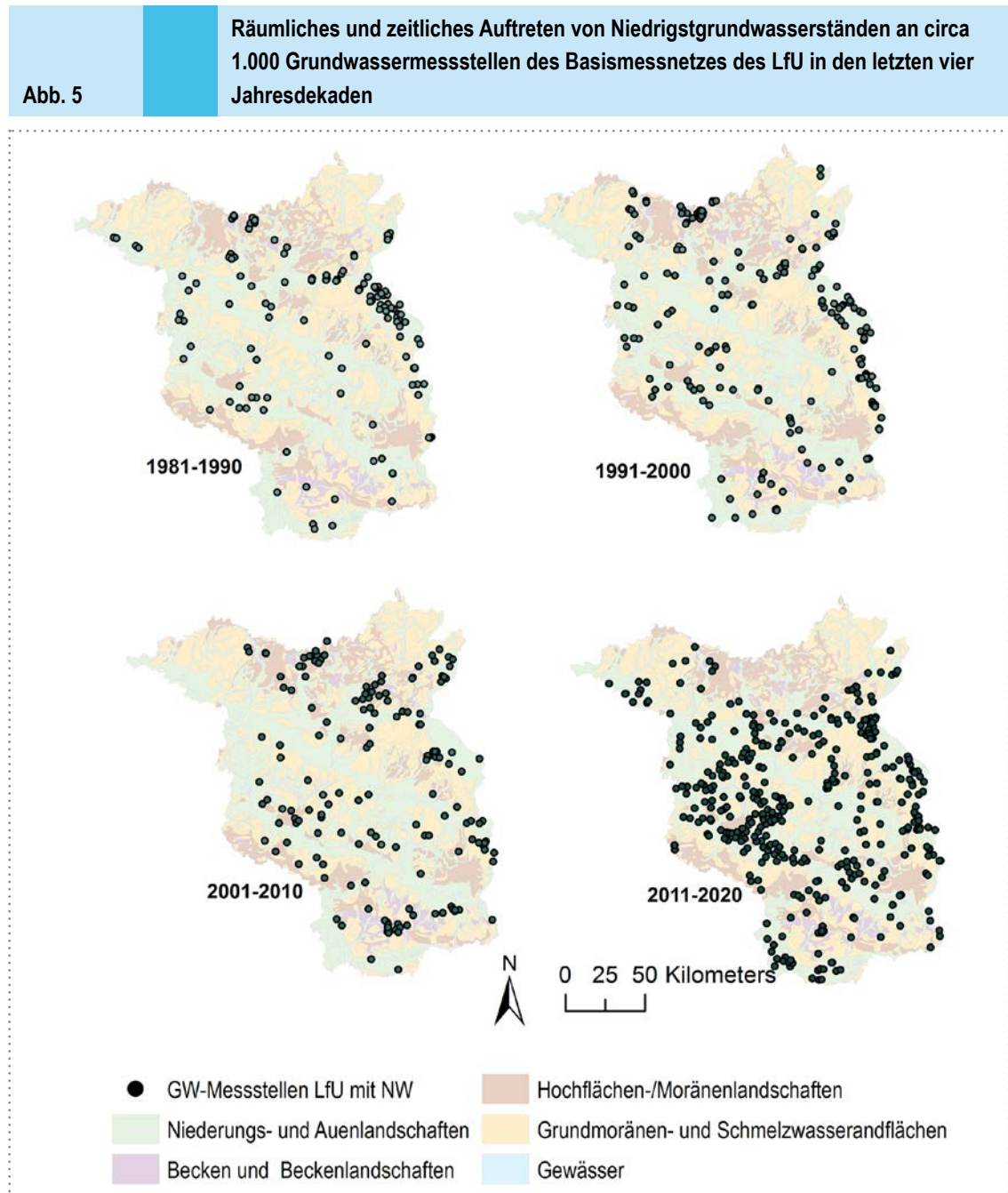
Generell ist in Abbildung 4 erkennbar, dass die Flächen mit geringem beziehungsweise ohne Trend für den Zeitraum 1976 bis 2020

noch überwiegen. Aufgrund von Klimaveränderungen fallende Grundwasserstände finden sich überwiegend in den Hochflächen (zum Beispiel Prignitz, Teltow, Barnim, Fläming). Durch die Einstellung der Rieselfelder südwestlich des Stadtgebietes Berlin treten lokal fallende Trends auf, die zumindest teilweise auch anthropogenen Ursprungs sind. In den Urstromtälern und Niederungen überwiegen im ausgewerteten Zeitraum gleichbleibende Grundwasserstände, sodass hier überwiegend kein Trend ausgewiesen werden konnte. Die wenigen lokalen Bereiche mit steigenden Trends zeigen Ergebnisse anthropogener Einflussnahmen wie den Wiederanstieg des Grundwasserspiegels in Braunkohlegebieten oder die verminderte Grundwasserförderung an Wasserwerkstandorten.

2.3 Darstellung zu den niedrigsten Grundwasserständen

Zusätzlich wurde eine räumliche und zeitliche Darstellung des Auftretens der niedrigsten

Grundwasserstände (NW) der langjährigen Beobachtungsreihen für den Zeitraum 1981 bis 2020 an Grundwassermessstellen im Land Brandenburg in den letzten vier Jahrzehnten vorgenommen (Abbildung 5).

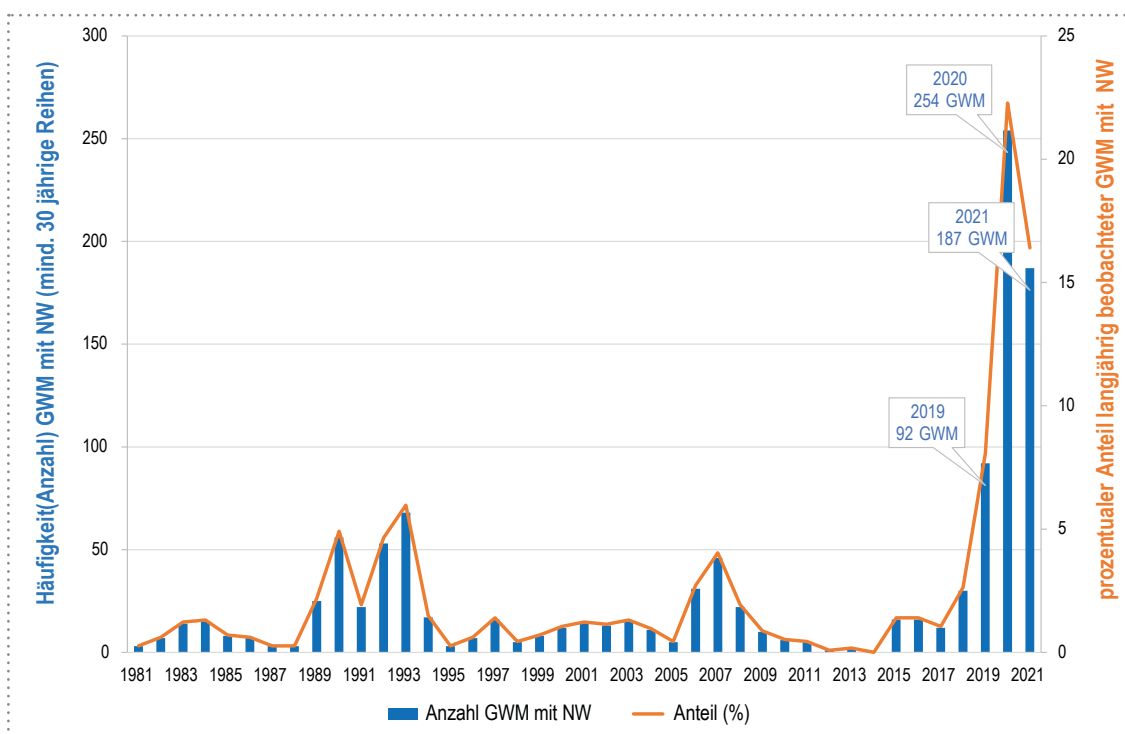


Die Grafiken verdeutlichen, dass an den Messstellenstandorten bis 2020 ein zunehmendes Auftreten von Niedrigstgrundwasserständen, insbesondere in den kleinteiligen Hochflächengebieten, zu beobachten ist. Bezogen auf die Einzeljahre von 1981 bis 2021

vermittelt das Histogramm in Abbildung 6 Angaben zur Verteilung der in den Einzeljahren aufgetretenen extremen Niedrigstgrundwasserstände für circa 1.000 in Brandenburg betriebene Grundwasserstandsmessstellen mit langjähriger Beobachtung.

Abb. 6

Verteilung des Auftretens von Niedrigstgrundwasserständen in Beobachtungsreihen von Grundwassermessstellen im Land Brandenburg von 1981 bis 2021

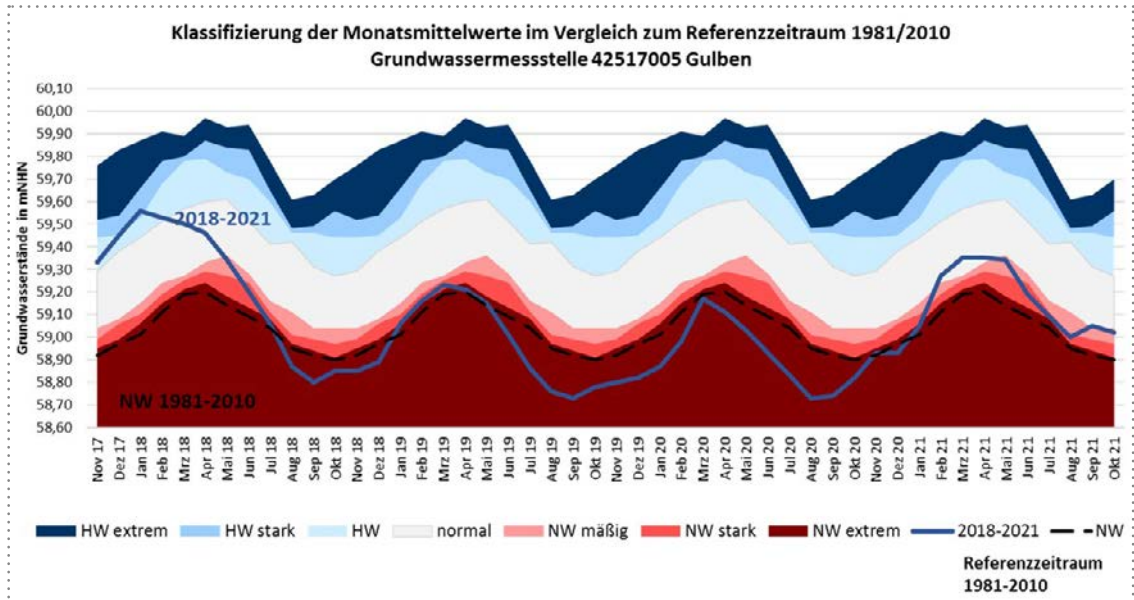


In den Abbildungen 7 und 8 wird anhand von zwei Einzelstandorten im Niederungsbeziehungsweise im Hochflächenbereich der typische Ganglinienverlauf in den vorangegangenen Extremjahren 2018 bis 2020

mit Ausblick zum Jahr 2021 im Vergleich zu den langjährigen Vergleichswerten der Referenzperiode 1981 bis 2010 verdeutlicht. Die Methodik wird ausführlich in Kapitel 6 beschrieben.

Abb. 7

Niedrigwasserkennzahlen der Grundwassermessstelle 42517005 Gulben

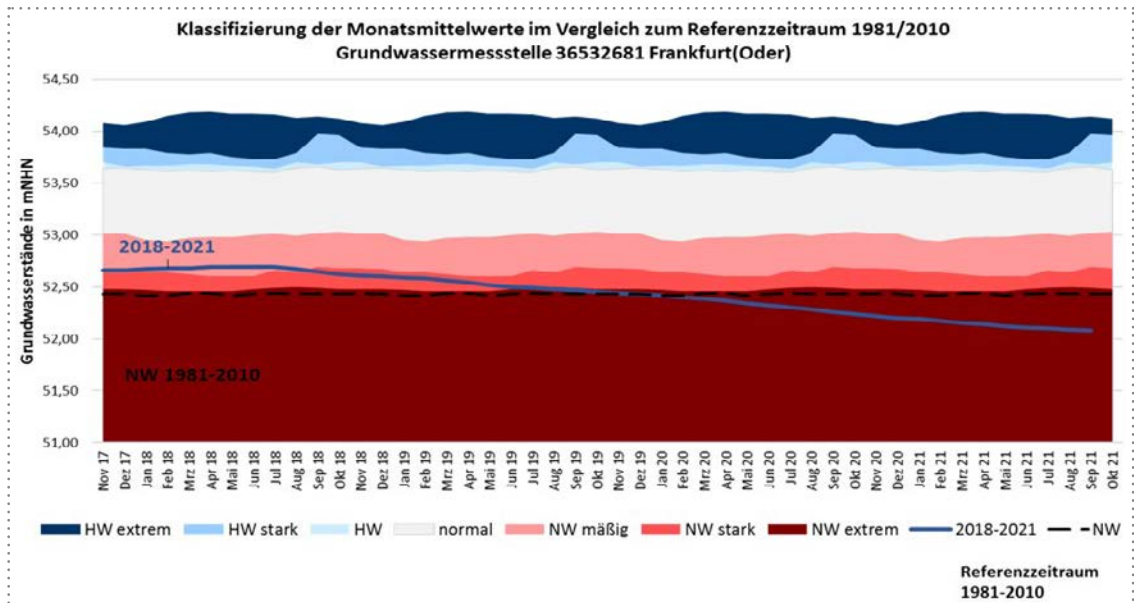


Die Grundwassermessstelle Gulben 42517005, nordwestlich von Cottbus, befindet sich in einem Niederungsbereich mit Grundwasserflurabständen < 5 m und einem starken innerjährlichem Gang der Grundwasserstände. Zu Beginn des Hydrologischen Jahres

2018 befanden sich diese noch im oberen bis leichten Hochwasserbereich. Aufgrund der bekannten extremen Witterungsverhältnisse fielen die Grundwasserstände von Januar bis September kontinuierlich und unterschritten im Juli 2018 die Niedrigst-

Abb. 8

Niedrigwasserkennzahlen der Grundwassermessstelle 36532681 Frankfurt (Oder)



grundwasserstandswerte der Referenzperiode. Der „normale“ Grundwasserschwankungsbereich der Referenzperiode wurde in dieser Zeitspanne nur kurzzeitig zum Ende des Hydrologischen Winters 2020 bis 2021 erreicht.

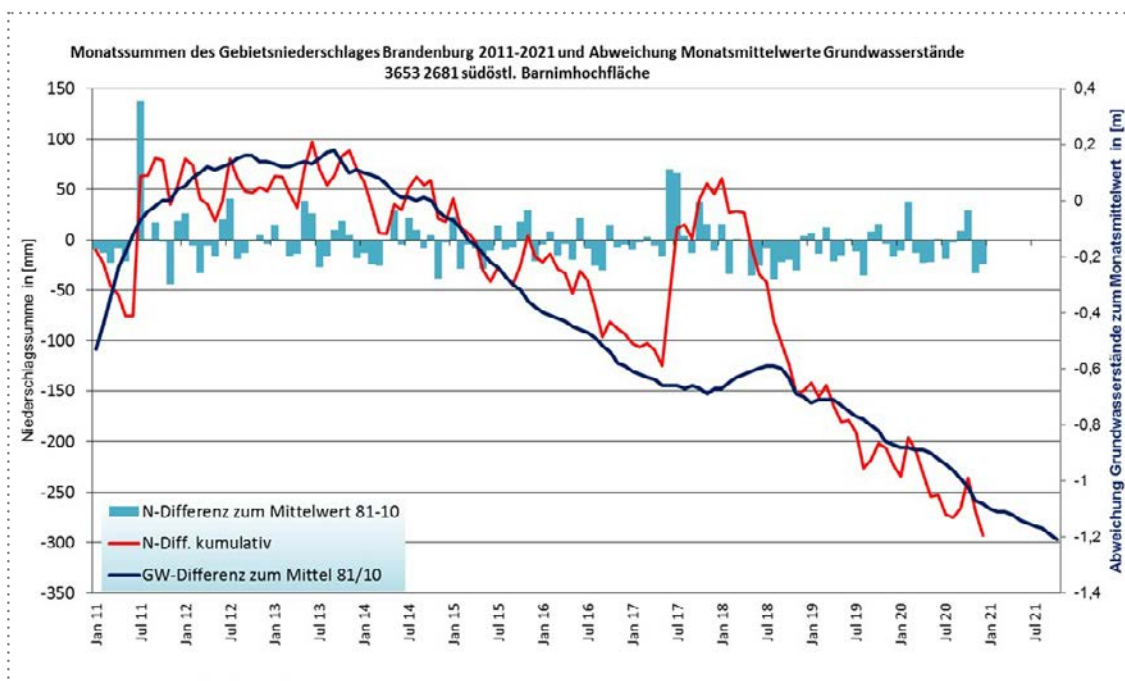
Die im Bereich der Hochfläche in einer pleistozän angelegten Abflussrinne bei Frankfurt (Oder) gelegene Grundwasserstandsmessstelle Frankfurt (Oder) 36532681, mit einem Grundwasserflurabstand deutlich > 10 m, zeigt hingegen einen überjährigen Gang und kaum innerjährliche Schwankungen (Abbildung 8). Im Vergleich zur Referenzperiode befanden sich die Grundwasserstände schon zu Beginn des Betrachtungszeitraumes im mäßigen Niedrigwasserbereich und nahmen bis August 2021 tendenziell ab. Das bisherige NW der Reihe 1981 bis 2010 wurde Anfang 2020 unterschritten, deutlich später als in Bereichen mit geringen Grundwasserflurabständen. Die Grundwasserneubildung wird

wegen der vertikalen Fließwege erst zeitverzögert (> ein bis zwei Jahre) wirksam. Im übertragenen Sinne kann von einem Langzeitgedächtnis des Grundwasserleiters gesprochen werden.

In den Achtzigerjahren des vorigen Jahrhunderts (hier circa 1988) hat auch großräumlich in vergleichbaren Hochflächenbereichen ein, zumindest bis heute, zu beobachtender Trendwechsel durch klimatisch bedingte verringerte Grundwasserneubildungswerte eingesetzt. Die Abbildung 9 verdeutlicht die Korrelation zwischen der kumulierten Niederschlagsdifferenz für den Zeitraum Januar 2011 bis Oktober 2021 und der Abweichung der Grundwasserstände im Vergleich zum langjährigen Mittelwert des Referenzzeitraumes 1981 bis 2020. Für einen Ausgleich der aktuellen Grundwasserdargebotsdefizite wären mehrere Jahre mit überdurchschnittlichen Grundwasserneubildungswerten im Hydrologischen Winter notwendig.

Abb. 9

Monatssummen des Gebietsniederschlags Brandenburg 2011 bis 2021 und Abweichung der Monatsmittelwerte der Grundwasserstände der repräsentativen Grundwassermessstelle 36532681 auf der südöstlichen Barnimhochfläche



3 Grundwasserdargebot und Bilanzierung

3.1 Ausgangssituation

Mit dem ständig zunehmenden Bedarf an Grundwasser, insbesondere in dicht besiedelten Regionen und in der Landwirtschaft, stehen der natürlichen Begrenzung des Grundwasserdargebots eine Vielzahl anthropogener Eingriffe gegenüber. Eine wichtige Aufgabe der Wasserwirtschaft ist es daher, zielgerichtet Vorausplanungen durchzuführen, Nutzungskonflikte und nachteilige Beeinflussungen, wie eine Überbeanspruchung des Grundwasserdargebots mit nachweislich fallenden Grundwasserständen zu vermeiden. Sehr wichtig ist ein verfügbares Grundwasserdargebot für die Zukunft in guter Quantität und Qualität zu sichern. Erst durch die Erfassung und optimale Nutzung vorhandener Grundwasservorräte kann einer Überbelastung des Grundwassersystems vorgebeugt und somit verhindert werden. Als Grundsatz für eine nachhaltige Nutzung des Grundwasservorkommens gilt, dem System langfristig nicht mehr Wasser zu entziehen als auf natürlichem Weg neu gebildet wird, wobei auch ein ökologischer Mindestabfluss in den Fließgewässern erhalten bleiben muss. Dieser Ansatz spielt für die Gewährleistung des guten ökologischen Zustandes in den Gewässern eine wichtige Rolle. Zusätzlich ist vor dem Hintergrund der Veränderung der klimatischen Rahmenbedingungen eine Neubewertung des langfristig zur Verfügung stehenden Grundwasserdargebotes eine wichtige Grundlage, um die Grundwasserressourcen schonend zu nutzen und auch für spätere Generationen zu sichern.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden, war es erforderlich, aktuelle fachliche Grundlagen für eine landesweite Betrachtung der Grundwasserreserven und dem sich daraus ergebenden nutzbaren Grundwasserdargebot zu schaffen. Das LfU hat daher ein Projekt (HGN 2021) zum Grundwasserdargebot und dessen Bilanzierung für das Land

Brandenburg beauftragt, das 2020 bis 2021 erarbeitet wurde und erstmalig einen aktuellen Gesamtüberblick zum vorhandenen nutzbaren Dargebot des Grundwassers gibt. Eine umfangreiche Recherche unter anderem aus den Grundwasservorratsprognosen (GWVP) für Ostbrandenburg (Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH, 1993), für Potsdam (VEB Hydrogeologie Nordhausen 1989) und für den Südtteil Brandenburg (Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH, 1994), schafft eine solide fachliche Grundlage zu erkundeten Grundwasservorräten einschließlich konkreter Vorratsangaben zum erschließbaren Grundwasser in m³/Tag.

Aufbauend auf den Daten zum Oberflächenabfluss, dem Hydroisohypsenplan von 2015 (Umweltplan et al. 2019) und dem ökologischen Mindestabfluss ist eine Bilanzierung nach Einzugsgebieten erarbeitet worden.

Weiterhin ist eine Konzeption für ein Web-GIS-Werkzeug entwickelt worden, das den unteren Wasserbehörden sowie der oberen Wasserbehörde ein Hilfsmittel an die Hand geben soll, das überblicksmäßig eine Bilanzierung für einen betrachteten Raum, vorzugsweise einem unterirdischen Einzugsgebiet, ermöglicht.

3.2 Datengrundlagen

Der Grundgedanke für die Verknüpfung hydrogeologischer und wasserwirtschaftlicher Sachverhalte als Basis für die quantitative Bewertung des Grundwasserdargebotes ist die naturgegebene Einheit von Grund- und Oberflächenwasserhaushalt.

Für die fachlich umfassende Datenerhebung sind die vorliegenden Daten zur Grundwasserneubildung der Modelle aus BAGLUVA (LfU 2019) und ArcEGMO (BAH 2018) im Hinblick auf die für das Projekt fachlichen Erfordernisse für die Bilanzierungsbedingungen

bewertet worden. Im Ergebnis dessen sind die weiteren Arbeiten auf Grundlagen der BAGLUVA-Daten fortgeführt worden. Hintergrund ist die bessere flächenhafte Auflösung und gute Passfähigkeit mit den gemessenen Abflüssen in diesem Datensatz.

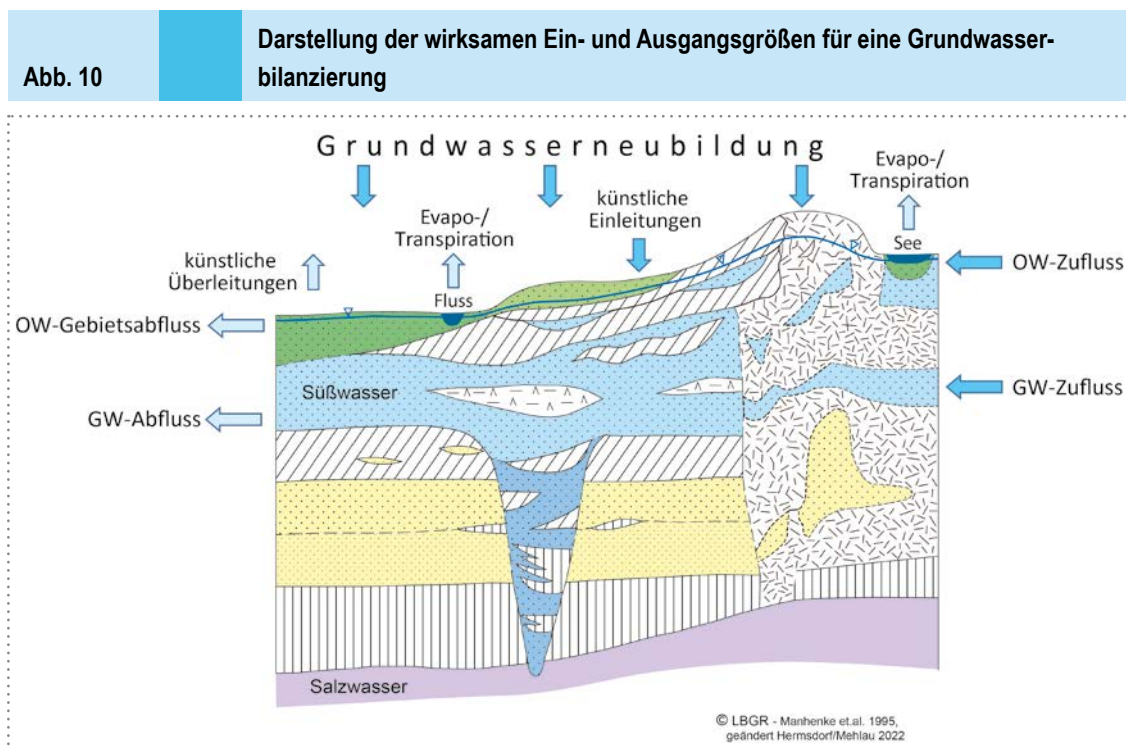
Weiterhin flossen unter anderem folgende Informationen mit ein:

- die Grundwasser-/Oberflächenwasserentnahmen,
- die Abflussdaten aus Bilanzpegeln,
- der ökologisch begründete Mindestabfluss,
- die Angaben aus Kläranlagen und Überleitungen,
- die nicht nutzbaren Bereiche, wie Flächen mit Salzwasser > 1.000 mg/l NaCl oberhalb von 0 m NHN und ohne Ausbildung von Grundwasserleitern,
- die Trendbetrachtung für die einzelnen Grundwassermessstellen nach Grimm-Strele (LAWA 2011).

3.3 Bilanzierungsmethodik

Methodische Grundlage der Bearbeitung ist die in den ostdeutschen Bundesländern in den 1980er-Jahren entwickelte und angewandte Methodik der GWVP zur einheitlichen Bilanzierung von Grund- und Oberflächenwasser durch Verknüpfung natürlicher, hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Bilanzglieder des Wasserkreislaufes (Meinert, N., 1988). Grundannahme der Methodik nach Meinert ist die naturgegebene Einheit von Grund- und Oberflächenwasserressourcen. Aus diesem Grund sollte entsprechend der angewandten Methodik jeder Grundwasserdargebotsnachweis auf regional kontrollfähige Wasserbilanzen zurückgeführt werden können (Jordan & Weder 1995). Diese Kontrolle erfolgt anhand der mittleren gemessenen Abflüsse an einem Kontrollpegel am Ausgang des Bilanzgebietes und umfasst damit den Gesamtabfluss inklusive der vorhandenen Nutzungen.

Für die einheitliche Bilanzierung sind in der Abbildung 10 die Eingangsgrößen mit grünen



Pfeilen und Ausgangsgrößen mit violetten Pfeilen dargestellt.

Die entscheidenden, weil messtechnisch reproduzierbaren, Bilanzglieder sind dabei:

- die flächenbezogenen, klar abgegrenzten oberirdischen Bilanzgebiete mit repräsentativen Abflussmessstellen,
- die aus dem Grundwassergleichenplan Frühjahr 2015 (LfU 2017) abgegrenzten unterirdischen Einzugsgebiete,
- die Oberflächenwasser- und Grundwasserüberleitungen, die nicht in den Durchflussmessstellen erfasst werden und
- die Grund-/Oberflächenwasserentnahmen sowie -einleitungen.

Das jeweils betrachtete Gebiet ist durch das oberirdische Einzugsgebiet begrenzt und wird hydrologisch durch Informationen aus dem gemessenen langjährigen mittleren Abfluss geprägt. Wichtig für alle folgenden Berechnungen ist es, eine fachliche Plausibilität zu gewährleisten. Dies wird vorab an-

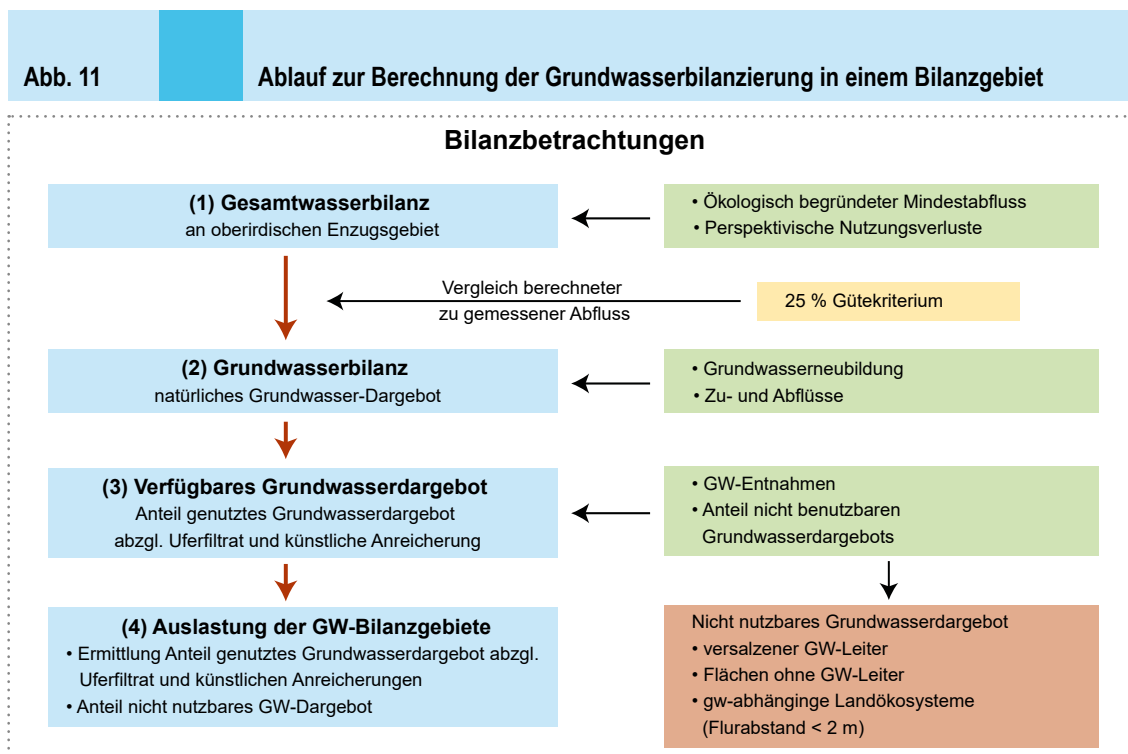
hand eines sogenannten Gütekriteriums im Sinne einer Qualitätsprüfung sichergestellt. Das Gütekriterium ergibt sich aus dem Quotienten des theoretisch berechneten Oberflächenabflusses und des gemessenen mittleren Abflusses:

$$GK = \frac{\text{berechneter Abfluss } QOW}{\text{gemessener Abfluss } MQ}$$

GK – Gütekriterium
 QOW – berechneter Oberflächenabfluss
 MQ – gemessener langjähriger mittlerer Abfluss

Der zulässige Toleranzbereich wird mit einem Fehler von 25 % angegeben. Ziel ist es, durch das Erreichen einer Genauigkeit von $\pm 25\%$ ($125\% > GK > 75\%$) für die Gesamtbilanz eine ausreichende Prognosesicherheit für die Grundwasserbilanzierung durch Erfassung aller Bilanzglieder zu erhalten.

Zur Vereinfachung der Erläuterung der Methodik nach Meinert wird im Fließschema der Abbildung 11 die Herangehensweise erläutert.



In einem ersten Schritt werden die Gesamtwasserbilanzen (Abbildung 11-(1)) der oberirdisch ausgegrenzten Einzugsgebiete auf Basis des mittleren Abflusses am Durchflusspegel unter Berücksichtigung des für die Pegel ermittelten ökohydrologisch begründeten Mindestabflusses ($Q_{\min,ök}$) berechnet. Der Ansatz des ökologischen Mindestabflusses betrachtet die aus ökologischer Sicht benötigten Mindestwassermengen, um die Zielsetzung eines guten ökologischen Zustands beziehungsweise Potenzials für die berichtspflichtigen natürlichen oder erheblich veränderten Fließgewässer entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Die $Q_{\min,ök}$ -Werte geben dabei diesen Wert unter Berücksichtigung des quasi-natürlichen Wasserdargebotes laut ArcEGMO 1991 bis 2015 an, der bei der behördlichen Festlegung einer Mindestwasserführung aus ökohydrologischer Sicht nicht unterschritten werden sollte. Jedoch berücksichtigen sie nicht die Interessen anderer Wassernutzer, wasserabhängiger Landökosysteme oder die Wasserbedarfe wasserwirtschaftlicher Anlagen. Außerdem gehen in die Gesamtwasserbilanzen auch die perspektiven Nutzungsverluste wie zum Beispiel durch Kraftwerke oder durch die Getränkeindustrie mit ein. Das oben beschriebene Gütekriterium zur Plausibilisierung der Bilanzgebiete kommt zum Einsatz, um das jeweilige Bilanzgebiet hinreichend fachlich zu bewerten.

In einem zweiten Schritt werden die Grundwasserbilanzen (Abbildung 11-(2)) unter Einbeziehung des Gesamtwasserabflusses nach BAGLUVA sowie den Zu- und Abflüssen ermittelt und bilden somit das natürliche Grundwasserdargebot ab.

Aus dem natürlichen Grundwasserdargebot wird das verfügbare Grundwasserdargebot (Abbildung 11-(3)) unter Berücksichtigung der bekannten Grundwasserentnahmen,

der Grundwasseranreicherung, der Uferfiltratanteile und dem nicht nutzbaren Grundwasserdargebot bestimmt. Das nicht nutzbare Grundwasserdargebot wird ermittelt aus grundwasserabhängigen Landökosystemen mit einem Grundwasserflurabstand < 2 m, nachgewiesener Grundwasserverzahnung im quartären Grundwasserleiter beziehungsweise aus bekannten Fehlstellen im Grundwasserleiter. Das heißt, dass beispielsweise in Gebieten mit einem hohen Anteil an nicht nutzbarem Grundwasserdargebot aufgrund von salinaren Einflüssen das verfügbare Grundwasserdargebot deutlich kleiner als das natürliche Grundwasserdargebot sein kann. Das verfügbare Dargebot wird oft auch als nutzbares Grundwasserdargebot bezeichnet.

Abschließend wird der Auslastungsgrad (Abbildung 11-(4)) prozentual auf das genutzte Grundwasserdargebot des jeweiligen Bilanzgebietes berechnet. Die genaue rechnerische Vorgehensweise zur Erarbeitung der Wasserbilanzen für das Land Brandenburg ist im unveröffentlichten Projektbericht ausführlicher (HGN 2021) erläutert.

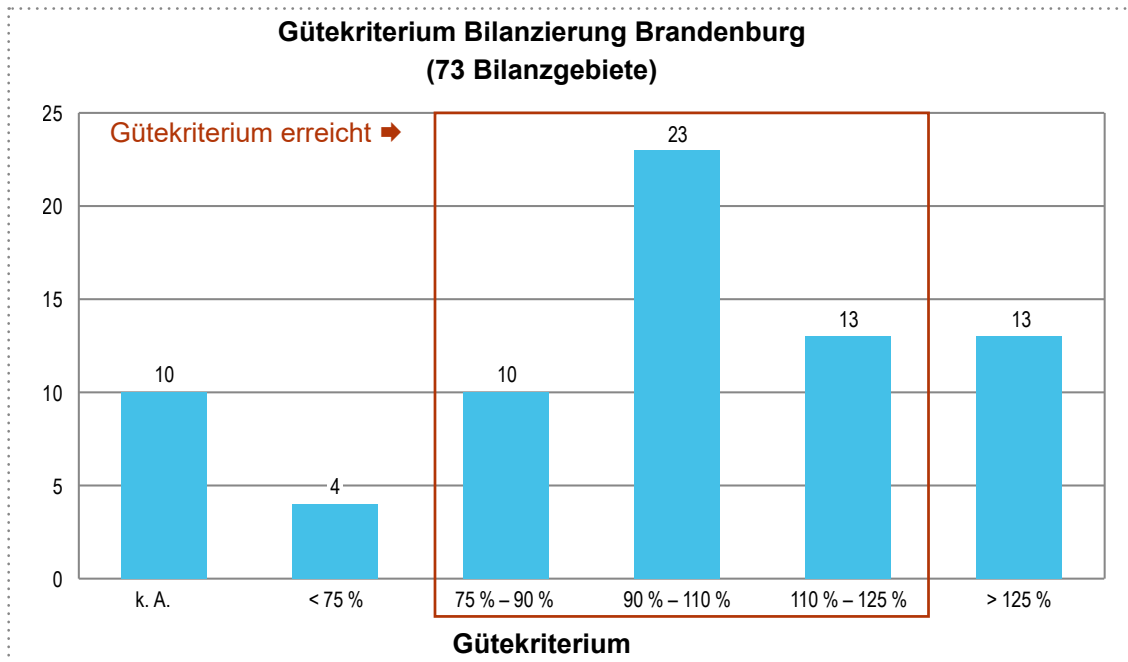
3.4 Bilanzgebiete

3.4.1 Ausgrenzung der Bilanzgebiete

Im Ergebnis der Bilanzbetrachtung konnten 73 Bilanzgebiete ausgegrenzt werden. Die oben beschriebene Plausibilitätsprüfung ergab, dass für insgesamt 46 Bilanzgebiete die Einhaltung des Gütekriteriums erreicht wurde (Abbildung 12, Abbildung 13). Sie liegen also innerhalb des Toleranzbereiches von ± 25 %. Für insgesamt 17 Bilanzgebiete liegt die Genauigkeit in der Gesamtbilanz außerhalb des Vertrauensbereiches von ± 25 % und für zehn Gebiete konnte aufgrund des Fehlens eines Pegels für den Bilanzvorfluter kein Gütekriterium ausgewiesen werden.

Abb. 12

Verteilung der erreichten Bilanz-Genauigkeit (Gütekriterium) in den Bilanzgebieten



Als Ursachen für die hohen Bilanzfehler werden Unklarheiten bei den Überleitungen, im Bergbau und noch nicht vollständig erfasste Wasserrechte vermutet. Bei grenzüberschreitenden Bilanzgebieten zum Bundesland Sachsen-Anhalt kann zudem auch der dort genommene Ansatz der geringeren Grundwasserneubildung nach ArcEGMO ursächlich sein.

Die zehn Bilanzgebiete (Abbildung 13) mit der Einstufung „nicht bilanzierbar“ sind meist in den Randbereichen zu den Nachbarländern gelegen. Wegen fehlender Bilanzpegel ist keine Überprüfung des Gütekriteriums möglich. Zur Kompensation dieses Defizits wurde hier ein pragmatischer Ansatz über die Grundwasserneubildung gewählt.

Bilanzgebiete innerhalb des Toleranzbereiches $\pm 25 \%$

In den 46 Bilanzgebieten (Abbildung 13) mit Einhaltung des Gütekriteriums stehen zu-

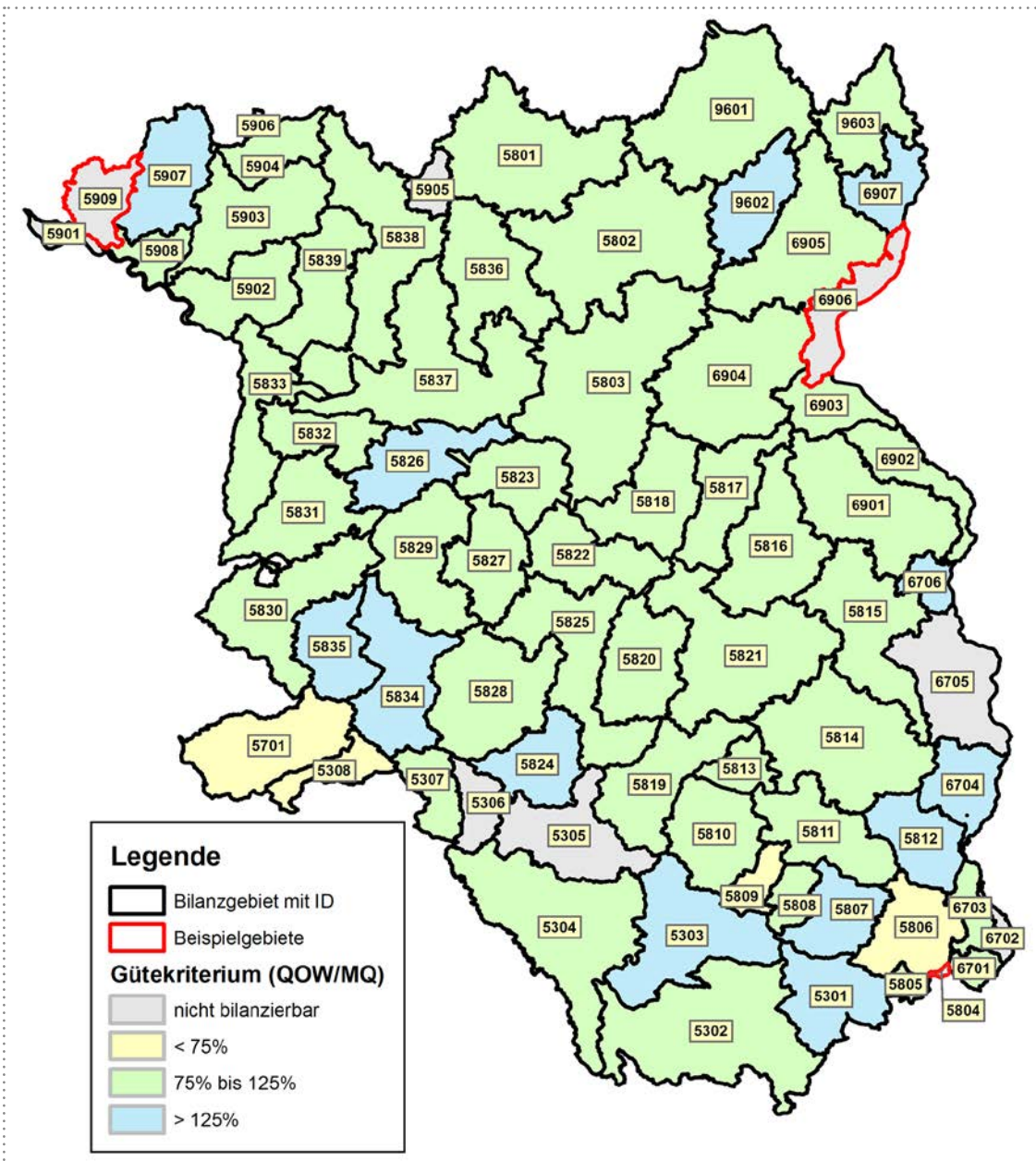
meist jeweils langjährig beobachtete Bilanzpegel am Gebietsauslass beziehungsweise einlass zur Verfügung. Bei einigen Bilanzgebieten fehlen jedoch Abflussdaten an den Bilanzgebietsgrenzen, wie oben bereits erwähnt. Um dennoch zu einer Einschätzung zur Gesamtwasserbilanz zu kommen, wurden deshalb plausible Ab- oder Zuflusswerte im Gesamtkontext mit den benachbarten Bilanzgebieten in mehreren Berechnungsschritten iterativ abgeleitet. Die in Ansatz gebrachten Abflüsse sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Bilanzgebiete außerhalb des Toleranzbereiches $\pm 25 \%$

Etwa 23 % der Bilanzgebiete liegen außerhalb des Gütekriteriums von $\pm 25 \%$. Besonders auffällig sind hierbei zum Beispiel die Bilanzgebiete Buchholzer Fließ und Koselmühlenfließ mit einem Gütekriterium von 265 % oder Schwarze Elster I mit 170 %. Für beide Bilanzgebiete ist die Ursache im Berg-

Abb. 13

Karte zur flächenhaften Verteilung des Gütekriteriums in dem jeweiligen Bilanzgebiet



baubereich zu finden. Anders verhält es sich zum Beispiel im Bilanzgebiet der Plane und Temnitz. Hier geht aus den Betrachtungen hervor, dass ein signifikanter unterirdischer Zufluss vorhanden ist. Ein weiterer Grund für das Verfehlen des Gütekriteriums kann die ungünstige Lage des Bilanzpegels sein. In einzelnen Regionen deckt dieser nur einen

Teil des Bilanzgebietes ab und führt somit zu einem Defizit in dem Gütekriterium.

Die Bilanzglieder für die Bilanzgebiete ohne Einhaltung des Gütekriteriums sind bei vorliegen eines verbesserten Datenbestandes zu überprüfen.

BG_ID	Bilanzgebiet	Berechneter Abfluss QOW [m³/d]	Gemessener Abfluss MQ_Pegel [m³/d]	GK %	Anmerkungen
5302	Schwarze Elster II	1.075.292	1.089.081	99	
5304	Schwarze Elster IV	1.480.375	1.799.135	82	
5307	Zahna	36.961	36.062	102	
5801	Obere Havel I	428.255	434.342	99	
5802	Obere Havel II	847.118	867.456	98	Abfluss aus 5802 mittels QR + QZO + QZU abgeleitet
5803	Obere Havel III	1.161.543	1.045.440	111	Abfluss aus 5801 mittels QR + QZO + QZU abgeleitet, OHW = 1,5 m³/s geschätzt
5805	Obere Spree	1.058.067	1.141.525	93	
5808	Göritzer Fließ und Vetschauer Mühlenfließ	43.813	40.357	109	
5810	Berste und Wudritz	125.004	108.786	115	
5811	Mittlere Spree II	1.554.144	1.586.157	98	
5813	Mittlere Spree III Lübben – Leipsch	1.439.488	1.217.074	118	
5814	Mittlere Spree IV Leipsch-Beeskow	1.515.367	1.506.678	101	Spree-Dahme-Umflutkanal 1 m³/s
5815	Mittlere Spree IV Beeskow-Füwa	1.670.366	1.626.912	103	
5816	Untere Spree I Füwa – Erkner	1.508.401	1.788.993	84	
5817	Erpe und Fredersdorfer Mühlenfließ	860.787	837.475	103	
5818	Untere Spree II Berlin bis Mündung Havel	3.119.772	2.782.080	112	
5819	Dahme I bis Märkisch Buchholz	369.601	482.544	77	Spree-Dahme-Umflutkanal 1 m³/s
5820	Dahme II Nottekanal	174.881	200.258	87	keine
5821	Dahme III bis Eichwalde	1.562.354	2.039.040	77	Abfluss in Teltowkanal 4 m³/s
5822	Teltowkanal	4.834.595	4.675.968	103	Zufluss in Teltowkanal 4 m³/s
5823	HVK I und GHHK I	128.872	146.880	88	Abfluss HVK 0,24 m³/s aus Gebietsbilanz abgeleitet
5825	Nuthe II Luckenwalde – Potsdam	496.177	584.064	85	
5827	Mittlere Havel I von Potsdam bis Ketzin	5.401.155	4.999.104	108	Zufluss aus HVK 0,24 m³/s aus Gebietsbilanz abgeleitet
5828	Nieplitz I bis Schlaaß	223.717	276.820	81	
5829	Mittlere Havel II von Ketzin bis Brandenburg	5.189.656	5.202.144	100	Ableitung MQ 60,21 m³/s aus anderen Gebietsabflüssen

BG_ID	Bilanzgebiet	Berechneter Abfluss QOW [m³/d]	Gemessener Abfluss MQ_Pegel [m³/d]	GK %	Anmerkungen
5830	Untere Havel I von Brandenburg bis Kützkow	5.371.699	6.099.840	88	
5831	Untere Havel II von Kützkow bis Albertsheim	6.202.418	6.687.360	93	
5832	Untere Havel III von Albertsheim bis Garz	6.944.443	6.708.960	104	Ableitung MQ 77,65 m³/s aus anderen Gebietsabflüssen
5833	Untere Havel IV Havel Garz bis Elbe	7.988.345	7.715.520	104	Ableitung MQ 89,3 m³/s aus anderen Gebietsabflüssen
5836	Rhin bis Wustrau	299.740	275.616	109	
5837	Rhin von Wustrau bis zur Havel	387.436	326.592	119	Überleitung zur Dosse 3 m³/s
5838	Dosse	698.562	629.585	111	Überleitung von Rhin 3 m³/s und Alter Jäglitz 1,4 m³/s
5839	Jäglitz	104.946	97.286	108	Überleitung von Alter Jäglitz zur Dosse 1,4 m³/s
5902	Karthane	169.317	177.560	95	
5903	Stepenitz II von BP 5935203 bis zur Elbe	409.189	396.524	103	
5904	Stepenitz I bis BP 5935203	130.463	121.824	107	
5908	Löcknitz II	235.473	202.176	116	
6701	Lausitzer Neiße I	34.404	30.596	112	
6703	Lausitzer Neiße III	28.555	25.255	113	
6901	Alte Oder I bis Wriezen	265.385	250.481	106	
6902	Letschiner Hauptgraben	139.540	147.652	95	Drängewasser Oder 1,3 m³/s
6903	Alte Oder II Wriezen bis Hohensaaten	456.015	518.400	88	Annahme MQ 5 m³/s im Bereich Oderberg
6904	HOW von Ruhlsdorf bis Oderberg	480.535	432.000	111	Abschätzung Zufluss OHK 1,5 m³/s
6905	Welse und Randow Südstrecke	213.246	190.080	112	
9601	Ücker II von Prenzlau bis Pasewalk	409.146	352.696	116	
9603	Randow von Bifurkation bis Löcknitz	103.466	89510	116	

QOW – Theoretischer (berechneter) Gesamtabfluss am Bilanzpegel

MQ – gemessener Mittelwasserabfluss am Durchflusspegel

GK – Gütekriterium

QR – Gesamtabfluss

QZO – oberirdischer Zufluss in das Bilanzgebiet

QZU – unterirdischer Zufluss ermittelt aus flächenwirksamer Grundwasserneubildung

Bilanzgebiete ohne Ausweisung des Gütekriteriums

Im Rahmen der Projektbearbeitung konnte aufgrund fehlender Bilanzpegel für insgesamt zehn Bilanzgebiete kein Gütekriterium ausgewiesen werden. Es handelt sich zum Beispiel um relativ große Bilanzgebiete (Abbildung 13) wie das BG 6906 „Ho-Fri-Wa“ Hohensaaten-Friedrichsthaler-Wasserstraße mit einem QOW von 1.205.321 m³/Tag oder das BG 5909 „Alte Elde und Rudower See-graben“ mit einem QOW von 310.070 m³/Tag. Aber auch sehr kleine Gebiete wie unter anderem das BG 5804 „Obere Spree bei Lieskau“ mit einem QOW 5.332 m³/Tag sind betroffen. Diese Gebiete liegen hauptsächlich an der Peripherie von Brandenburg in Angrenzungen an die benachbarten Bundesländer.

Das LfU prüft derzeit, ob zur Fortschreibung der Bilanzen und zukünftigen Bewirtschaftung entsprechende Pegel an den Hauptvorflutern eingerichtet werden können. In sehr kleinen Bilanzgebieten wie zum Beispiel 5804 an der Grenze zu benachbarten Bundesländern existiert zum Teil keine Vorflut.

3.4.2 Aufstellung der Grundwasserbilanz

Die Erstellung der Grundwasserbilanz für die Bilanzgebiete erfolgte auf der Grundlage der ermittelten und im vorher beschriebenen Schritt verifizierten Bilanzgebiete. Dazu wurde für jedes Bilanzgebiet das verfügbare Wasserdargebot (Qverf.), das natürliche Grundwasserdargebot (GWD – Abbildung 14) und das verfügbare Grundwasser (GWverf. – Abbildung 15) entsprechend der

Abb. 14

Karte zum natürlichen Grundwasserdargebot in dem jeweiligen Bilanzgebiet

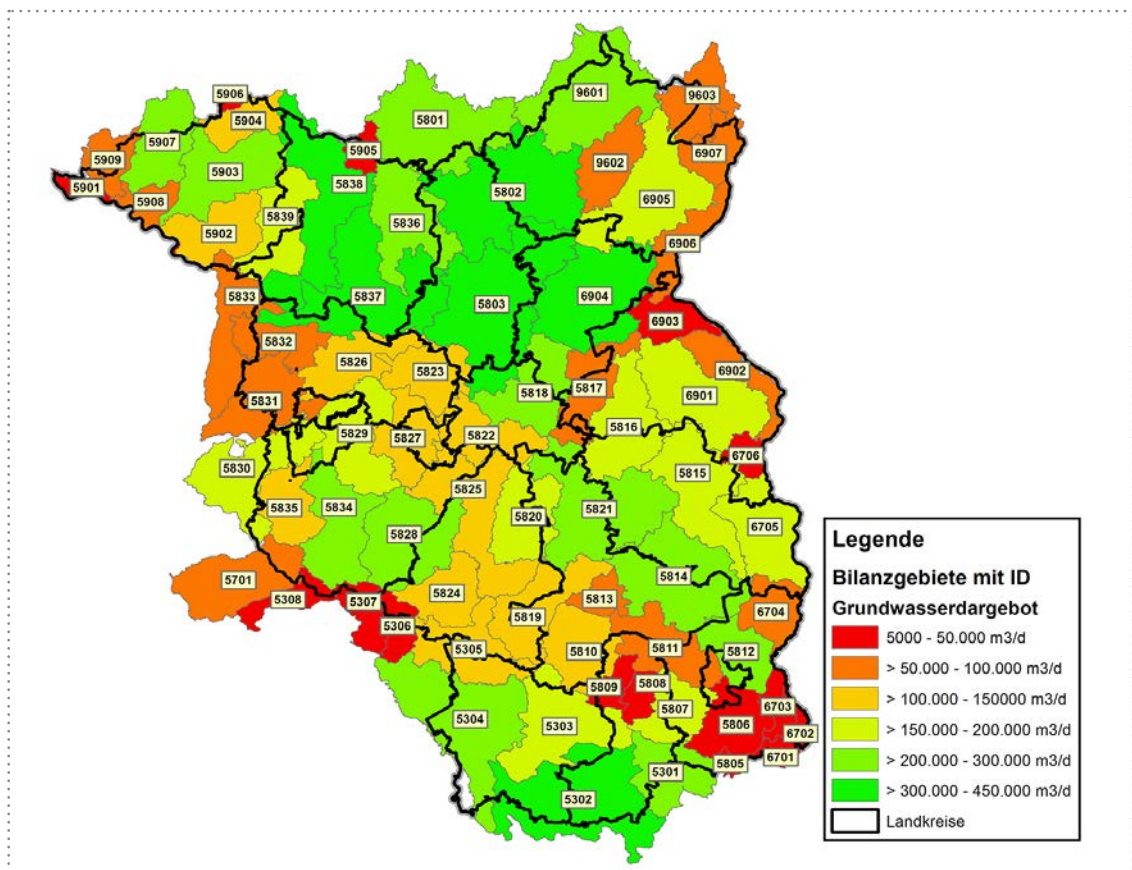
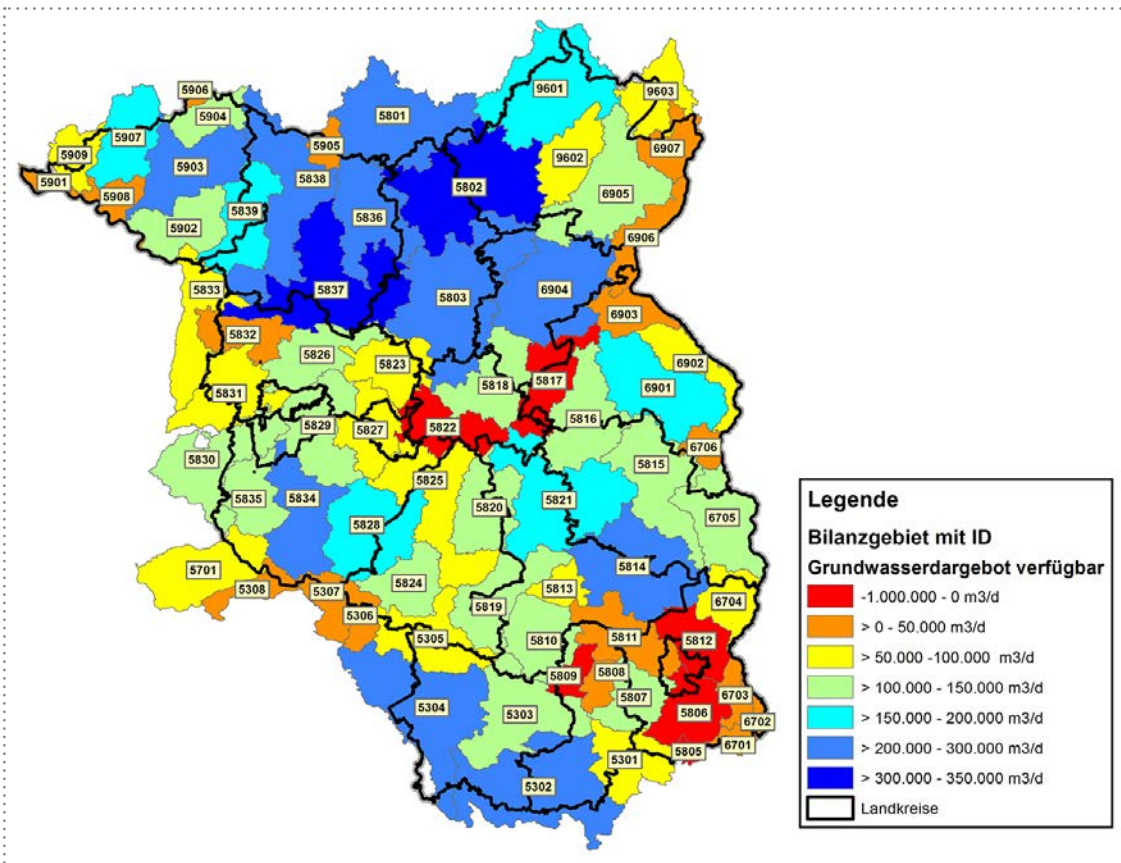


Abb. 15

Karte zum verfügbaren Grundwasserdargebot in dem jeweiligen Bilanzgebiet



Methodik nach Meinert (1988) ermittelt. Das sich erneuernde natürliche Grundwasserdargebot für die Bilanzgebiete resultiert aus der flächenwirksamen Grundwasserneubildung im Bilanzgebiet sowie den mengenmäßig ermittelten unterirdischen Zu- und Abflüssen. Für das Land Brandenburg stehen in etwa 3,7 Milliarden m³ als sich erneuerndes Grundwasserdargebot im Jahr zur Verfügung. Betrachtet man daraus das verfügbare Grundwasser für die Bilanzgebiete ergibt sich schätzungsweise eine nutzbare Menge von rund 2 Milliarden m³/Jahr. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass man die jeweiligen Bilanzgebiete, entsprechend den beschriebenen Rahmenbedingungen differenziert betrachten muss.

In Auswertung der Berechnungen zu dem verfügbaren Grundwasserdargebot wurde auch der Auslastungsgrad des jeweiligen Bilanzgebietes betrachtet. Der Auslastungsgrad für die 73 Bilanzgebiete im Land Brandenburg ist aus der vorgegebenen und angewendeten Methodik nach Meinert errechnet worden. Der Auslastungsgrad beschreibt dabei das Verhältnis des natürlichen Grundwasserdargebots zum (noch) verfügbaren Grundwasserdargebot in einem Bilanzgebiet.

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Auslastungsgrad der Bilanzgebiete. Dieser wird zum Beispiel durch die Höhe der Entnahmen, durch den Anteil des nicht nutzbaren Grundwasserdargebots, aber auch durch

die Höhe des ermittelten ökohydrologischen Mindestabflusses beeinflusst.

Bei den Entnahmen wurden die genehmigten Mengen aus den zum Zeitpunkt des Projektes zur Verfügung stehenden Daten der Wassernutzungsentgeltstelle von 2017 berücksichtigt. Allerdings waren zu diesem Zeitpunkt im elektronischen Wasserbuch (eWaBu) noch nicht alle Daten landesweit vollständig erfasst. Der ökohydrologische Mindestabfluss macht in einzelnen Bilanzgebieten zum Teil einen sehr hohen Anteil aus, sodass hier eine hohe Einflussnahme auf die jeweilige Berechnung zum Bilanzgebiet vorliegen kann.

Weiterhin kann beispielsweise in Gebieten mit einem hohen Anteil an nicht nutzbarem

Grundwasserdargebot aufgrund von salinaren Einflüssen das verfügbare Grundwasserdargebot deutlich kleiner als das natürliche Grundwasserdargebot sein. In solchen Gebieten wäre der Auslastungsgrad durchaus auch ohne große Entnahmemengen erhöht.

Eine kartografische Übersicht gibt es hierzu in Abbildung 16. Die vorgesehene Auslastungsklasse für die Bilanzgebiete zwischen > 75 und 100 % tritt derzeit nicht auf. Im Ergebnis dieser Betrachtung ist eine prozentuale Auslastung (Abbildung 17) für das Gebiet ermittelt worden. Insgesamt liegt für 34 Bilanzgebiete (47 %) der Auslastungsgrad bei < 25 % des Grundwasserdargebotes. In 22 Bilanzgebieten (30 %) wird der Auslastungsgrad etwa zwischen 25 % und 50 % und in zehn Bilanzgebieten (14 %) zwischen

Abb. 16

Karte zum Auslastungsgrad in den Bilanzgebieten

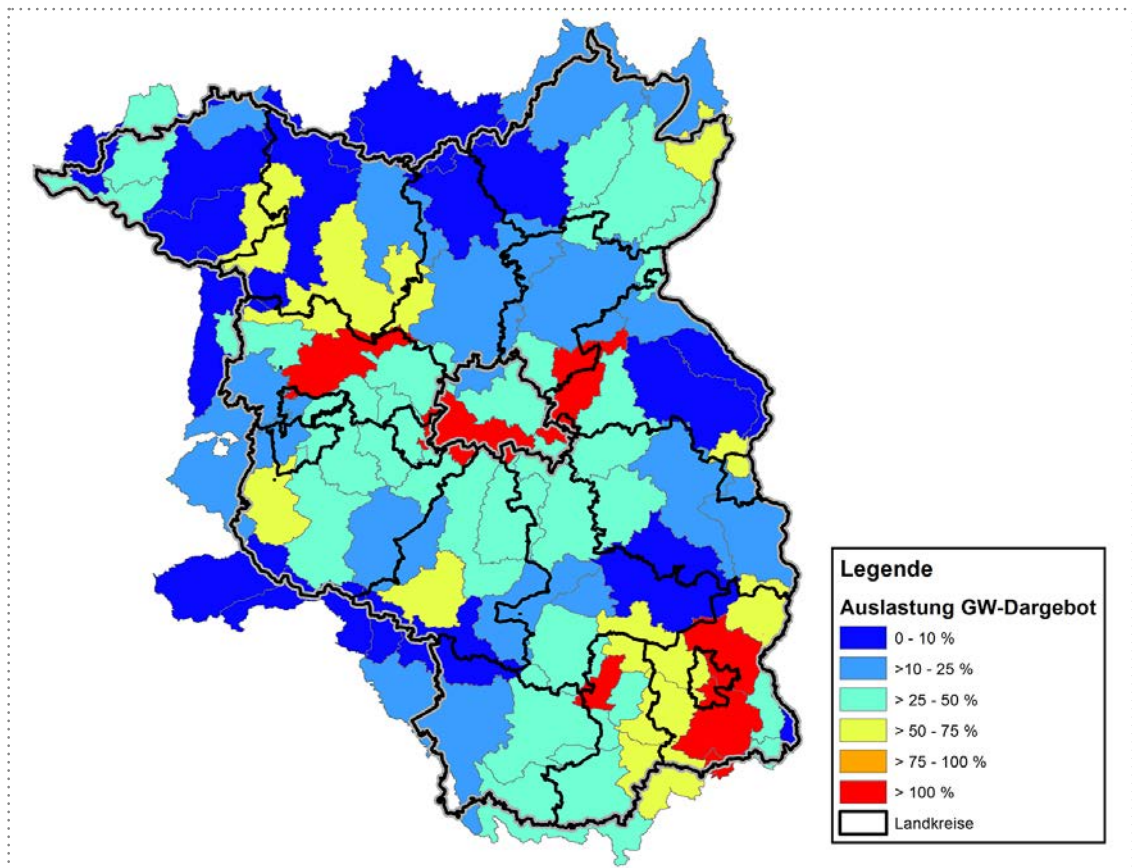
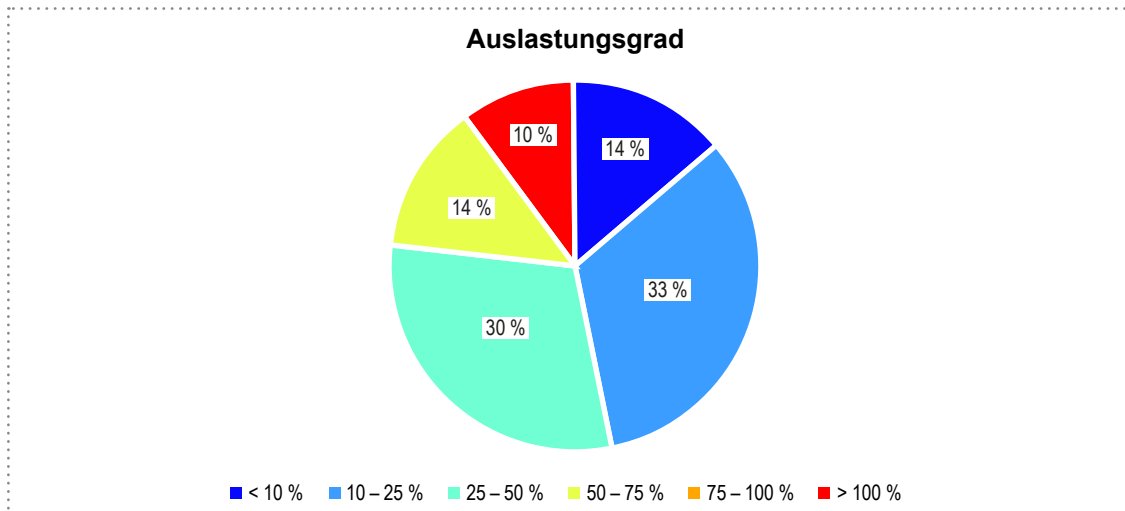


Abb. 17

Anteil der Bilanzgebiete mit Auslastungsgrad für den Betrachtungszeitraum



50 % und 75 % geschätzt. In insgesamt sieben Bilanzgebieten (10 %) ist eine Übernutzung des Grundwasserdargebotes festzustellen (Auslastung ≥ 100 %).

Bei einem Auslastungsgrad von > 100 % ist zunächst eingehend standortbezogen zu prüfen auf welchen Grundlagen der Auslastungsgrad ermittelt wurde und in welchem Umfang weitere Wasserentnahmen zugelassen werden können.

3.4.3 Grundwasserbilanz für das Klimaszenario 2031 bis 2060

Zur Ermittlung der Auswirkungen der sich ändernden klimatischen Bedingungen auf das Wasser- beziehungsweise Grundwasserdargebot wurde eine Grundwasserbilanzierung für das Klimaszenario 2031 bis 2060 durchgeführt. Dazu wurden die Wasserhaushaltsgrößen zum Gesamtabfluss mittels BAGLUVA für das Klimaszenario 2031 bis 2060 neu berechnet. Grundlage der Neuberechnung des Gesamtabflusses war das Emissionsszenario RCP 8.5 nach Schwalm et. al. (2020) mit den darin enthaltenen Daten des Niederschlages und der potentiellen Verdunstung für das Kli-

maszenario. Es wurde das 15. Perzentil für den Niederschlag und das 85. Perzentil für die Grasreferenzverdunstung angesetzt. Dieser Perzentilansatz folgt dem Vorsorgeprinzip entsprechend der Klimawirkungs- und Risikoanalyse (KWRA 2021), auf die im Kapitel 5.3 näher eingegangen wird.

Die jeweiligen Schritte der Berechnungen für die Gesamtwasserbilanz, des natürlichen und des verfügbaren Grundwasserdargebotes, entsprechen dem Ansatz der Methodik nach Meinert (siehe auch Fließschema Abbildung 11).

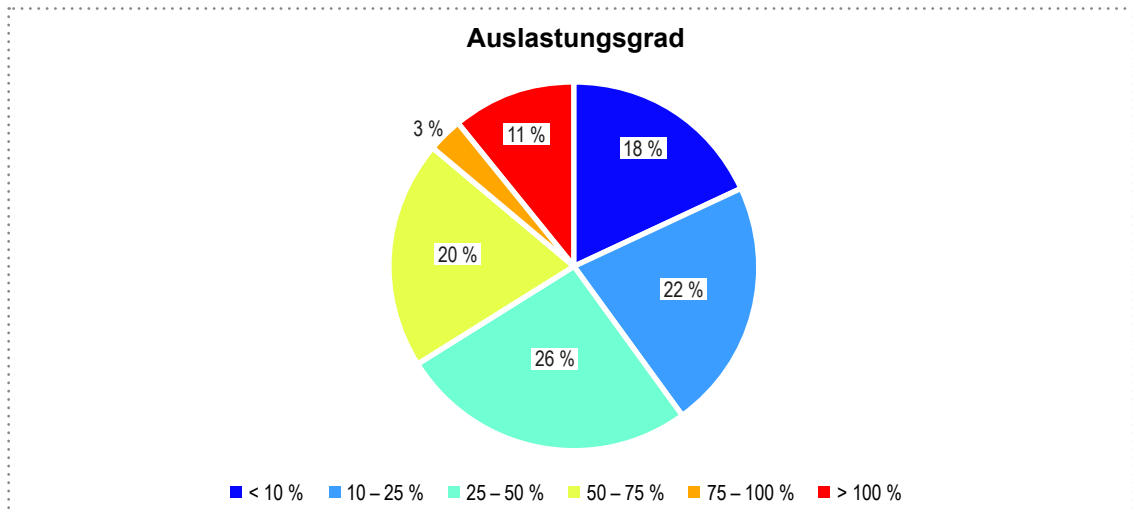
Auf der Basis der projizierten Ergebnisse nach BAGLUVA für den Zeitraum 2031 bis 2060 wurde für jedes Bilanzgebiet ein separater Klimafaktor (KS) abgeleitet.

$$\text{Klimafaktor } KS = \frac{QR(2031 - 2060)}{QR(1986 - 2015)}$$

Danach spiegelt der Klimafaktor die Reduzierung des Gesamtabflusses (QR) für den Projektionszeitraum 2031 bis 2060 gegenüber der Referenzperiode 1986 bis 2015 wider. Die Spannweite des Klimafaktors aller Bilanzgebiete liegt zwischen 0,4 und 2,1.

Abb. 18

Anteil der Bilanzgebiete je Auslastungsgrad für das Klimaszenario 2031 bis 2060



Das bedeutet, dass sich voraussichtlich der Gesamtabfluss hauptsächlich reduziert und damit auch weniger Grundwasserdargebot zur Verfügung steht. Weiterhin ist in mehreren Bilanzgebieten eine höhere Auslastung des nutzbaren Grundwasserdargebotes berechnet worden.

Die statistische Auswertung der berechneten Klimafaktoren zeigt, dass 50 % der Bilanzgebiete einen Klimafaktor $> 0,84$ aufweisen. Das Grundwasserdargebot reduziert sich in diesen Bilanzgebieten um maximal 16 % im Vergleich zum Referenzzustand 1986 bis 2015. In 75 % der Bilanzgebiete ist von einem Rückgang des verfügbaren Grundwasserdargebotes um bis 23 % auszugehen. In 25 % der Bilanzgebiete liegt der Klimafaktor bei $< 0,77$. Der kleinste Klimafaktor und damit die höchste Reduzierung des Grundwasserdargebotes wurde mit 0,41 für das BG Mittlere Spree III Lübben – Leibsch (BG 5813) ermittelt. Hier reduziert sich das verfügbare Wasserdargebot nach dem Klimaszenario um mehr als 50 %.

Für das Land Brandenburg stehen laut Klimaszenario zukünftig etwa 3 Milliarden m^3

als sich erneuerndes Grundwasserdargebot pro Jahr zur Verfügung. Betrachtet man daraus das verfügbare Grundwasser für die Bilanzgebiete ergibt sich aus dem natürlichen Grundwasserdargebot unter Berücksichtigung unter anderem der Grundwasserentnahmen eine Menge von rund 1,3 Milliarden m^3 /Jahr. Im Vergleich zum derzeitigen natürlichen Grundwasserdargebot stellt sich eine erhebliche Reduzierung der verfügbaren Mengen an Grundwasser heraus.

Die Ergebnisse des Klimaszenarios 2031 bis 2060 für die Bilanzgebiete zeigen, dass der Anteil des Auslastungsgrades (Abbildung 18) vom natürlichen Grundwasserdargebot steigen wird.

Der Anteil von Bilanzgebieten mit einem Auslastungsgrad < 10 % reduziert sich von 19 auf 13 Bilanzgebiete (Rückgang von 26 % auf 18 %). Der Anteil der Bilanzgebiete mit einem Auslastungsgrad zwischen 10 % und 25 % reduziert sich auf 26 %. Der Anteil der Bilanzgebiete mit einem Auslastungsgrad zwischen 25 % und 50 % liegt prognostisch bei 19 Gebieten. Der Anteil verringert sich im Vergleich zum derzeitigen Zustand geringfügig-

gig (aktuell 22 Bilanzgebiete). Im Gegensatz dazu ist eine deutliche Erhöhung von zehn auf 15 Bilanzgebiete mit einem Auslastungsgrad zwischen 50 % und 75 % festzustellen. Das entspricht einer Erhöhung des Anteils um 6 %. Insgesamt sind für die Klimaszenarien drei Bilanzgebiete mit einem Auslastungsgrad zwischen 75 % bis 100 % festzustellen.

Im aktuellen Zustand weist keines der Bilanzgebiete diesen Auslastungsgrad auf. Eine Übernutzung des Grundwasserdargebotes erfolgt für das Klimaszenario in insgesamt acht Bilanzgebieten (derzeit sieben BG). In Auswertung dieser Betrachtung wird deutlich, dass eine Verschiebung zu einem höheren Auslastungsgrad des verfügbaren Grundwasserdargebotes zu erwarten ist, sofern die berechneten Klimaszenarien eintreten sollten.

Weitere Auswertung zur Betrachtung der Klimaszenarien sind noch durchzuführen und lagen jedoch zum Redaktionsschluss des Berichtes noch nicht vor.

3.5 Steckbriefe

Zur fachlichen Übersicht ist für jedes Bilanzgebiet ein Steckbrief erarbeitet worden. Hier fließen sämtliche Eingangsdaten und alle Ergebnisse der durchgeführten Bilanzierung (Abbildung 19) ein. Darin sind die wesentlichen Informationen für die einzelnen Bilanzgebiete zusammengefasst. Folgende Inhalte sind im Steckbrief enthalten:

- Abbildung des Bilanzgebietes
- Gesamtwasserbilanz
 - MQ des Bilanzpegels
 - Theoretischer Abfluss am Bilanzpegel
 - Gütekriterium
 - Gesamtwasserressource
- Grundwasserbilanz
 - Grundwasserdargebot
 - Nicht nutzbares Grundwasserdargebot
 - Grundwasserentnahmen/Anteil Uferfiltrat – künstliche Anreicherung
 - Verfügbares Grundwasserdargebot
 - Auslastung Grundwasserdargebot
- Bemerkungen zur aufgestellten Bilanz
- Trendstatistik der Landesmessstellen mit Auswertung des Trends nach GRIMM-STRELE
- Grafische Darstellung des Auslastungsgrades

Abb. 19

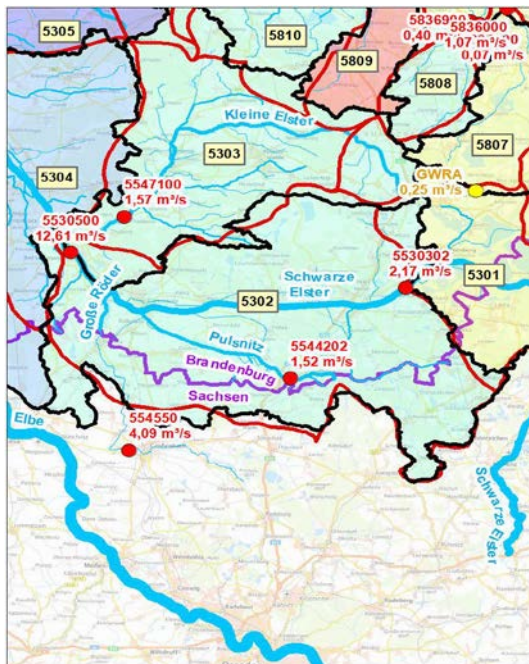
Beispiel eines Steckbriefes für ein Bilanzgebiet



Grundwasserbilanzierung Land Brandenburg 2020



Bilanzgebiet : **Schwarze Elster II**
 ID: 5302 Bilanzpegel: 5530500
 Größe: 1.142 km²



Gesamtwasserbilanz:

MQ Bilanzpegel (MQ): 1.089.081 m³/d
 Theoretischer Abfluss Bilanzpegel (QOW) 1.075.292 m³/d
 Gütekriterium (GK): 99%
 Gesamtwasserressource (Qverf.): 779.214 m³/d

Grundwasserbilanz:

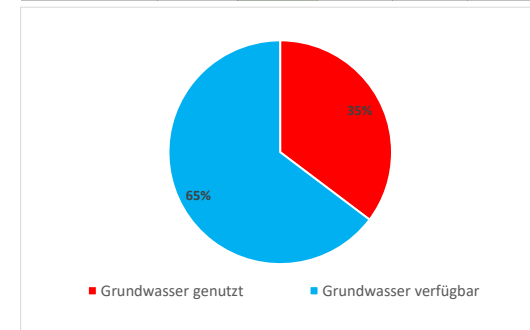
Grundwasserdargebot (GWD): 433.048 m³/d
 Nicht nutzbares Grundwasserdargebot (GWDnn): 20.191 m³/d
 Grundwasserentnahmen (EGW): 132.661 m³/d
 davon:
 Uferfiltrat (UFOW): 0 m³/d
 Grundwasseranreicherung (GWA): 0 m³/d
 Grundwasser verfügbar (GWverf.): 280.196 m³/d
 3,24 m³/s
 Auslastung Grundwasserdargebot 35%

Bemerkungen:

Die Bilanz ist ausgeglichen.

Trendstatistik für GW-Messstellen im Bilanzgebiet

Grundwassermessstellen					
gesamt	27 Stk				
davon im					
Speisungsgebiet	3 Stk				
Transitgebiet	10 Stk				
Entlastungsgebiet	14 Stk				
GRIMM/STRELE Analyse		Mittel:	Trend: (-1 ... 1)		
gesamt:	0,1	ohne Trend	Anteilig bezogen auf alle GWM:		
Lage innerhalb des Einzugsgebietes:			fallend	ohne Trend	steigend
Speisungsgebiet	-0,5	ohne Trend	4%	7%	0%
Transitgebiet	0,5	ohne Trend	7%	11%	19%
Entlastungsgebiet	0,0	ohne Trend	15%	30%	7%



3.6 WEB-Modul für die Grundwasserbilanzierung

3.6.1 Integration in die Auskunftsplattform Wasser (APW)

Die Ergebnisse der Bilanzierung sollen von den unteren Wasserbehörden der Landkreise als auch von der oberen Wasserbehörde als einheitliche Grundlage für die Grundwasserbilanzierung und die weitere Vergabe und Überprüfung von Wasserrechten herangezogen werden können.

In der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Brandenburg werden bereits die sogenannte Auskunftsplattform Wasser (APW) und das darin integrierte elektronische Wasserbuch (eWaBu) genutzt.

Es ist geplant, die bestehende APW als Grundlage zu verwenden und um das Modul Grundwasserbilanzierung zu erweitern. Bereits vorhandene, zentrale Systembausteine wie Infrastruktur, Nutzer- und Rechteverwaltung oder Datenstrukturen werden übernommen.

3.6.2 Benutzeroberfläche des Grundwasserbilanzierungsmoduls

Das aus der APW heraus startende Modul zur Grundwasserbilanzierung (Abbildung 20) soll zum Abruf der Ergebnisse der durchgeführten Bilanzierung und damit als Grundlage für die Vergabe weiterer Wasserrechte dienen. Die vorgeschlagene Benutzeroberfläche des Moduls besteht im Wesentlichen aus drei Teilbereichen und lehnt sich an die Dreigliederung des Steckbriefes an:

Kartenansicht: Der Teilbereich der Kartenansicht verhält sich dabei wie eine typische Web-GIS-Anwendung. Verschiedene Hintergrundkarten sowie die fachspezifischen GIS-Themen (unter anderem Bilanzgebiete,

unterirdische Einzugsgebiete, Grundwasser/Oberflächenwasser-Nutzungen, Messstellen) können an- und ausgeschaltet werden. Der Kartenausschnitt kann verschoben und vergrößert werden. Beim Start der Anwendung zeigt der Kartenausschnitt das Land Brandenburg beziehungsweise alle Bilanzgebiete in einer kleinmaßstäbigen Übersicht.

Steckbriefe: Über den Kartenausschnitt oder über das Auswahlfeld wird ein zu betrachtendes Bilanzgebiet ausgewählt. Durch die Auswahl erfolgt die Abfrage der Bilanzgrößen des Gebietes aus der aktuell gültigen Bilanztabelle und die entsprechenden Felder (mittlerer Teil der Benutzeroberfläche) werden gefüllt. Neben grundlegenden Informationen zum Bilanzgebiet (ID, Name, Fläche) sind dies die Ergebnisse der Bilanzierung bei mittleren Verhältnissen sowie das Klimaszenario 2031 bis 2060. Über eine PDF-Exportfunktion kann ein aktueller Steckbrief zum Bilanzgebiet generiert werden. Die Form des exportierten Steckbriefes entspricht den in diesem Projekt erarbeiteten Steckbriefen (Abbildung 19).

Prüfwerkzeug: Im rechten Teilbereich der Benutzeroberfläche steht dem Anwender demnächst ein Werkzeug zur Prüfung bei der Neuvergabe von Wasserrechten zur Verfügung. Über eine Eingabetabelle oder gegebenenfalls einen Eingabedialog können beliebige, zusätzliche Entnahmen definiert werden.

Das Speichern, Einladen und Bearbeiten der Eingabetabellen wird möglich sein. Nach der Eingabe werden die definierten Mengen summiert und unter Berücksichtigung dieser erfolgt die Neuberechnung der Bilanzgrößen (verfügbares Grundwasserdargebot und Auslastungsgrad). Analog zum Steckbrief greift das Prüfwerkzeug dabei auf die aktuell gültige Grundwasserbilanztabelle zu. Über eine PDF-Exportfunktion können die Ergebnisse

der Neuberechnung (und die durchgeführten Eingaben) zusammengestellt werden.

Das Werkzeug dient ausschließlich der rechnerischen Überprüfung der Auswirkungen zukünftiger Entnahmen auf die Menge des verfügbaren Grundwasserdargebots und dem jeweiligen Auslastungsgrad im Bilanzgebiet. Es ersetzt nicht die einzelfallbezogene Bilanzprüfung anhand des ausgrenzbaren hydraulischen Einzugsgebietes sowie den gemäß § 54 (1) BbgWG durch den Antragsteller zu erbringenden Grundwasser-Vorratsnachweis, welcher auch eine Konfliktanalyse zu vorhandenen Nutzungen und grundwasserabhängigen Feuchtgebieten enthält. Die zuständige Behörde muss die neuen beziehungsweise geänderten Wasserrechte rechtswirksam bescheiden.

Die aus der APW heraus abrufbare Fachanwendung Grundwasserbilanzierung soll zum Abruf der Ergebnisse der durchgeführten Bilanzierung und damit als Grundlage für die Vergabe weiterer Wasserrechte dienen. Veranschaulicht ist die erarbeitete, konzeptionelle Benutzeroberfläche beispielhaft anhand des Bilanzgebietes Nr. 5808 (Göritzer Fließ und Vetschauer Mühlenfließ – Abbildung 20).

Die Beauftragung des WEB-GIS-Moduls ist bereits erfolgt. Unter Berücksichtigung der Testphase, in die mehrere Untere Wasserbehörden involviert sind, wird zum Jahresende 2022 mit der Einsatzfähigkeit des Bilanzierungsmoduls innerhalb der APW gerechnet.

Abb. 20

Konzeptionelle Benutzeroberfläche des Grundwasserbilanzierungsmoduls

Grundwasserbilanzierung Land Brandenburg 2020 □ ×

5808
Göritzer Fließ und Vetschauer Mühlenfließ

Kartenansicht

Zuschaltbar:

- Bilanzgebiete
- Unterirdische EZG
- Entnahmen
- Einleitungen
- Überleitungen
- GW-Dynamik 2015
- GW-Landesmessstellen mit Trend
- Abflussmessstellen LfU/WSA
- wasserabh. NSG/FFH-Gebiete
- Trinkwasserschutzgebiete
- erkundete Vorratsgebiete
- Bereiche mit Salzwasser >0 m NHN
- Bereiche ohne GWL

Bilanzierung

Bilanzgebiet	
ID / Name	5808 / Göritzer Fließ und Vetschauer Mühlenfließ
Fläche	138 km²

Bilanz Mittlere Verhältnisse	
Gesamtwasserdargebot	26.158 m³/d
Grundwasserdargebot	37.206 m³/d
<i>davon nicht nutzbarer Anteil</i>	1.197 m³/d
Grundwassernutzung	262 m³/d
<i>davon Anteil Uferfiltrat / künstliche Anreicherung</i>	0 m³/d
Verfügbares Grundwasser	26.158 m³/d
Auslastung Grundwasserdargebot	30 %

Bilanz Klimaszenario 2031-2060 (KS)	
Gesamtwasserdargebot KS	21.438 m³/d
Grundwasserdargebot KS	32.855 m³/d
Verfügbares Grundwasser KS	21.438 m³/d
Auslastung Grundwasserdargebot KS	35 %

Druck (pdf-Export)

Prüfung Neuvergabe Wasserrechte

Eingabe neue Wasserrechte

Daten laden
Daten bearbeiten
Daten speichern

Fördermenge gesamt 0 m³/a

Neuberechnung Bilanzgrößen

Berechnung

Verfügbares Grundwasser neu	Aktuell	26.158 m³/d
	Klimaszenario 2031-2060	21.438 m³/d
Auslastung Grundwasserdargebot neu	Aktuell	30 %
	Klimaszenario 2031-2060	35 %

Grundwassernutzung mit Berücksichtigung neuer Wasserrechte

Aktuell

Klimaszenario 2031-2060

■ Grundwasser genutzt ■ Grundwasser verfügbar

Druck Neuberechnung (pdf-Export)

4 Entwicklung des Wasserbedarfes

4.1 Bevölkerungsentwicklung in Brandenburg

Die Bevölkerungszahl von Brandenburg ist in den Jahren 1991 und 2020 mit rund 2,5 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern annähernd gleichgeblieben. Im Zeitraum zwischen diesen Jahren schwankte die Bevölkerungszahl jedoch im Umfang von etwa 6 %. Nach dem Erreichen des Höchststands von 2,6 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern durch einen vergleichsweise raschen Anstieg bis zum Jahr 2000 ist die Bevölkerungsanzahl bis 2012 wieder auf 2,45 Millionen gesunken. Seit dem Jahr 2014 steigt sie jedoch wieder relativ konstant an und lag im Jahr 2020 bei 2,53 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern. Eine Besonderheit der Brandenburger Bevölkerung ist ihr vergleichsweise hoher Altersdurchschnitt. Dieser ist in den letzten Jahren auf 47,2 Jahre angestiegen, die zahlenmäßig stärkste Altersgruppe bilden hierbei die 55- bis unter 60-Jährigen (AfS BB 2021).

Zum Vergleich bilden in Berlin die 30- bis unter 35-Jährigen die zahlenmäßig stärkste Altersgruppe. Das Durchschnittsalter liegt dort seit einigen Jahren bei 42,7 Jahren. Des Weiteren ist beim durchschnittlichen Bevölkerungsanstieg in Brandenburg die räumliche Lage zu differenzieren: Hier hat insbesondere der engere Verflechtungsraum („Speckgürtel“) um Berlin starke Zuwächse bei der Bevölkerung zu verzeichnen, während die äußeren Entwicklungsräume Rückgänge aufweisen.

Beispielhaft können auch Städte in der zweiten Reihe (sogenannte Mittelzentren) wie Beelitz, Nauen, Zossen oder Eberswalde aufgrund der Nähe und vergleichsweise guten Anbindung an Berlin perspektivisch ein Wachstum verzeichnen. Für die Zukunft werden für Brandenburg jedoch Bevölkerungsrückgänge von 4,1 bis 5,1 % bis 2040

prognostiziert (destatis 2021; BBSR 2020). Allerdings fällt die Entwicklung für die einzelnen Landkreise und Kommunen sehr unterschiedlich aus.

Bisher haben sich sämtliche Schrumpfungsprognosen zur Brandenburger Bevölkerung nicht im prognostizierten Maße bestätigt. Der destatis-Prognose für BB liegt erneut ein starker Bevölkerungsrückgang zu Grunde (2020 bis 2040: 5,1 %) (destatis 2021). Die BBSR-Prognose sieht dagegen „nur“ einen Rückgang von 4,1 % im gleichen Zeitraum vor (Abbildung 21). Betrachtet man allein die Stadt Potsdam, so hat selbst BBSR die jüngere Entwicklung unterschätzt. Potsdam hat bereits heute über 182.000 Einwohnerinnen und Einwohner. (BBSR 2020)

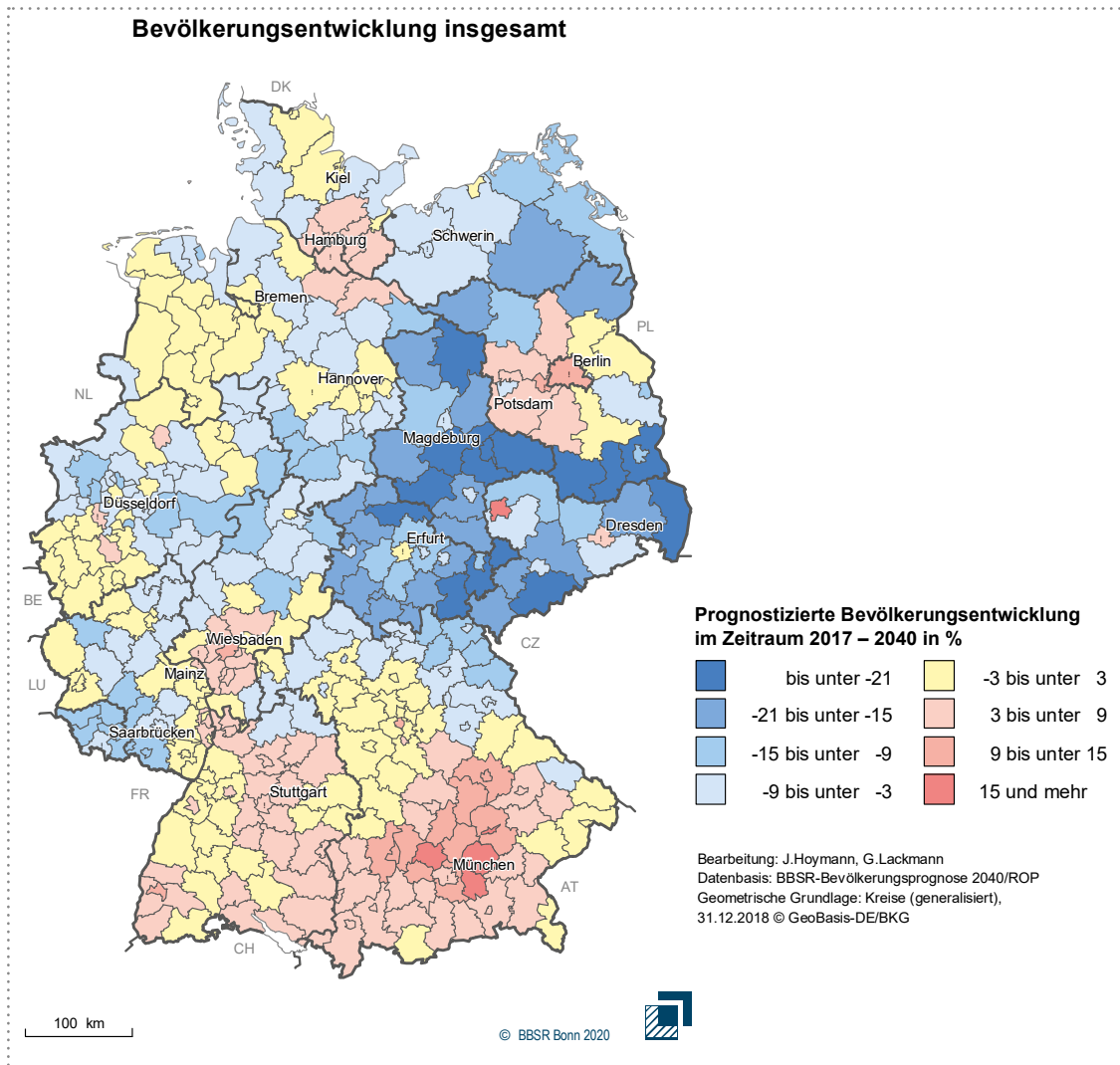
Effekte wie großräumige Industrieansiedlungen oder die Förderkulisse für die Lausitz sind in beiden Prognosen nicht enthalten. Somit kann der prognostizierte Rückgang für den Kreis Oder-Spree (- 6,1 %; BBSR 2020) voraussichtlich abgedeckt werden. Der Berlin-Boom (Zuzug junger Menschen) ist ungebrochen. Dies und die drastisch steigenden Mieten sowie die Wohnraumknappheit wird sich stärker als bisher in einer „Landflucht“ nach Brandenburg niederschlagen. Somit kann im Saldo für das Land Brandenburg mit einem geringeren Schrumpfungsprozess als in den beiden Prognosen gerechnet werden (maximal 3,5 bis 4 %). Die in der BBSR-Studie ausgewiesenen Wachstumswerte für einzelne Teilräume sollten entsprechend als Mindestgröße betrachtet werden.

4.2 Wasserentnahmen seit 1991

Beginnend mit dem Erhebungsjahr 1991 liegen Daten über den Umfang der Wasserentnahmen für Berlin und Brandenburg vor. Sie werden vom Amt für Statistik Berlin-Brandenburg bereitgestellt (siehe <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/wasser>) und in

Abb. 21

Prognostizierte Bevölkerungsentwicklung in Deutschland im Zeitraum 2017 bis 2040



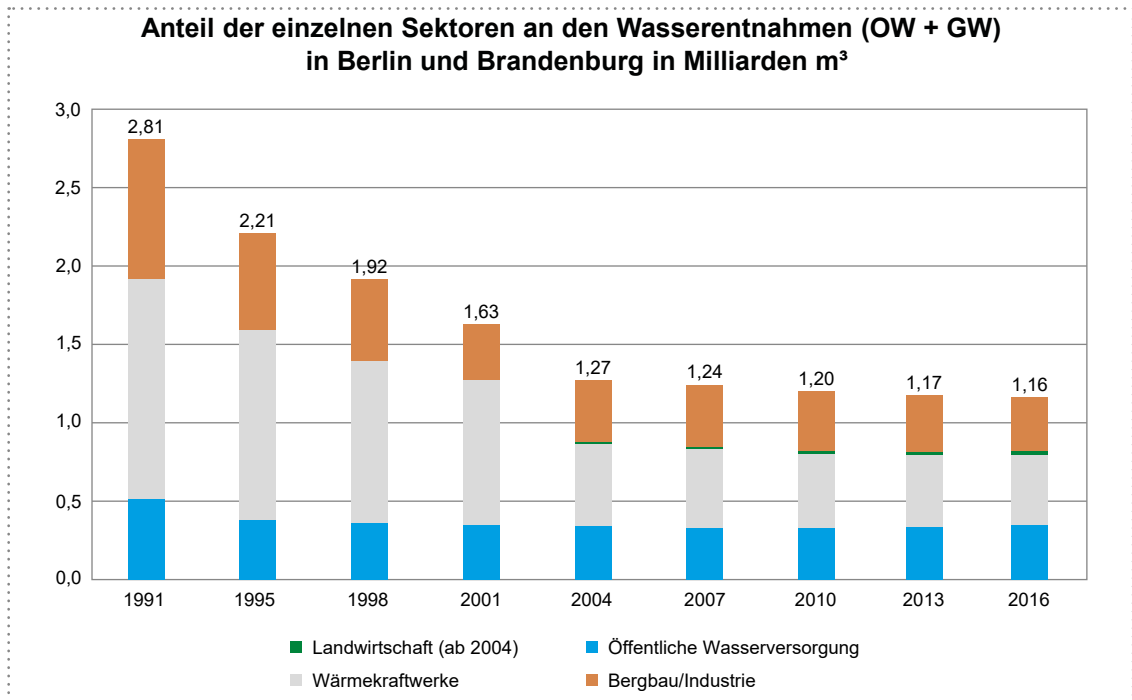
einem dreijährigen Rhythmus erhoben. Die letzte vorliegende Erhebung liegt für das Jahr 2016 vor. Es wird nach folgenden Sektoren differenziert:

- Öffentliche Wasserversorgung
- Land- und Forstwirtschaft, Fischerei
- Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden
- Verarbeitendes Gewerbe
- Energieversorgung
- Übrige Wirtschaftszweige

Um einen Überblick über das Ausmaß der Wassernutzungen zu erhalten, werden in der Abbildung 22 die Wasserentnahmen aus Grundwasser und Oberflächengewässern für Berlin und Brandenburg aufgeführt. Die Summierung der Daten für beide Länder zu Übersichtszwecken ist sinnvoll, da sie einen hydrologischen Gesamttraum bilden. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Entnahmen für Bergbau, Verarbeitendes Gewerbe und übrige Wirtschaftszweige zusammengefasst. Darüber hinaus wurden für die landwirtschaftlichen Wasserentnahmen Daten

Abb. 22

Wasserentnahmen in Berlin und Brandenburg



genutzt, die vom LfU im Rahmen der Erhebung des Wassernutzungsentgeltes ermittelt werden. Diese Daten liegen erst ab 2002 vor und können den Daten der amtlichen Statistik erst ab dem Jahr 2004 gegenübergestellt werden.

Es ist zu erkennen, dass Anfang der 1990er-Jahre die Wasserentnahmen mit circa 2,81 Milliarden m³ Spitzenwerte erreichten. Danach war bis etwa 2004 ein starker Rückgang auf circa 1,3 Milliarden m³ zu verzeichnen, und seitdem stagniert der Umfang der Wasserentnahmen. Insbesondere die Sektoren Energieversorgung (Wärmekraftwerke) und Bergbau/Industrie entnahmen weniger Wasser als noch in den 1990er-Jahren. Aber auch bei der öffentlichen Wasserversorgung gingen die Wassernutzungen stark zurück, wie man auch in der Abbildung 23 am Wasserverbrauch pro Einwohnerin oder Einwohner und Tag erkennen kann.

Ab Anfang der 1990er-Jahre ging der Wasserverbrauch pro Einwohner stark zurück und erreichte im Jahr 2007 sein bisheriges Minimum. Seitdem steigt der Wasserverbrauch pro Einwohner wieder und es ist ein Angleichen des Verbrauchsverhalten von Berlinerinnen und Berlinern und Brandenburgerinnen und Brandenburgern zu erkennen.

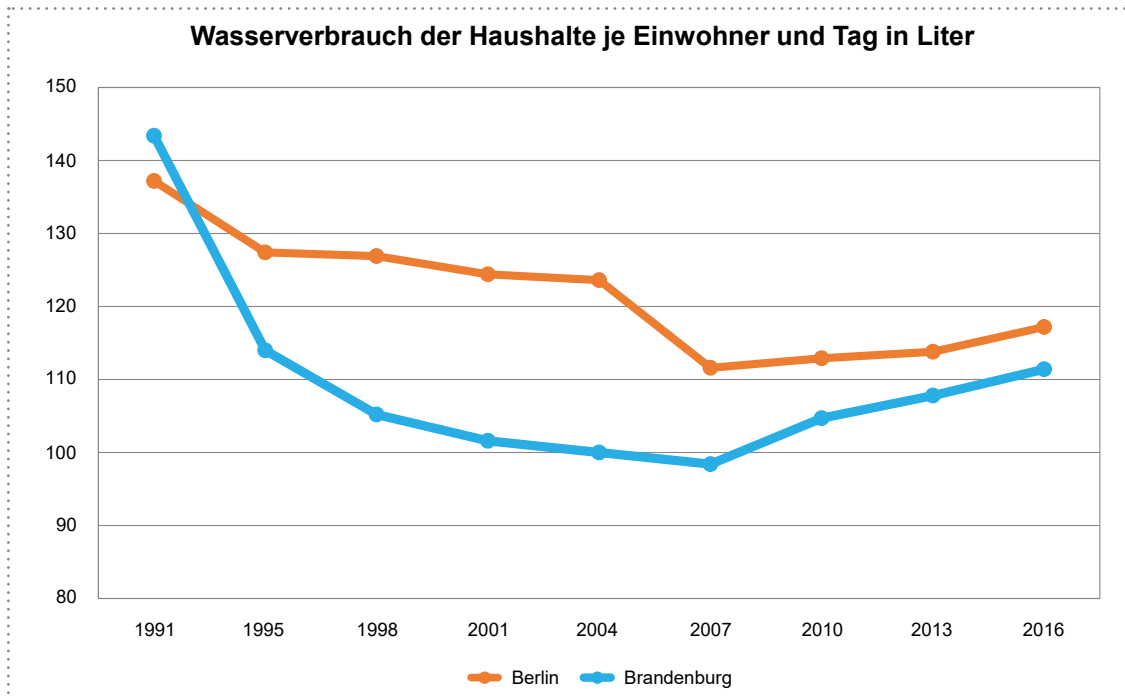
4.3 Zukünftiger Wasserbedarf

Um abzuschätzen, mit welcher Situation im Grundwasserhaushalt gerechnet werden muss, ist neben einem Ausblick auf die klimatische Entwicklung auch eine Prognose des zukünftigen Wasserbedarfs vorzunehmen. Die wesentlichen Grundwassernutzer sind

- Braunkohlenbergbau,
- Industrie,
- Landwirtschaft,
- Trinkwasserversorgung.

Abb. 23

Wasserverbrauch pro Einwohnerin oder Einwohner und Tag in Berlin und Brandenburg



Nach gegenwärtigem Stand wird die Braunkohleverstromung spätestens zum Ende der 2030er-Jahre in Brandenburg eingestellt. Danach werden voraussichtlich auch die Entnahmen für die Grundwasserabsenkungen auslaufen. Wann die Entnahmen eingestellt werden, hängt unter anderem vom Sanierungsfortschritt ab. Bis zur Herstellung eines sich selbst regulierenden Wasserhaushalts müssen zur Deckung ökologisch begründeter Mindestabflüsse weiterhin Wasserhebungen zur Einspeisung in die Vorflut erfolgen. Die Grundwasserentnahmen des Braunkohlenbergbaus können damit vergleichsweise verlässlich für eine Bewirtschaftungsperiode 2031 bis 2060 abgeschätzt werden.

Anders ist die Situation bei industriellen Grundwasserentnahmen. Am Beispiel TESLA hat sich gezeigt, dass hier sehr kurzfristig lokal hohe Wasserbedarfe auftreten können. Eine Prognose über zukünftige neue

Grundwasserentnahmemengen ist daher mit hohen Unsicherheitsfaktoren verbunden.

Ähnlich verhält es sich bei der Landwirtschaft. Hier führen betriebswirtschaftliche Entscheidungen der Landwirte sowie schwer abschätzbare Entwicklungen in der zukünftigen Gemeinsamen Agrarpolitik der EU zu einer hohen Prognoseunsicherheit. Darüber hinaus kann erwartet werden, dass sich bei einer durch den Klimawandel bedingten Änderung der Niederschlagsmengen zukünftig ein veränderter Wasserbedarf der Landwirtschaft ergeben wird.

Die im Hinblick auf das Wohl der Allgemeinheit grundsätzlich wichtigste Grundwassernutzung erfolgt für die Trinkwasserversorgung. Dies spiegelt sich auch im BbgWG wider, da gemäß § 54 Absatz 2 bei der Benutzung von Grundwasser, das für die derzeit bestehende oder künftige öffentliche Wasserversorgung besonders geeignet ist, die

öffentliche Versorgung Vorrang vor anderen Nutzungen genießt.

Anhand von Bevölkerungsprognosen können Abschätzungen des zukünftigen Trinkwasserbedarfs getroffen werden. Allerdings sind auch hier Unsicherheiten bei zukünftigen Entwicklungen zu berücksichtigen, wie es in Kapitel 4.1 dargestellt wurde. Ging man bis vor einigen Jahren noch von einer sinkenden Bevölkerungszahl in Berlin mit zurückgehenden Wasserverbrauchsmengen aus, so zeigte sich in den vergangenen Jahren wieder ein Anstieg mit zunehmendem Wasserbedarf, auch im Berliner Umland.

Neben den anthropogenen Wassernutzungen muss auch der Wasserbedarf von Natur und Landschaft berücksichtigt werden. Beispielhaft seien hier die Natura-2000-Gebiete und die grundwasserabhängigen Oberflächengewässer- und Landökosysteme nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie genannt. Angaben zu Mindestabflüssen in berichtspflichtigen natürlichen und erheblich veränderten Fließgewässern veröffentlicht das LfU in seinen Informationen zur ökologisch begründeten Mindestwasserführung.

Es ist geplant, eine Wasserbedarfsprognose für den Zeitraum 2031 bis 2060 zu erstellen. Im Rahmen der Fortschreibung der Wasserversorgungsplanung soll der Fokus auf die Entnahme für die öffentliche Wasserversorgung gelegt werden. Diese steht prioritär vor anderen Nutzungen und dient zur Definition einer Basiswasserentnahmemenge, die durchgängig abgesichert werden muss. Sofern belastbare Informationen über weitere zukünftige Wassernutzungen vorliegen, zum Beispiel von besonders wasserintensiven Gewerbenutzungen, sind diese einzu beziehen. Eine grobe Übersicht über künftige Trinkwasserentnahmen könnte über eine Berechnung aus den Daten der Bevölkerungsprognosen des LBV und vorliegender Was-

serverbrauchsmengen gewonnen werden. Eine Konkretisierung der Wasserbedarfsprognose erfordert die Einbeziehung der Wasserversorgungsunternehmen, da diese für ihr Versorgungsgebiet über Informationen verfügen, die detailliertere Ergebnisse erwarten lassen. Die Einbindung der Wasserversorgungsunternehmen wird Gegenstand künftiger Planungen sein.

5.1 Entwicklung der klimatischen Situation in Brandenburg

5.1.1 Messdaten

Die Beobachtungen für die 30-Jahres-Zeiträume 1971 bis 2000 und 1991 bis 2020 bestehen aus Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (REGNIE, DWD 2020) und aus den E-OBS-Daten in der Version v23.1e des ECA&D-Projektes (Cornes et al. 2018).

5.1.2 Das Brandenburgische Klimaprojektionsensemble

Das Brandenburgische Klimaprojektionsensemble beinhaltet 16 regionale Klimaprojektionen, die für die Region Brandenburg/Berlin qualitätsgeprüft wurden (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2020; Linke et al. 2020; Struve et al. 2020). Es setzt sich aus einer Kombination von globalen und regionalen Modellen zusammen. Diese Projektionen geben die regionale Verteilung und Saisonalität des Niederschlags im Vergangenheitslauf im Vergleich zu Messwerten für Brandenburg hinreichend genau wieder. Als Zeitraum für die Zukunftsbetrachtung wurde 2031 bis 2060 gewählt, was einen mittleren Planungshorizont darstellt.

Für die Projektionen wurde das Szenario RCP8.5 „ohne Klimaschutz“ verwendet, welches in der Vergangenheit in etwa dem globalen Treibhausgasausstoß folgt. Zusätzlich kommt es bis Mitte des Jahrhunderts dem business as usual, aber auch den Plänen bisheriger Klimapolitik (business as intended), in Bezug auf kumulative anthropogene Treibhausgasemissionen am nächsten (Schwalm et al. 2020). Außerdem ist bis Mitte des Jahrhunderts die Wahl des Emissionsszenarios zweitrangig, da die Ergebnisspanne des Klimaprojektionsensembles im Vergleich zu den verschiedenen Szenarien groß ist und deutliche Unterschiede zwischen den Sze-

narien erst bis Ende des Jahrhunderts zum Tragen kommen.

5.1.3 Rezente und zukünftige Klima-veränderungen

Temperatur

In Brandenburg zeichnet sich bereits jetzt eine Veränderung der klimatischen Situation ab. So ist die mittlere Jahrestemperatur im Zeitraum 1991 bis 2020 im Vergleich zur Referenzperiode 1971 bis 2000 schon um 0,7 K gestiegen. Dieser Anstieg liegt außerhalb der Schwankungsbreite des Referenzzeitraums und kann so als tatsächliche Klimaänderung interpretiert werden. Am deutlichsten macht sich diese Erwärmung mit 0,9 K in den Sommermonaten Juni bis August bemerkbar. Auch die Anzahl der Hitzetage (Tage mit einer Maximaltemperatur über 30 °C) ist im Schnitt um 4,2 Tage angestiegen (Datenbasis: Cornes et al. 2018). Zur Mitte des Jahrhunderts (2031 bis 2060) wird diese Entwicklung den Projektionen des Brandenburgischen Klimaprojektionsensembles zufolge (LfU 2021) noch deutlicher.

Im Median der Klimaprojektionen steigt demnach die durchschnittliche Jahrestemperatur bis Mitte des Jahrhunderts in Brandenburg um 1,9 K (+ 1,3 K bis + 2,8 K). Während die Anzahl der Hitzetage um 9 Tage (+ 4 bis + 23 Tage) wächst, sinkt die Zahl der Eistage (Maximale Temperatur unter 0 °C) um 12 Tage (- 17 bis - 5,3 Tage).

Niederschlag

Beim Niederschlagsgeschehen sind noch keine so klaren Veränderungen wie bei der Temperatur erkennbar. Im Durchschnitt stieg der Jahresniederschlag in der Periode 1991 bis 2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum um 5 %, was aber keine signifikante Veränderung darstellt. Während sich

die Niederschlagsmenge im Winterhalbjahr (November bis April) kaum verändert hat, ist sie im hydrologischen Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) signifikant um 10 % gestiegen. Dieser Anstieg wird noch deutlicher in der späten Vegetationsperiode (Juli bis September) mit einem Anstieg von 17 %. In der für das Pflanzenwachstum so wichtigen frühen Vegetationsperiode (April bis Juni) lässt sich jedoch ein nicht signifikanter Rückgang um 7 % erkennen. Ein über die natürliche Variabilität des Klimas hinausgehender Anstieg an Starkregentagen (mit Niederschlagsmengen über 30 mm) pro Jahr lässt sich für die Periode 1991 bis 2020 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000 nicht feststellen. Ein signifikanter Anstieg des maximalen Tagesniederschlags ist ebenfalls noch nicht erkennbar, obgleich hier vor allem im Herbst und im Winter ein Trend zu steigenden maximalen Tagesniederschlägen erkennbar ist (Datenbasis: Cornes et al. 2018, DWD 2020).

Während alle Modelle des Brandenburgischen Klimaprojektionsensembles bei der Temperatur ein relativ klares Bild zeichnen, sind die Ergebnisse für die Niederschlagsentwicklung für die Mitte des Jahrhunderts (2031 bis 2060) nicht so eindeutig. So zeigt sich für alle Niederschlags-Kennwerte eine breite Spanne der Modellergebnisse, von einem deutlichen Rückgang bis hin zu einem deutlichen Anstieg der Niederschlagsmengen. Für den Jahresniederschlag reicht diese Spannbreite von einem Rückgang um 8 % bis hin zu einem Anstieg um 18 %. Der mittlere Wert liegt hier bei + 4 %, was aber noch innerhalb der natürlichen Niederschlagsvariabilität liegt. Modellergebnisse, die im Mittel außerhalb der Variabilität des Referenzzeitraums liegen, gibt es für den Niederschlag im hydrologischen Winter (Anstieg von 10 %) und für den Frühlingsniederschlag (Anstieg von 12 %).

Betrachtet man das für die Berechnung des Klimawandelabschlags verwendete 15. Perzentil der Ergebnisse der 16 Klimaprojektionen (siehe Kapitel 5.3.), sinkt der Niederschlag bis Mitte des Jahrhunderts im Jahresmittel um 2 %. Der Rückgang im Sommer beträgt demnach sogar 9 % (Tabelle 2: Kennwerte).

Auch die Anzahl der Starkniederschlagstage und die maximale Tagesniederschlagsmenge zeigen zur Mitte des Jahrhunderts im Median des Projektionsensembles einen steigenden Trend, der aber noch innerhalb der Variabilität des Referenzzeitraums liegt. Einige Projektionen zeigen jedoch einen klaren Anstieg und eine Intensivierung der Starkniederschlagsereignisse. Für die Anzahl der Trockenperioden (mehr als sieben Tage ohne Niederschlag) lässt sich im Mittel der Modelle noch keine deutliche Veränderung erkennen, wobei auch hier einige Modelle auf einen klaren Anstieg hinweisen.

Allerdings wird eine Umverteilung des Niederschlags mit intensiveren Niederschlagsereignissen, vermehrt konvektiven Starkniederschlägen und verlängerten Trockenperioden erwartet, die in den letzten Jahren bereits teilweise erkennbar war. Die Wahrscheinlichkeit von Extremjahren nimmt zu. Diese Veränderungen des Niederschlags werden durch langjährige Saisonmittelwerte nicht abgebildet. Starkniederschlagsereignisse treten in der Regel sehr kleinräumig und zeitlich begrenzt auf, daher ist die Abbildung von solchen Ereignissen sowohl in Mess- als auch Modelldaten oft ungenau.

Verdunstung

Die Potentielle Verdunstung (Gras-Referenzverdunstung) ist in der 30-Jahres-Periode 1991 bis 2020 im Jahresmittel signifikant um 5 % gestiegen. Auch für die einzelnen Jahreszeiten liegt der Anstieg außerhalb der

Tab. 2

Veränderung der klimatischen Kennwerte in der Vergangenheit und im Emissionsszenario RCP8.5 „ohne Klimaschutz“ für den Zeitraum 2031 bis 2060

Kennwert	Vergangenheit (gemessen)				Jüngere Vergangenheit (modelliert) Änderung 1991–2020 zu 1971–2000					Mitte des Jahrhunderts Änderung 2031–2060 zu 1971–2000				
	1991–2000 zu 1971–2000				Spanne der Simulationen					Spanne der Simulationen				
	1961–1990 30-jähriger Ø	1971–2000 30-jähriger Ø	1991–2020 30-jähriger Ø	1971–2000 Änderung	Median	Min	Max	15.	85.	Median	Min	Max	15.	85.
Gras-Referenzverdunstung ET ₀ im Jahr ¹	611 mm	618 mm	651 mm	5%	1%	-2%	6%	0%	4%	4%	0%	19%	1%	13%
Verdunstung ET ₀ hyd. Winter (Nov.–Apr.) ²	138 mm	142 mm	154 mm	8%	1%	-2%	7%	0%	5%	4%	0%	15%	1%	10%
Verdunstung ET ₀ hyd. Sommer (Mai–Okt.)	472 mm	476 mm	497 mm	4%	1%	-2%	6%	0%	5%	4%	-1%	21%	1%	14%
Jahresniederschlag ¹	558 mm	552 mm	581 mm	5%	1%	-5%	8%	-3%	5%	4%	-8%	18%	-2%	12%
Niederschlag hyd. Winter (Nov.–Apr.) ²	247 mm	246 mm	246 mm	0%	1%	-4%	9%	-2%	6%	10%	-3%	20%	2%	16%
Niederschlag hyd. Sommer (Mai–Okt.)	312 mm	308 mm	337 mm	10%	-1%	-9%	12%	-5%	6%	0%	-15%	21%	-9%	10%

¹⁾ Rundungen und der Berechnungszeitraum über einen Jahreswechsel hinweg (siehe 2) können dazu führen, dass der Jahreswert von der Summe der einzelnen Jahresabschnitte abweicht.

²⁾ Bei Kennwerten, die über einen Jahreswechsel berechnet werden, beginnt der Berechnungszeitraum bereits im Vorjahr des angegebenen Zeitraums.

Datenbasis: Beobachtungen (gemessen): Deutscher Wetterdienst (REGNIE unkorrigiert) und E-OBS Daten v23.1e (www.ecad.eu/download/ensembles/download.php)
Klimasimulationen (modelliert): Auswertung des Brandenburgischen Klimaprojektionsensembles

Fett gedruckt: Abweichungen vom Referenzzeitraum, die als Änderung des Klimas interpretiert werden.

Sie liegen außerhalb des Schwankungsbereichs (95% Konfidenzintervall) des 30-jährigen Mittelwertes 1971–2000.

Blau hinterlegt: verwendete Perzentile für die Berechnung des Grundwasserabschlags

natürlichen Klimavariabilität. Der höchste Anstieg mit 8 % ist dabei im hydrologischen Winterhalbjahr (November bis April) zu verzeichnen (Datenbasis: Cornes et al. 2018, DWD 2020).

Auch bis zur Mitte des Jahrhunderts (2031 bis 2060) zeigen sich deutliche Veränderungen. Zwar liefern die Modelle hier auch eine relative breite Spanne an Ergebnissen, jedoch ist im Mittel ein signifikanter Anstieg zu erkennen. Für das Jahr steigt die Verdunstung demnach im Mittel der Modelle um 4 %, wobei der höchste Anstieg im Herbst (+ 7 %) und der niedrigste im Frühjahr (+ 2 %) zu verzeichnen ist. Das für die Berechnung des Klimawandelabschlags angesetzte 85. Perzentil der Ergebnisse des Brandenburgischen Klimaprojektionsensembles zeigt sogar einen Anstieg der Verdunstung übers Jahr um 13 %. Dieser Anstieg fällt im hydrologischen Sommerhalbjahr mit + 14 % besonders stark aus, ist aber auch im Winterhalbjahr mit + 10 % noch signifikant (außerhalb der Schwankungen des Referenzzeitraums) (Tabelle 2: Kennwerte).

5.2 Auswirkung auf das Grundwasserangebot

5.2.1 Potentielle Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasserangebot

Die Grundwasserneubildung wird gemäß DIN 4049-3 (1994) als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“ definiert und ist ein wichtiges Maß für die natürliche Regenerationsfähigkeit der Grundwasserressourcen. Zur Grundwasserneubildung trägt großräumig vor allem aus Niederschlag gebildetes Sickerwasser bei. Als Restgröße der Wasserbilanz stellt die Grundwasserneubildung (GWN) den um die tatsächliche Evapotranspiration (ET) und schnelle Ab-

flusskomponenten (QD) reduzierten Anteil der Niederschlagshöhe (RR) dar:

$$\text{GWN} = \text{RR} - \text{ET} - \text{QD}$$

Alle Gleichungselemente sind direkt oder indirekt variierende Größen der klimatischen Änderung beziehungsweise der Ausprägung von Wetterereignissen. Somit kann von einer starken Abhängigkeit der Grundwasserneubildung von klimatischen Veränderungen ausgegangen werden. Zum Grundwasserangebot kann neben der Grundwasserneubildung aus Niederschlag auch der Zustrom von Uferfiltrat oder Grundwasser aus angekoppelten Grundwasserleitern beitragen. Diese unterliegen aber in der Regel regionalen und topografischen Besonderheiten und werden nicht oder kaum von Klimaveränderungen beeinflusst. Deshalb wird im Folgenden nur auf die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung eingegangen.

Niederschlag und schnelle Abflusskomponente

Für die Region Brandenburg-Berlin ist gemäß den Projektionen des Brandenburgischen Klimaprojektionsensembles keine signifikante Änderung der Jahresniederschlagsmenge in diesem Betrachtungszeitraum zu erwarten. Die Projektionsergebnisse reichen von deutlichen Abnahmen bis zu deutlichen Zunahmen. Allerdings wird eine Intensivierung der Niederschlagsereignisse und eine Verschiebung der Niederschläge ins Winterhalbjahr erwartet. Außerdem kann man aufgrund der steigenden Temperaturen vor allem im Winterhalbjahr von einer Verringerung des Schneefalls ausgehen. Verschiedene Arbeiten zeigen, dass häufigere Starkniederschlagsereignisse mit steigenden Niederschlagsmengen pro Ereignis und eine Veränderung des Winterniederschlags von Schnee zu Regen zu einer Erhöhung

des oberflächlichen Abflusses führen werden (Mossbrugger et al. 2014).

Diese Intensivierung des Niederschlags wird aber von 30-jährigen Betrachtungszeiträumen, wie sie in der Klimamodellierung üblich sind, kaum abgebildet. Die Aussage, das Niederschlagsdargebot ändere sich im Jahresmittel nur unwesentlich, kann somit extrem trügerisch sein. Wie die letzten Jahre teilweise gezeigt haben, kann eine im 30-jährigen Mittel konstante Jahresniederschlagsmenge auch bedeuten, dass mehrere sehr trockene Jahre hintereinander, gefolgt von mehreren feuchten Jahren, auftreten können. Die Grundwasserneubildung kann in Extremfällen über mehrere Jahre gegen Null gehen, wenn Defizitjahre sich vermehrt häufen. Kommt es dann in den feuchten Jahren zu intensivierten Niederschlägen mit erhöhten Oberflächenabfluss, ist es möglich, dass die feuchten Jahre die Defizitjahre nicht ausgleichen können.

Evapotranspiration

Die Verdunstung (Evaporation) von vorhandenem Wasser hängt hauptsächlich von folgenden Faktoren ab: Temperatur, Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit. Wesentlicher Treiber ist jedoch die Temperatur. Allerdings wächst die Verdunstungsrate nicht linear mit der Temperatur. Pro 10 °C Erwärmung verdoppelt sich ungefähr der Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre. Die projizierten steigenden Temperaturen und vor allem extreme Temperaturen (Hitzeperiode) erhöhen somit die Evaporation erheblich. Dies spiegelt sich auch in der von den Klimamodellen projizierten Erhöhung der potentiellen Verdunstung (Gras-Referenzverdunstung) für Brandenburg wider.

Auch die Transpiration wird sich zukünftig deutlich erhöhen. Durch die Verlängerung

und Verfrühung der Vegetationsperiode nimmt die vegetationsfreie Zeit drastisch ab. Die aktuellen phänologischen Beobachtungen machen diesen Trend bereits sehr deutlich. So begann die Apfelblüte im rezenten Zeitraum 1991 bis 2020 bereits sieben Tage früher als noch in der Periode 1971 bis 2000. Dieser Trend wird sich bis in die Mitte des Jahrhunderts verfestigen und ausweiten. Man kann deshalb davon ausgehen, dass zukünftig mehr Niederschlagsanteile in Pflanzenwachstum umgesetzt werden.

Die mit der längeren Vegetationsperiode verbundene möglichen Landnutzungsänderung könnten außerdem dazu führen, dass die steigenden Winterniederschläge die Defizite des Sommers nicht ausgleichen können. Die Änderung der Vegetation und des Pflanzenwachstums (bezüglich Dauer und Umfang) sowie der damit einhergehenden Wasserzehrung und Evapotranspiration ist voraussichtlich das sich am stärksten quantitativ ändernde „Gleichungselement“.

Die mit der längeren Vegetationsperiode verbundene erhöhte Evapotranspiration wird bisher in den hydrologischen Wirkmodellen nicht ausreichend berücksichtigt. Um das zukünftige Grundwasserdargebot abschätzen zu können, ist es deshalb wichtig, die hydrologischen Modelle um eine klimadynamische Vegetationskomponente zu erweitern.

Fazit

Im Ergebnis aller Betrachtungen der oben genannten Veränderung kann sich langfristig eine deutliche Minderung der Grundwasserneubildung ergeben. Folgt man dem Vorsorgeprinzip, um eine ausreichende Dimensionierung etwaiger Anpassungsmaßnahmen sicherzustellen (siehe Kapitel 5.3), so kann man von einem Rückgang der klimatischen Wasserbilanz von 15 % über das Jahr ausgehen (siehe Klima-Kennwerte, LfU 2021).

Bedenkt man jedoch einen steigenden Abfluss durch eine Niederschlagsintensivierung und durch einen geringeren Schneeanteil am Niederschlag im Winterhalbjahr, erhöht sich dieser Rückgang in Bezug auf die Grundwasserneubildung. Außerdem steigt die tatsächliche Evapotranspiration durch eine verlängerte Vegetationsperiode vor allem im Frühjahr. Als Arbeitshypothese sollte daher von einem Rückgang der Grundwasserneubildung von mindestens 25 % ausgegangen werden. Dieser Rückgang kann zu einer Vielzahl von negativen Folgen führen. Dieses Fazit kann jedoch keine Entscheidungsbasis sein und sollte durch gekoppelte Modellierung (aus Klimamodell und hydrologischem Modell) unter Berücksichtigung der regionalen Gegebenheiten untersetzt werden.

5.2.2 Studie zu Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt

Um die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Wasserhaushalt und Abflussgeschehen zu modellieren, wurde vom LfU (Referat T14) die „Studie zum Gebietswasserhaushalt und Abflussgeschehen in Brandenburg auf Basis von Klimaprojektionsdaten mittels des Landesmodells ArcEGMO-PSCN“ in Auftrag gegeben.

Die Abschätzung der Klimafolgen ist Voraussetzung, um zielgerichtete und verhältnismäßige Maßnahmen zur Anpassung und Minderung zu entwickeln. Dabei ist die Wirkung klimatischer Veränderungen auf den Gebietswasserhaushalt und das Abflussgeschehen komplex und kann nur durch eine prozessbasierte Modellierung abgeschätzt werden. Die Ermittlung der hydrologischen Kennwerte soll auf Grundlage einer räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Niederschlags-Abfluss-Modellierung erfolgen. Die geplante Studie berücksichtigt aktuelle Entwicklungen im Bereich der Klimamodellierung (CMIP5)

sowie der landesweiten Wasserhaushaltsmodellierung (ArcEGMO-PSCN).

Als Input dienen die aus den Ergebnissen des Brandenburgischen Klimaprojektionsensembles errechneten Klimakenngrößen. Aufbauend auf diesen Ergebnissen und den zugrundeliegenden Daten soll diese Studie die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf den Wasserhaushalt und das Abflussgeschehen im Land Brandenburg analysieren. Außerdem soll das Modell um eine klimadynamische Vegetationskomponente (VEGEN) erweitert werden. Das LfU soll befähigt werden, die zu erwartenden Folgen des Klimawandels in den verschiedenen wasserwirtschaftlichen Bereichen (zum Beispiel Niedrigwassermanagement, Wasserrahmenrichtlinie, mengenmäßige Grundwasserbewirtschaftung, Hochwasser-Schutzmaßnahmen) zu berücksichtigen. Dies erfolgt über die Bereitstellung der zu erwartenden Änderungen beispielsweise der Abflüsse und der Grundwasserneubildung.

5.3 Entwicklung eines Klimawandelabschlags auf das verfügbare Grundwasserdargebot

Zur Entwicklung des Klimawandelabschlags wurden Daten für Grasreferenzverdunstung und Niederschlag aus dem brandenburgischen Klimaprojektionsensemble (LfU 2021) verwendet.

Aus der Ergebnisspanne wurden das 85. Perzentil für die Zunahme der Grasreferenzverdunstung und das 15. Perzentil für die Abnahme des Niederschlags als Eingangswerte zur Entwicklung des Klimawandelabschlags verwendet. Die Wahl des Emissionsszenarios (siehe Kapitel 5.1.2) und der Perzentile folgt dem Vorsorgeprinzip und wurde ebenfalls in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (KWRA 2021; Kahlenborn et al. 2021) ange-

wendet. Dadurch soll eine ausreichende Dimensionierung der Anpassungsmaßnahmen sichergestellt werden. Da hier im Gegensatz zur KWRA 2021 ein qualitätsgeprüftes Klimaprojektionsensemble verwendet wurde, wäre auch die Verwendung der gesamten Ergebnisspanne (Maximum beziehungsweise Minimum) möglich. Jedoch sollten auch die wirtschaftlichen Schäden einer möglichen Überschätzung der Klimaveränderung berücksichtigt werden.

Zunächst wurden im Projekt „Bilanzierung des Grundwasserdargebotes für das Land Brandenburg“ vorläufige Ergebnisse aus einem unvollständigen Klimaprojektionsdatensatz verwendet, da zur Projektlaufzeit noch nicht alle Klimaprojektionen am LfU vorlagen. Die Berechnung wird zu diesem Zeitpunkt noch einmal auf Grundlage des vollständigen Klimaprojektionsensembles für Brandenburg aktualisiert.

Da die Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasserdargebot räumlich und zeitlich komplex sind, sollte die hier verwendete stationäre Methodik zur Entwicklung des Klimawandelabschlags als Näherung betrachtet werden. Die derzeit in Bearbeitung befindliche hochaufgelöste Modellierung des Gebietswasserhaushalts unter Klimawandelbedingungen (siehe Kapitel 5.2) verspricht eine detailliertere, prozessbasierte Datengrundlage. Wenn die Ergebnisse zur Verfügung stehen, ist zu prüfen, ob der Klimawandelabschlag angepasst werden soll.

6 Entwicklung von Bewertungsinstrumenten für extreme Grundwassersituationen

6.1 Bewertung von Grundwasserständen

6.1.1 Langfristige Einordnung aktueller Grundwasserstände (Grundwasserklassifikation)

Im Rahmen der Bearbeitung der Niedrigwasserberichte 2015, 2018–2020 der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE) haben sich die Staaten im Elbeinzugsgebiet auf eine internationale Methodik zur Bestimmung von Perzentilwerten und Farbskalen für die hydrologische Auswertung von Niedrigwasser-/Hochwassersituationen im Grundwasser im Vergleich zu Referenzzeiträumen verständigt.

Die Auswahl des Referenzzeitraumes erfolgt hier sprunghaft nach zehn Jahren (analog zum meteorologischen Auswertintervall, 1981 bis 2010 und 1991 bis 2020). Datengrundlage sind die Einzelwerte der Grundwasserstände der Grundwassermessstellen aus dem Landesmessnetzes in wöchentlicher oder täglicher Auflösung.

Aus den Berechnungsergebnissen werden Grafiken mit Darstellung der Grundwasserklassen generiert:

- Ganglinie der Monatsmittelwerte der Grundwasserstände im Vergleich zu den Klassenwerten der langjährigen Referenzwerte (Abbildung 25)
- Räumliche Darstellung der erreichten Grundwasserklassen (Abbildung 26)
- Häufigkeitsverteilung der Grundwassermessstellen mit den erreichten Grundwasserständen in den gewählten Klassen (Abbildung 27)

Die Ergebnisse der Grundwasserklassen sind Basis für eine räumliche Auswertung der monatlich erreichten Grundwasserklassifikationswerte an ausgewählten Messstellen (Abbildung 24). Da sowohl Auswertungen mit Bezug zum Kalenderjahr als auch zum Hydrologischen Jahr angefordert werden, soll die Möglichkeit einer fallweisen Auswahl zur Verfügung stehen.

Weiterhin ist eine Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Grundwassermessstellen mit Grundwasserständen in den gewählten Grundwasserstandsklassen 1 bis 7 geplant.

Abb. 24 Grundwasserklassifikation nach IKSE

Perzentil	Grundwasserklasse
≤ 5	extremes Niedrigwasser 1
≤ 15	starkes Niedrigwasser 2
≤ 25	Niedrigwasser 3
> 25-75	Normalwerte 4
> 75-85	Hochwasser 5
> 85	starkes Hochwasser 6
> 95	extremes Hochwasser 7

Abb. 25

Ganglinie der Monatsmittelwerte der Grundwasserstände im Vergleich zu den Klassenwerten der langjährigen Referenzwerte

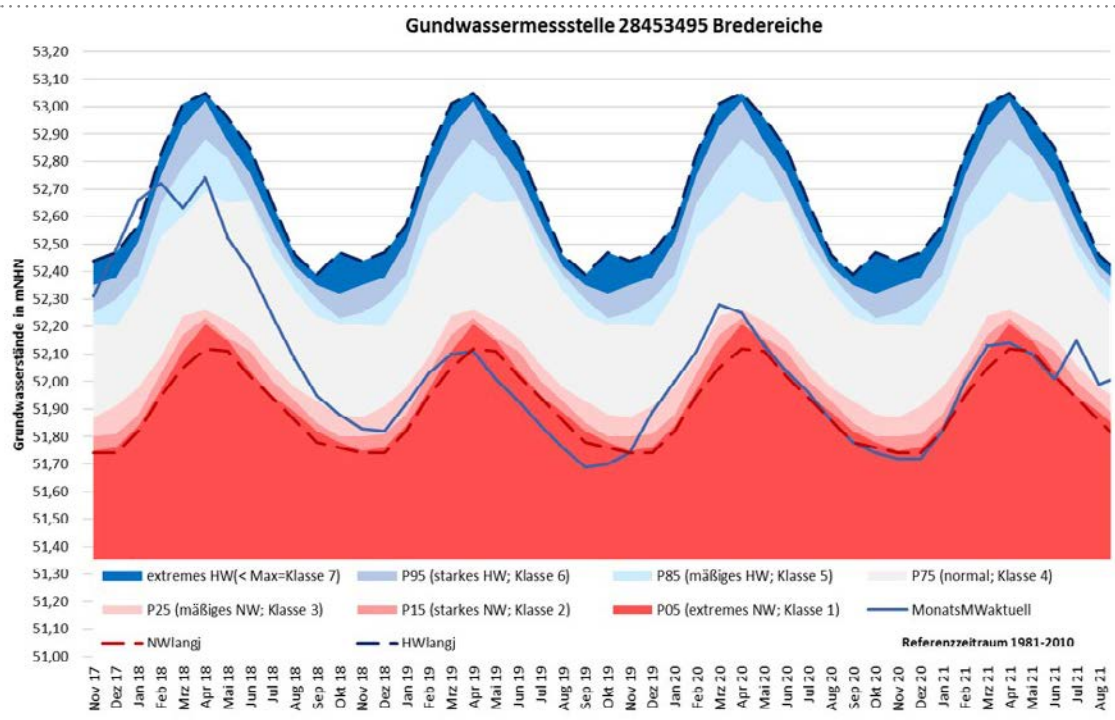


Abb. 26

Räumliche Darstellung der erreichten Grundwasserklassifikation im deutschen Einzugsgebiet der Elbe, Legende nach Abbildung 24

Grundwasserstände **2019** 04/2019 bis 03/2020

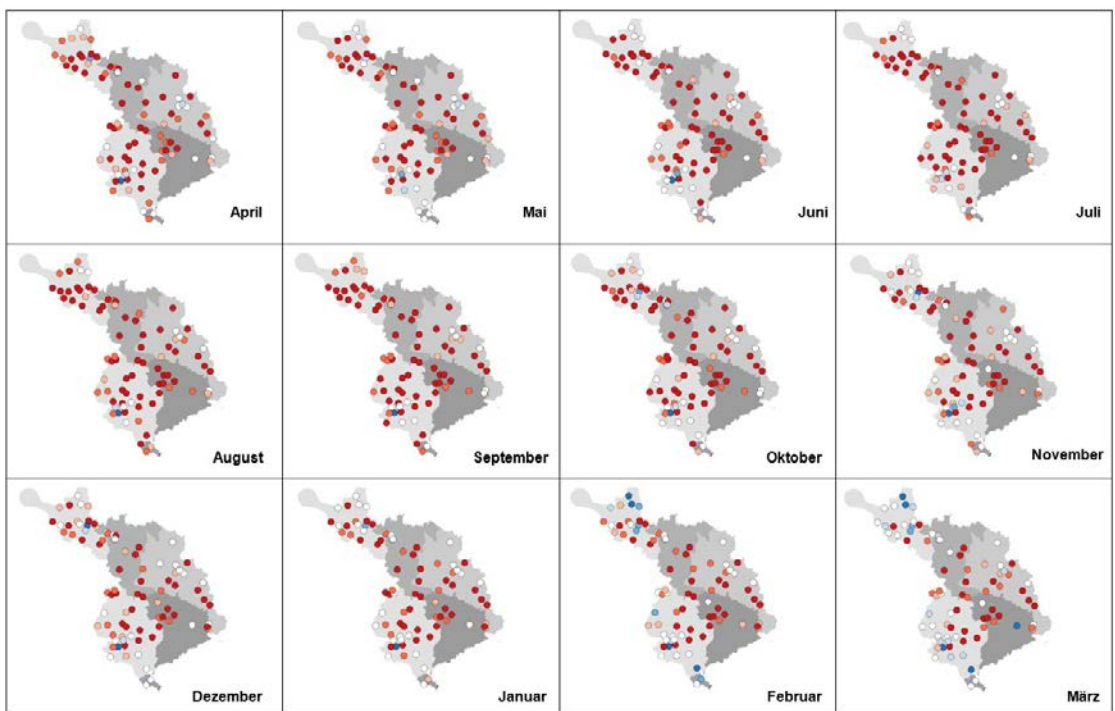
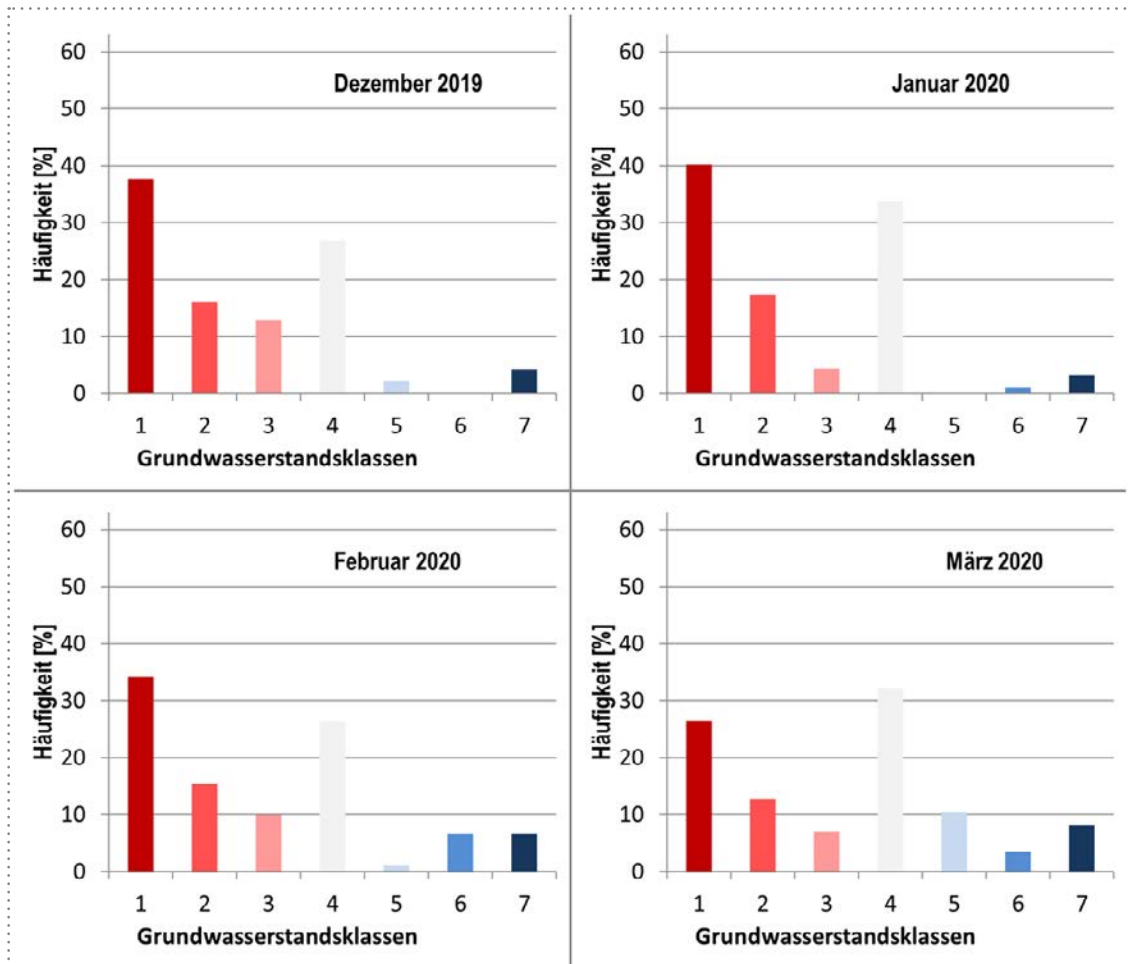


Abb. 27

Häufigkeitsverteilung der Anzahl von Grundwassermessstellen in den gewählten Klassen 1 bis 7 nach Abbildung 24



6.1.2 Auswertung der aktuellen Grundwassertendenzen für die Berichterstattung

Zur Auswertung von Grundwasserständen und deren aktuellen Bewertung zu Grundwasserstandstendenzen sollten vorzugsweise Grundwassermessstellen genutzt werden, die bereits mit Datensammlern mit Datenfernübertragung ausgerüstet sind. Das betrifft aktuell circa 80 % der mit Datensammlern ausgerüsteten 440 Grundwassermessstellen. Die räumliche Darstellung soll in einem ersten Schritt für eine repräsentative Auswahl von circa 140 GWM mit Bezug zu den hydrogeologischen Großeinheiten umgesetzt werden.

Die Beurteilung der aktuellen Grundwasserstandstendenzen erfolgt derzeit in den hydrologischen Wochenberichten mit Bezug zum Vorwochenwert. Bei einem Übergang von Wochen- zu Monatsberichten verschiebt sich der Bezug auf den Vormonatswert. Es werden Klassengrenzen entsprechend Tabelle 3 empfohlen.

Hierfür sind verschiedene Rahmenbedingungen zu beachten, wie unter anderem die Auswahlmöglichkeit der Werte in mHS, cm unter GOK, cm unter ROK zu einem Stichtag. Auch sollten die „Angabe“ eines Fangbereiches für die Stichtagswerte möglich sein.

Vergleich Wochenwerte		Vergleich Monatswerte	
stark steigend	> 10 cm	stark steigend	> 40 cm
steigend	> 1 bis 10 cm	steigend	> 1 bis 40 cm
gleichbleibend	± 1 cm	gleichbleibend	± 1 cm
fallend	> 1 bis 10 cm	fallend	> 1 bis 40 cm
stark fallend	> 10 cm	stark fallend	> 40 cm

Die Ergebnisse zu Grundwasserstandstendenzen sollen in Tabellenform und räumlich in Kartenform in der APW veröffentlicht werden.

6.2 Anpassung der Grundwasserstandsmessnetze

Das Wasserwirtschaftsamt ist gemäß Brandenburgischem Wassergesetz, § 126 (3) zuständig für die „Ermittlung und Entwicklung der technisch-wasserwirtschaftlichen und naturwissenschaftlichen Grundlagen des Wasserhaushaltes, insbesondere von Menge, Güte und Zustand der Gewässer“. Grundwassermessnetze bilden eine primäre Datengrundlage für die Erfüllung dieser Aufgabe. Ohne ausreichende Daten über Menge und Beschaffenheit von Bestandteilen des Wasserkreislaufes ist eine effektive und umweltkonforme Wasserwirtschaft nicht möglich. Es werden möglichst lange Zeitreihen benötigt, um zum Beispiel Trends zu erkennen und sichere Bemessungsgrundlagen für wasserrechtliche Entscheidungen in Hinblick auf die öffentliche Wasserversorgung, die Landwirtschaft, die Industrie oder andere Investitionen zu erhalten. Das hydrologische Messnetz Grundwasserstand wird aktuell als Basismessnetz des Landes mit circa 2.100 Grundwassermessstellen betrieben. Dieses Basismessnetz ist jedoch nur bedingt dazu geeignet, lokale und/oder zeitliche Aufgaben des wasserrechtlichen Vollzugs zu erfüllen. Dafür ist die Einrichtung von Ergänzungs-

messnetzen oder die Nutzung von Daten anlagenorientierter Messnetze anderer Betreiber notwendig.

Der weitere Umbau des Landesmessnetzes ist geplant. Voraussetzung für die Errichtung von Ersatz-/Neubaumessstellen und auch für den Messstellenrückbau ist die Bereitstellung erheblicher Haushaltsmittel für die kommenden Jahre.

Unter den sich ändernden klimatischen Bedingungen werden die Anforderungen an die Messnetze zur Überwachung der Grund- und Oberflächenwasserressourcen und damit deren Verfügbarkeit in quantitativer und qualitativer Hinsicht im Land Brandenburg weiter zunehmen. Es besteht insbesondere ein großer Bedarf der Öffentlichkeit aber auch der zuständigen Wasserbehörden an aktuellen und zukünftigen Einschätzungen der Gewässersituation. Gleichzeitig werden landesweite Daten auch verstärkt in Extremsituationen (Niedrigwasser/Hochwasser) zeitnah und möglichst tagaktuell, für die Bewirtschaftung der Gewässerbenutzung benötigt. Daraus ergibt sich in diesem Kontext die Notwendigkeit das Landesmessnetz Grundwasserstand und die Datenverfügbarkeit an die wachsenden Anforderungen, unter anderem mit folgenden Maßnahmen, anzupassen:

- Prüfung der Verdichtung des Messnetzes in grundwasserabhängigen Ökosystemen

- und in Gebieten mit sich abzeichnenden qualitativen Problemen
- Tagaktuelle Verfügbarkeit von Grundwasserdaten
 - Zusammenführung der Messdaten Dritter (zum Beispiel Überwachungsmessstellen von Wasserfassungsstandorten, Bewässerungsanlagen) in einer Landesdatenbank
 - Aufbereitung der Daten für die Wasserbehörden als Grundlage für Ermessensentscheidungen bei Ressourcenengpässen
 - Aufbereitung der Daten für die Öffentlichkeit zur Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen der Wasserbehörden
 - Aufbereitung und Auswertung der Daten für die Bewertung des mengenmäßigen Zustandes nach WRRL
 - Aufbereitung und Auswertung für fachliche landesweite Grundlagen, wie zum Beispiel Hydroisohypsenpläne oder der Karten der Grundwasserflurabstände
 - Einführung einer Grundwasserklassifikation bei Hoch- und Niedrigwassersituationen (siehe auch Kapitel 6.1)
 - Erstellung und Implementierung von Grundwasservorhersagediensten (siehe Kapitel 6.3)

6.3 Zukünftige Bewertungsinstrumente zur Steuerung von Grundwasserentnahmen

Die bisherigen Bewertungsinstrumente zur Steuerung von Grundwasserentnahmen stoßen vor dem Hintergrund der zukünftig erwarteten klimatischen Veränderungen an ihre Grenzen. Ähnlich wie im Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg (MLUK 2021) könnte ein Grundwassermessstellen spezifisches Niedrigwasserwarnsystem (Niedrigwasserampel) etabliert werden. Ziel muss es sein, die Entwicklung nutzerspezifischer Frühwarn- und Entscheidungshilfe-Tools für ein dynamisches Management des verfügbaren Grundwasserdargebots zu forcieren.

Derzeit läuft eine BMBF-Projektausschreibung zur „Nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung“ (LURCH) (<https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/bekanntmachungen/de/2021/08/2021-08-17-Bekanntmachung-FONA.html>). Für das MLUK und das LfU sind dabei folgende Forschungsthemen von großem fachlichen Interesse und sollen als Projektpartner beziehungsweise assoziierter Projektpartner begleitet werden.

- 1) KIMoDIs – Projektskizze: KI-basiertes Monitoring-, Datenmanagement und Informationssystem zur Vorhersage und Frühwarnung vor Grundwasserextremereignissen (BGR /LfU BB):

Ziele des Projekts sind unter anderem:

- Entwicklung eines KI-basierten Monitoring-, Datenmanagement, und Informationssystems zur i) kurz- (saisonal), mittel- (ein bis zehn Jahre) und langfristigen (bis 2100) Vorhersage von Grundwasserständen (basierend auf Klimavorhersagen und -projektionen, ii) Frühwarnung vor Grundwasserniedrigständen und den damit verbundenen Schäden und iii) intelligenten Planung von Gegenmaßnahmen wie zum Beispiel die Steuerung von Grundwasserentnahmen mittels eines Szenarien-Tools;
- Demonstration des Ansatzes in drei Pilotgebieten, jeweils mit spezifischem Fokus und Maßstab (überregional, regional bis lokal, lokal).

- 2) BB-Monitor Projektskizze: KI-gestütztes landesweites Echtzeit-Monitoring und Wirksamkeitsüberprüfung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen Antragskizze zur BMBF-Ausschreibung (ZALF/LfU BB):

- Entwicklung eines abgestimmten Monitoringprogramms auf der Ebene

des gesamten Bundeslandes Brandenburg und Weiterentwicklung der bisherigen Verfahren zur Wirksamkeitsüberprüfung.

- Verschnitt der aktuellen Entwicklungen im Bereich der Künstlichen Intelligenz, der Fernerkundung, der Messtechnik und der Modellierung verschnitten werden, um das bestehende Messnetz deutlich effizienter nutzen zu können.
- Entwicklung einer Nachhaltigkeitsprüfung der bestehenden Messnetze vor dem Hintergrund der erwarteten klimatischen Änderungen geleistet.

3) Grundwassermanagementsystem für mittel- bis langfristige Planung in Braunkohlerevieren unter Berücksichtigung von Änderungen der Landnutzung und des Klimas (GWM-LUC, BTU Cottbus-Senftenberg, LfU BB):

- Entwicklung und Anwendung eines Klimamodellsystems zur Grundwasserbewirtschaftung in den Braunkohleregionen Lausitz und Rheinland unter Klimaänderungsbedingungen auf Basis eines gekoppelten regionalen Klimamodellsystems für extrem hohe Auflösungen von 500 m.
- Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der Wasserbewirtschaftung im Kontext des Strukturwandels auf die mittel- bis langfristige Entwicklung des Grundwassers untersucht
- Bereitstellung von optimalen Wasserbewirtschaftungsszenarien für vorgegebene Optimierungsziele den Entscheidungsträgern zur Verfügung gestellt werden. Das Modellsystem ist physikalisch konsistent und be-

inhaltet Rückkoppelungen des Grundwasserspiegels auf den Wassergehalt im Boden und die Verdunstung. Die Ergebnisse sind deshalb auf klimatologischen Zeitskalen besonders zuverlässig.

7 Geeignete Maßnahmen zur Grundwasserbewirtschaftung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden bereits verschiedene Maßnahmen skizziert, die kurz- bis mittelfristig auf dem Weg zu einer nachhaltigen mengenmäßigen Grundwasserbewirtschaftung ergriffen werden sol-

len. In Tabelle 4 sind diese Maßnahmen noch einmal zusammengestellt. Die Liste ist nicht abschließend und wird bei Bedarf sowie bei Aktualisierung des Erkenntnisstands fortgeschrieben.

Tab. 4 Maßnahmentabelle für zukünftige Arbeitsschritte	
Maßnahme	Beschreibung
GW 1	<p>Einführung eines Klimawandelabschlags unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse aus dem Grundwasserbilanzprojekt</p> <p>Zur Ermittlung der Auswirkungen der sich ändernden klimatischen Bedingungen auf das Wasser- beziehungsweise Grundwasserangebot soll ein Klimawandelabschlag eingeführt werden. Dafür sollen die zu erwartenden Ergebnisse aus der Grundwasserbilanzierung (siehe Kapitel 3.4.3 und 5.3) berücksichtigt werden.</p>
GW 2	<p>Kontinuierliche Fortsetzung der landesweiten langjährigen Beobachtung der Grundwasserstände und -beschaffenheit als Grundlage für Auswertungen zu Änderungen der klimatischen Verhältnisse</p> <p>Die Optimierung der Landesmessnetze ist eine hoheitliche Daueraufgabe des LfU (siehe Kapitel 6.2).</p>
GW 3	<p>Studie zum Gebietswasserhaushalt und Abflussgeschehen in Brandenburg</p> <p>Um die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Wasserhaushalt und Abflussgeschehen zu modellieren wurde die „Studie zum Gebietswasserhaushalt und Abflussgeschehen in Brandenburg auf Basis von Klimaprojektionsdaten mittels des Landesmodells ArcEGMO-PSCN“ in Auftrag gegeben. Diese wird bis Mitte 2022 abgeschlossen sein (siehe Kapitel 5.2.2).</p>
GW 4	<p>Entwicklung von Bewertungsinstrumenten für die Beschreibung der Grundwassersituation</p> <p>Für die Beschreibung der Grundwassersituation werden Bewertungsinstrumente vorgeschlagen und programmtechnisch im Landesdatenspeicher STYX umgesetzt (siehe auch Kapitel 6.1). Die Daten zur Einschätzung der Grundwasserstandssituation werden den Wasserbehörden als Fachgrundlagen für Maßnahmepläne/Bewirtschaftungsregelungen sowie der Öffentlichkeit über die APW zugänglich gemacht.</p>
GW 5	<p>Entwicklung eines WEB-Gis-Tools zur einheitlichen Herangehensweise für die Grundwasserbilanzierung in Brandenburg (siehe Kapitel 3.6)</p> <p>Die Ergebnisse der Grundwasserbilanzierung sollen sowohl von den Unteren Wasserbehörden der Landkreise als auch von der Oberen Wasserbehörde als einheitliche Grundlage für die Grundwasserbilanzierung und für die weitere Vergabe und Überprüfung von Wasserrechten herangezogen werden können. Dazu ist ein behördenübergreifendes Web-GIS-Werkzeug zu programmieren. Inhaltlich werden hier die neuen wasserrechtlichen Anträge erfasst und automatisiert das verfügbare Grundwasserangebot für ein ausgewiesenes Bilanzgebiet neu berechnet. Mit dieser Neuberechnung unter Berücksichtigung aller Bilanzglieder, soweit erforderlich, wird der Bearbeiterin oder dem Bearbeiter der Behörde ein Werkzeug zur Entscheidungsfindung an die Hand gegeben. Die Umsetzung ist 2022 geplant.</p>

Maßnahme	Beschreibung
GW 6	<p>Abschätzung des zukünftigen Wasserbedarfs verschiedener Sektoren (siehe Kapitel 4.3)</p> <p>Es muss eine Wasserbedarfsprognose für den Zeitraum 2031 bis 2060 erstellt werden. Dabei sollte sich schwerpunktmäßig auf die Entnahme für die öffentliche Wasserversorgung konzentriert werden, da diese prioritär vor anderen Nutzungen steht und damit eine Basiswasserentnahmemenge definiert wird, die durchgängig abgesichert werden muss. Sofern belastbare Informationen über weitere zukünftige Wassernutzungen vorliegen, zum Beispiel von besonders wasserintensiven Gewerbenutzungen, können diese mit einbezogen werden.</p>
GW 7	<p>Anpassung der bestehenden Methode zur Grundwasserbilanzierung an Trockenwetterbedingungen</p> <p>Das verfügbare Grundwasserdargebot bildet sich aus der Höhe der Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der Trockenwettersituation sowie abzüglich des ökologisch begründeten Mindestabflusses. Die unterirdischen Zu- und Abflüsse werden als Zuspeisungen und Abgaben ausgewiesen. Der Ansatz zur Grundwasserbilanzierung an Trockenwetterbedingungen soll in einem nächsten Schritt verifiziert werden. Hierzu sind Erfahrungen anderer Bundesländer zu berücksichtigen, die derzeitige Methodik zu vertiefen und für Brandenburg anzupassen.</p>
GW 8	<p>Schaffung der fachlichen Grundlagen für die Sicherung der künftig für die öffentliche Wasserversorgung nutzbaren Grundwasservorkommen.</p> <p>Als fachliche Grundlage für diese Maßnahme dienen unter anderem die Maßnahmen GW 6 und die Grundwasserbilanzierung für Brandenburg.</p>

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorliegende Dokument „Wasserversorgungsplanung – Sachlicher Teilabschnitt mengenmäßige Grundwasserbewirtschaftung“ ist ein Grundlegendokument auf dem Weg zu einem umfassenden Wasserversorgungsplan. Da Grundwasser die Hauptquelle der Trinkwasserversorgung im Land Brandenburg ist, trägt seine nachhaltige Bewirtschaftung zum Trinkwasserschutz und zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung bei.

Im Kapitel 2 wird der Blick auf die bisherige Entwicklung der Grundwasserstände in Brandenburg gerichtet. Diese ist ein Indikator für den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers. Es zeigt sich, dass aufgrund von Änderungen der klimatischen Verhältnisse zunehmend fallende Grundwasserstände zu verzeichnen sind. Sie finden sich überwiegend in den Hochflächenbereichen, zum Beispiel in der Prignitz, im Fläming oder im Bereich der Teltow-Hochfläche. Als Folge der fallenden Trends der Grundwasserstände wurden in den Trockenjahren 2018, 2019 und zum Teil verzögert 2020 an zahlreichen Grundwasserstandsmessstellen Niedrigstgrundwasserstandswerte erreicht. Landesweit überwiegen derzeit jedoch noch Grundwasserstände ohne beziehungsweise mit geringeren Trends an den beobachteten Landesmessstellen.

Neben Grundwasserständen als Anzeiger für die mengenmäßigen Verhältnisse des Grundwassers müssen weitere fachliche Grundlagendaten für genauere Aussagen über vorhandene Grundwassermengen herangezogen werden. Ein Überblick darüber gibt Kapitel 3. Auf der Basis von meteorologischen und hydrologischen Daten wird eine Grundwasserbilanzierung für Brandenburg vorgenommen. Dazu ist es erforderlich, auf Grundlage der hydrodynamischen Verhältnisse mit einem Zeitbezug unterirdische Einzugsgebiete auszugrenzen. In diesen sogenannten Bilanzgebieten werden dann unter

Berücksichtigung der Gesamtwasserbilanz und des ökologischen Mindestabflusses die Bilanzierungen vorgenommen. Neben dem natürlichen Grundwasserdargebot wird auch das verfügbare Grundwasserdargebot ermittelt, das nach Berücksichtigung der bekannten Grundwasserentnahmen noch für die Nutzung zu Verfügung steht. Wichtig ist, dass die ermittelten Ergebnisse die Situation auf einer mittleren, regionalen Maßstabsebene und für mittlere hydrologische Verhältnisse wiedergeben. Um auch einen Blick in die Zukunft zu wagen, konnte unter Zuhilfenahme des entwickelten Ansatzes aus Kapitel 5 auf der Basis der projizierten Ergebnisse nach BAGLUVA für das Klimaszenario 2031 bis 2060 für jedes der 73 Bilanzgebiete ein separater Klimafaktor abgeleitet werden. Eine landesweit einheitliche Herangehensweise bei diesem Faktor wird derzeit noch geprüft.

Es muss bei diesen Berechnungen jedoch darauf hingewiesen werden, dass bei konkreten Zulassungsverfahren, zum Beispiel für eine Grundwasserentnahme durch ein Wasserwerk, standortbezogene Untersuchungen dringend notwendig sind.

Neben der Erarbeitung von umfassenden Fachdaten ist für die Gesamtbetrachtung auch von Bedeutung, die Entwicklung des Wasserbedarfes im Zusammenhang mit der Bevölkerungsentwicklung zu berücksichtigen. Erste Betrachtungen zur bisherigen und künftigen Entwicklung des Wasserbedarfes werden in Kapitel 4 vorgenommen. Seit Anfang der 1990-er Jahre bis etwa 2007 war ein Rückgang bei den Wasserentnahmen zu verzeichnen. Danach stagnierte die Summe aller Wasserentnahmen in Berlin und Brandenburg etwa bei 1,2 Milliarden m³. Insbesondere in der Metropolregion Berlin wird durch das Bevölkerungswachstum und die fortschreitende Industrialisierung ein Anstieg der Wassernutzungen erwartet. Detailliertere Betrachtungen und Prognosen zur Ent-

wicklung des Wasserbedarfs müssen jedoch noch angestellt werden.

Das Klima wandelt sich – und die damit einhergehenden Veränderungen werden sich auch auf das Grundwasserdargebot auswirken. In Kapitel 5 wird ein Überblick über die hydrometeorologischen Aspekte des Klimawandels gegeben; wie sich diese auf die Grundwasserneubildung und damit auf das Grundwasserdargebot auswirken. Langfristig ist eine deutliche Minderung der Grundwasserneubildung um circa 25 % möglich, die insbesondere durch die Entwicklung der Grasreferenzverdunstung und des Niederschlags beeinflusst wird. Um diesem Szenario Rechnung zu tragen, werden die Grundzüge für die Entwicklung eines Klimawandelabschlags auf das verfügbare Grundwasserdargebot skizziert, der bei der Ausschöpfung von diesem berücksichtigt werden muss. Die Wahl des Emissionsszenarios und der Perzentile folgt dem Vorsorgeprinzip und wurde auch in der Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 angewendet.

Ohne geeignete Auswertungsinstrumente können zeitliche Veränderungen der mengenmäßigen Grundwasserverhältnisse nicht erfasst und bewertet werden. Daher erfolgt im Kapitel 6 eine Auseinandersetzung mit der Entwicklung von Bewertungsinstrumenten, um extreme Grundwassersituationen beschreiben zu können. Es kommt eine von der IKSE empfohlene Perzentilmethodik zum Einsatz, die einen schnellen Überblick über die aktuellen Wasserstandstendenzen und die gesamtheitliche Grundwassersituation am Standort der Messstelle zulässt. Neben der Beschreibung bereits genutzter Auswertungsalgorithmen wird der Blick auch auf künftige Forschungsaktivitäten gerichtet. Diese nutzen Künstliche Intelligenzen zum Beispiel im Rahmen von neuronalen Netzen oder Hauptkomponentenanalysen. So schaf-

fen sie die Möglichkeit der besseren Vorhersage der Grundwasserstandsentwicklung beziehungsweise die Möglichkeit, ein verbessertes Monitoring für das Land anzubieten.

Abschließend werden in Kapitel 7 insgesamt acht Maßnahmen skizziert, die auf eine nachhaltige mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers ausgerichtet sind. Genannt werden unter anderem das WEB-Modul für die Grundwasserbilanzierung oder die Schaffung der fachlichen Grundlagen für die räumliche Sicherung der künftig für die öffentliche Wasserversorgung nutzbaren Grundwasservorkommen. Die Maßnahmenliste ist als ein „living document“ zu verstehen, welches sich den wandelnden Erfordernissen stellt und immer wieder anzupassen ist.

Mit diesem Berichtsdokument sind die Aktivitäten der Landesregierung, die auf eine nachhaltige mengenmäßige Grundwasserbewirtschaftung fokussieren, nicht abgeschlossen. Es soll vielmehr ein Startschuss sein.

9 Quellenverzeichnis

- AfS BB Amt für Statistik Berlin-Brandenburg (2021): Erwerbstätigenrechnung (ETR). Potsdam. <https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/erwerbstaetigkeit> (Zugriff: 7. September 2021).
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (2020): Das Bayerische Klimaprojektionsensemble – Audit und Ensemblebildung. Augsburg.
- BBSR 2020; Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR); ISBN 978-3-87994-630-3; Bonn Mai 2021
- Brienen, Walter, Brendel, Fleischer, Ganske, Haller, Helms, Höpp, (...), Stanley (2020): Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks. DOI:10.5675/ExpNBS2020.2020.02
- Cornes R., G. van der Schrier, E.J.M. van den Besselaar, P.D. Jones (2018): An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. J. Geophys. Res. Atmos. 123.
- destatis 2021; Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Basis: 31.12.2018); <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=2&step=1&titel=Ergebnis&levelid=1637917147598&levelid=1637916892090#abreadcrumb> (Zugriff 26.11.2021)
- Deutscher Wetterdienst (2020): Abteilung Hydrometeorologie: REGNIE (REGionalisierte NIEderschläge): Verfahrensbeschreibung & Nutzeranleitung, interner Bericht im DWD.
- HGN-Beratungsgesellschaft mbH (2021): Bilanzierung des Grundwasserdargebotes für das Land Brandenburg. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Umwelt. Unveröffentlicht, Potsdam, 2021, unveröffentlicht
- Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH (1991): Grundwasservorratsprognose Land Brandenburg (Westteil) – ehem. Bezirk Potsdam, Berlin 10.12.1991, unveröffentlicht
- Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH (1993): Grundwasservorratsprognose Ostbrandenburg – ehem. Bezirk Frankfurt/O., Berlin; 29.10.1993, unveröffentlicht
- Hydrogeologie Berlin-Brandenburg GmbH (1994): Grundwasservorratsprognose Südteil Land Brandenburg, HGN NL Torgau, 1994, unveröffentlicht
- Hydrogeologie GmbH Schwerin (1991): Grundwasservorratsprognose Bezirk Schwerin, Schwerin, 30.01.1991, unveröffentlicht
- Jordan, H & H.-J. Weder (1995): Hydrogeologie – Grundlagen und Methoden, S. 270, Ferdinand-Enke-Verlag Stuttgart, 1995.
- Kahlenborn W. et al. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

- Landesamt für Umwelt Brandenburg (2018): Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg auf Hydrotopbasis Reihe 1991–2015 (ArcEGMO, wh_efl15,) Potsdam, Stand: 07.11.2018
- Landesamt für Umwelt Brandenburg (2019): Mittlere Abflusspende für die Zeitreihe 1986-2015 (BAGLUVA), wh_bagluva8615, Potsdam, Stand: 26.2.2019
- Landesamt für Umwelt Brandenburg (2021): Klimamodellauswertungen. <https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/aufgaben/klima/klimawandel/klimamodellauswertungen/#>
- LAWA (2011): Fachliche Umsetzung der WRRL – Teil 5 Bundesweite einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes
- LBGR 1998 – Hydrogeologische Schnitte 1: 50.000, <http://www.geo.brandenburg.de/lbgr/hydro>
- Linke C. et al. (2020): Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgespräches „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam.
- Manhenke, V. Hannemann, M. & B. Rechlin (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 2,1 Kleinmachnow
- Meinert, N. (1986): Grundwasservorratsprognose Bezirk Cottbus, Nordhausen, 24.11.1986, unveröffentlicht
- MLUK Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg (2021): Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg. Potsdam.
- Mosbrugger V., Brasseur G., Schaller M. & Stribny B. (2014): Klimawandel und Biodiversität: Folgen für Deutschland. 432 S.; Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, ISBN: 978-3-534-26386-8
- MUGV Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (2009): Wasserversorgungsplan 2009 für das Land Brandenburg. Potsdam.
- MUNR Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (1996): Wasserversorgungsplan für das Land Brandenburg. Potsdam.
- Schwalm C.R., Glendon S., Duffy P.B. (2020): RCP8.5 tracks cumulative CO₂ emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117 (33) 19656-19657.
- Struve S., Ehlert I., Pfannschmidt K., Heyner F., Franke J., Kronenberg R., Eichhorn M. (2020): Mitteldeutsches Kernensemble zur Auswertung regionaler Klimamodelldaten – Dokumentation – Version 1.0 (2020). Halle (Saale)

Umweltplan/HGN Nord (2019): Erstellung von Hydroisohypsenplänen, Stralsund 05/2019, Bericht unveröffentlicht, GIS-Daten <https://geoportal.brandenburg.de/detailansichtdienst/render?url=https://geoportal.brandenburg.de/gs-json/xml?fileid=08C238F0-6409-43AF-ADB3-F8A967D3EF03>

VEB Geothermie Neubrandenburg (1990): Grundwasservorratsprognose Bezirk Neubrandenburg, Neubrandenburg 07.01.1990, unveröffentlicht

VEB Hydrogeologie Nordhausen (1989): Grundwasservorratsprognose Bezirk Potsdam, Berlin, 1989

Weder, H.-J. und N. Meinert, VEB Hydrogeologie Nordhausen (1988): Die Grundwasservorratsprognose – ein Beitrag zur Grundwassererkundungsmethodik; Dissertation Bergakademie Freiberg

Wieneke, S. (2014): Die Wasserbilanzen der Grundwasserkörper im Land Brandenburg, Fachbeitrag des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Heft Nr. 142 https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/lugv_fb142.pdf



**Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz
des Landes Brandenburg**

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Henning-von-Tresckow-Straße 2-13, Haus S,
14467 Potsdam

Telefon: +49 (0)331 866-7237

E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de

Internet: mluk.brandenburg.de

agrар-umwelt.brandenburg.de

