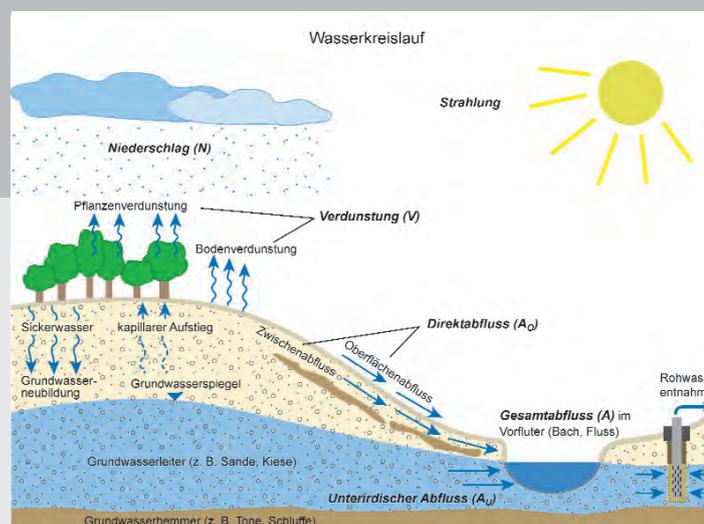


## Wirkung und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt

April 2011





## **Wirkung und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt**

April 2011



Herausgeber und Vertrieb:  
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.  
Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef · Deutschland  
Tel.: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100  
E-Mail: [kundenzentrum@dwa.de](mailto:kundenzentrum@dwa.de) · Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasserwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

### Impressum

**Herausgeber und Vertrieb:**

DWA Deutsche Vereinigung für  
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef, Deutschland

Tel.: +49 2242 872-333

Fax: +49 2242 872-100

E-Mail: [kundenzentrum@dwa.de](mailto:kundenzentrum@dwa.de)

Internet: [www.dwa.de](http://www.dwa.de)

**Satz:**

DWA

**Druck:**

Druckhaus Köthen

**ISBN:**

978-3-941897-78-6

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

## Vorwort

Für die Wasserwirtschaft in Mitteleuropa zeichnen sich aus den heute verfügbaren Klimaprojektionen auf globaler und regionaler Ebene Entwicklungen ab, die Änderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse erwarten lassen. Die regional stark variierenden Auswirkungen auf den Wasserhaushalt lassen zum Teil erhebliche Konsequenzen auf den Grundwasserhaushalt erwarten.

Das bisherige Fazit, das u. a. das Umweltbundesamt (UBA 2007) für die Klima-Rahmenbedingungen in Deutschland zieht, ist:

- Es wird insgesamt wärmer (zunehmende Temperaturen im Jahresdurchschnitt).
- Dabei werden die Temperaturen in Süddeutschland stärker zunehmen als in Norddeutschland.
- Im Sommer wird es deutschlandweit trockener. Dies führt vermehrt zu Dürreperioden und Niedrigwasserereignissen.
- Aufgrund der erwarteten höheren Niederschläge im Winter – bei geringerer Schneedecke – wird mit häufigeren winterlichen Hochwasserabflüssen gerechnet.
- Im Osten Deutschlands wird im Jahresdurchschnitt eine zunehmend negative Wasserbilanz, im Westen weiterhin eine positive Wasserbilanz erwartet.
- Es wird mit einer Zunahme der Intensität von Starkregenereignissen gerechnet.

Fragen zur Vorgehensweise bei der notwendigen Klimafolgenabschätzung stehen in Deutschland derzeit in allen Bundesländern auf der Tagesordnung und werden sehr unterschiedlich behandelt. Dabei kommt eine Vielzahl von Methoden zum Einsatz und es finden Parallelentwicklungen statt.

Untersuchungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Ressource Grundwasser erfordern erweiterte Prozesskenntnisse und eine Weiterentwicklung der wasserwirtschaftlichen Prognosewerkzeuge. Unter Berücksichtigung der regional unterschiedlichen Betroffenheit und Verfügbarkeit der Gebietsdaten werden aber auch robuste Instrumente zur regionalen Prognose zukünftiger Entwicklungen benötigt, als Hilfsmittel zur Beantwortung u. a. folgender Fragestellungen:

- Wie können, unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede, klimabedingte Veränderungen des Grundwasserhaushaltes und deren Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt und die Siedlungsentwässerung quantifiziert werden?
- Welche Auswirkungen haben Änderungen der Landnutzung auf den Grundwasserhaushalt?
- Welche Maßnahmen sind zur nachhaltigen Sicherung der nutzungsrelevanten Grundwasserressourcen im Landschaftswasserhaushalt erforderlich?
- Welche Auswirkungen sind durch veränderte Grundwasserstände in Siedlungsgebieten auf die Bebauung, die Infrastruktur, die Oberflächengewässer und die Anlagen der Siedlungswasserwirtschaft zu erwarten?
- Welche Maßnahmen sind geeignet, um die Anpassung der urbanen Grundwasserbewirtschaftung an den Klimawandel zu erreichen?

In dem vorliegenden Band der DWA-Themen greift die DWA-Arbeitsgruppe GB-6.7 „Wirkung und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt“ die genannten Fragen auf und nennt auf der Grundlage von elf einschlägigen Fallstudien in Deutschland und Österreich einzelne Lösungsansätze. Vor dem Hintergrund der vielfältigen Diskussionen um die möglichen Auswirkungen des globalen Klimawandels auf die wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Deutschland und Mitteleuropa zielen die hier zusammengestellten Ansätze auf den Schutz der Grundwasserressourcen ab.

Der vorliegende Themenband richtet sich mit seinen Denkanstößen an die in Verbänden, Umwelt- und Wasserwirtschaftsverwaltungen in Ländern und Kommunen tätigen Fachleute, die landwirtschaftliche Beratung und an Landwirte.

### Verfasser

Der Themenband wurde von der DWA-Arbeitsgruppe GB-6.7 „Wirkung und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt“ im Fachausschuss „Bodennutzung und Wirkungen im Grundwasser“ erarbeitet.

Der DWA-Arbeitsgruppe GB-6.7 „Wirkung und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt“ gehören folgende Mitglieder an:

BARION, Dirk	Dipl.-Geogr., DWA, Hennef (Sprecher)
BERTHOLD, Georg	Dr., Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
BLASCHKE, Alfred	Dr., Dipl.-Ing., Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien
GETTA, Michael	Dipl.-Geol., Emschergenossenschaft, Essen
HAFERKORN, Ulrike	Dr., Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Lysimeterstation Brandis
HÄFNER, Klaus	Dipl.-Ing., Umweltfachbereich, Landesdirektion Leipzig
KERSEBAUM, Kurt-Christian	Dr. habil., Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg
SCHWEBLER, Wolfgang	Dipl.-Ing., Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz
SIMON, Stefan	Dipl.-Geoökol., Erftverband, Bergheim
TREPEL, Michael	PD Dr. habil., Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Flintbek

Als Gäste in der Arbeitsgruppe haben mitgewirkt:

MIEGEL, Konrad	Prof. Dr., Institut für Umweltingenieurwesen, Universität Rostock
LITZ, Norbert	Dr., Umweltbundesamt, Berlin

Projektbetreuung in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

BARION, Dirk	Dipl.-Geogr., Hennef Abteilung Wasserwirtschaft, Abfall und Boden
--------------	--

## Inhalt

<b>Vorwort</b>	.....	<b>3</b>
<b>Verfasser</b>	.....	<b>4</b>
<b>Bilderverzeichnis</b>	.....	<b>6</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	.....	<b>7</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen</b>	.....	<b>8</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Klimaänderungen, Klimaprojektionen und Unsicherheiten</b> .....	<b>15</b>
2.1	Bisherige Veränderungen in Deutschland.....	15
2.2	Regionale Klimaprojektionen .....	19
2.3	Klimamodelle und deren Unsicherheiten.....	23
<b>3</b>	<b>Klima und Wasserhaushalt</b> .....	<b>25</b>
3.1	Veränderungen relevanter Wasserhaushaltskomponenten .....	26
3.2	Raum- und Zeitbezug.....	27
3.3	Verdunstung als wesentliche Steuergröße.....	28
3.3.1	Einflussfaktoren .....	28
3.3.2	Geeignete Bestimmungsmethoden .....	31
3.3.3	Kohlendioxid und Transpiration.....	32
<b>4</b>	<b>Modelle zur Simulation der Wasserhaushaltskomponenten</b> .....	<b>33</b>
4.1	Modellkonzepte .....	33
4.2	Anforderungen an hydrologische Prognosemodelle.....	35
4.3	Reale Anwendungen (Fallbeispiele).....	36
4.4	Umgang mit Unsicherheiten hydrologischer Prognosemodelle .....	39
<b>5</b>	<b>Auswirkungen von Klimaänderungen auf Grundwassermenge und -beschaffenheit</b> .....	<b>41</b>
5.1	Grundwasserstände.....	41
5.1.1	Bisherige Entwicklungen.....	41
5.1.2	Zukünftige Entwicklungen .....	44
5.2	Grundwassertemperatur und -beschaffenheit.....	45
5.2.1	Bisherige Entwicklungen.....	45
5.2.2	Zukünftige Entwicklungen .....	47
5.3	Grundwasser in Siedlungsgebieten .....	47
5.4	Grundwasserverfügbarkeit und Bewirtschaftung.....	51
<b>6</b>	<b>Fazit und Handlungsempfehlungen</b> .....	<b>52</b>
6.1	Fazit.....	52
6.2	Handlungsempfehlungen .....	53
6.2.1	Landnutzungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen.....	54
6.2.2	Maßnahmen in Siedlungsgebieten .....	56
6.2.3	Grundwasserbewirtschaftung.....	57
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>58</b>
<b>Literatur</b>	.....	<b>59</b>

<b>Anhang 1 Steckbriefe der Fallstudien 1–11</b> .....	<b>63</b>
1. Steckbrief – <i>KlimReg</i> .....	65
2. Steckbrief – <i>GLOWA-Elbe</i> .....	67
3. Steckbrief – <i>KLIWA</i> .....	71
4. Steckbrief – <i>KliWES</i> .....	73
5. Steckbrief – <i>Braunkohlenbergbau</i> .....	75
6. Steckbrief – <i>WH Ucker</i> .....	77
7. Steckbrief – <i>INKLIM</i> .....	79
8. Steckbrief – <i>dynaklim</i> .....	81
9. Steckbrief – <i>KliWEP</i> .....	83
10. Steckbrief – <i>WW Potsdam</i> .....	85
11. Steckbrief – <i>KLIWAS Österreich</i> .....	88
<b>Anhang 2 Porträts 1–8 der Fallstudien 3–10</b> .....	<b>91</b>
1. Porträt/3. Fallstudie – <i>KLIWA</i> .....	93
2. Porträt/4. Fallstudie – <i>KliWES</i> .....	99
3. Porträt/5. Fallstudie – <i>Braunkohlenbergbau</i> .....	102
4. Porträt/6. Fallstudie – <i>WH Ucker</i> .....	110
5. Porträt/7. Fallstudie – <i>INKLIM</i> .....	118
6. Porträt/8. Fallstudie – <i>dynaklim</i> .....	129
7. Porträt/9. Fallstudie – <i>KliWEP</i> .....	134
8. Porträt/10. Fallstudie – <i>WW Potsdam</i> .....	139

## Bilderverzeichnis

Bild 1: Lage der Projektgebiete der im Rahmen des vorliegenden Themenbandes berücksichtigten regionalen Klimastudien für Deutschland.....	14
Bild 2: Zeitreihe der Jahresmitteltemperatur Deutschlands mit linearem und polynomischem Trend zur Darstellung des langfristigen Verlaufs sowie Mittelwert 1961-1990.....	15
Bild 3: Zeitreihe der jährlichen Niederschlagshöhe Deutschlands mit linearem und polynomischem Trend zur Darstellung des langfristigen Verlaufs sowie Mittelwert 1961-1990.....	16
Bild 4: Mittlere jährliche Niederschlagshöhe.....	17
Bild 5: Mittlere jährliche potenzielle Verdunstungshöhe als Grasreferenzverdunstung.....	18
Bild 6: Hierarchie der Modellkette bei der hydrologischen Szenarienmodellierung.....	19
Bild 7: Änderung der Jahresmitteltemperatur [°C] in Deutschland im Vergleich zu 1961-1990 für die Emissionsszenarien A2, A1B und B1.....	21
Bild 8: Von den regionalen Klimamodellen REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario projizierte Änderung der Jahresmitteltemperatur in den Perioden 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleich zum modellspezifischen Kontrollzeitraum 1961-1990.....	21
Bild 9: Von den regionalen Klimamodellen REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario projizierte relative Änderung der mittleren Niederschlagsmenge im Sommer (JJA) in den Perioden 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleich zum modellspezifischen Kontrollzeitraum 1961-1990.....	22
Bild 10: Von den regionalen Klimamodellen REMO, CLM, WETTREG und STAR für das A1B-Emissionsszenario projizierte relative Änderung der mittleren Niederschlagsmenge im Winter (DJF) in den Perioden 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleich zum modellspezifischen Kontrollzeitraum 1961-1990.....	23
Bild 11: Der Kreislauf des Wassers.....	25
Bild 12: Wasserhaushaltsbilanzen für Deutschland, Bayern und Brandenburg für mittlere hydrologische Verhältnisse in mm/a.....	26
Bild 13: Grundwassereinflüsse auf die Siedlungsentwässerung.....	27
Bild 14: Entwicklung der Landnutzung in Deutschland seit 1990.....	29

Bild 15:	Simulierte und gemessene Wassergehalte unter derzeitiger und erhöhter CO <sub>2</sub> -Konzentration im FACE-Experiment der FAL Braunschweig unter Winterweizen im Jahr 2005 .....	33
Bild 16:	Gesamtwasserhaushalt und Einflussgrößen.....	34
Bild 17:	Verfahrensabläufe zur Berechnung flächendifferenzierter Abflusskomponenten .....	38
Bild 18:	Unsicherheiten in der Modellkette .....	39
Bild 19:	Komplexität der Eingangsdaten und Randbedingungen für hydrologische Prognosemodelle .....	40
Bild 20:	Grundwasserstandsentwicklung und langjähriger Trend einer Grundwassermessstelle mit geringem Flurabstand in der Niederrheinischen Bucht .....	42
Bild 21:	Grundwasserstandsentwicklung und langjähriger Trend einer flurfernen Grundwassermessstelle in der Niederrheinischen Bucht.....	43
Bild 22:	Trendauswertungen an der Grundwassermessstelle Winden in der Südpfalz .....	43
Bild 23:	Zeitliche Entwicklung der Grundwassertemperatur an einer Grundwassermessstelle in der Niederrheinischen Bucht.....	46
Bild 24:	Entwicklung der mittleren Quellwassertemperatur von 12 repräsentativen Quellen im Odenwald .....	46
Bild 25:	Altlast im Schwankungsbereich des Grundwassers und Gebäudevernässung durch Grundwasseranstieg ....	48
Bild 26:	Wesentliche Eintrittspfade für Fremdwasser am Beispiel eines Trennsystems .....	49
Bild 27:	Berechneter Grundwasseranstieg nach Abdichtung des Kanalnetzes .....	49
Bild 28:	Auswertung der nächtlichen Trockenwetterabflüsse am Beispiel eines Kanaleinzugsgebietes .....	50
Bild 29:	Grundwasserflurabstand im Vergleich mit Fremdwassermessungen in 2004 .....	50
Bild 30:	Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf den quantitativen Grundwasserhaushalt und die Grundwasserbeschaffenheit sowie wasserwirtschaftliche Themenfelder im hydrologischen Winterhalbjahr.....	52
Bild 31:	Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf den quantitativen Grundwasserhaushalt und die Grundwasserbeschaffenheit sowie wasserwirtschaftliche Themenfelder im hydrologischen Sommerhalbjahr.....	53
Bild 32:	Entwicklung der Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe von 1997-2009 .....	54

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Emissionsszenarien des IPCC-Sonderberichtes SRES .....	20
Tabelle 2:	Reaktions- und Transitzeiten für die drei wichtigsten Abflusskomponenten.....	28
Tabelle 3:	Übersicht der Fallstudien .....	36

## Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung
A	Abfluss (im Vorfluter) (siehe auch $Q_{\text{gesamt}}$ )
$A_o$	Direktabfluss (siehe auch $Q_{\text{direkt}}$ )
$A_U$	Unterirdischer Abfluss/Basisabfluss (siehe auch $Q_{\text{Basis}}$ )
AKWA-M	Bodenwasserhaushaltsmodell (Eigenname)
ArcEGMO®	Bodenwasserhaushaltsmodell (Markenname)
ArcSIWA®	Bodenwasserhaushaltsmodell (Markenname)
BAGLUVA	Verfahren nach BAGROV und GLUGLA zur Bestimmung vieljähriger Mittelwerte von tatsächlicher Verdunstungs- und Abflusshöhe
BFI	Baseflow-Index
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung (Deutschland)
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Deutschland)
BÜK (BUEK)	Bodenübersichtskarte
BW	Baden-Württemberg
BWHM	Bodenwasserhaushaltsmodell
BY	Bayern
CCLM	COSMO-Climate Limited-area Modelling (Eigenname)
CH <sub>4</sub>	Methan
CLM	Climate Limited-area Modelling (Eigenname)
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CORINE	Coordinated Information on the European Environment; Projekt zur einheitlichen Klassifikation der wichtigsten Formen der Landnutzung
COSMO	Consortium for Small-Scale Modeling
DJF	Wintermonate Dezember, Januar, Februar
DV-Ausstattung	Ausstattung mit Elektronischen Datenverarbeitungssystemen
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECHAM5	Globales Klimamodell, entwickelt am Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg. Aktuell in der 5. Fassung (Eigenname)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz)
ENSEMBLES	ENSEMBLE-based Predictions of Climate Changes and their Impacts, Projekt zur Bewertung von Klimafolgen
ETa	Evapotranspiration (aktuelle)
ETp (ETP/PET)	Evapotranspiration (potenzielle)
ET <sub>0</sub>	Grasreferenzverdunstung
EG-WRRL	Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Rahmen der Wasserpolitik (2000/60/EG)
EZG	Einzugsgebiet

Abkürzung	Erläuterung
FACE	Free Air Carbon Enrichment (künstliche Erhöhung der CO <sub>2</sub> -Konzentration in Freiluftbeständen)
FAL	Johann Heinrich von Thünen-Institut (Braunschweig) siehe auch vTI. Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database; Statistiken der Welternährungsorganisation (FAO)
FEFLOW®	Finite Element Subsurface FLOW System. Programmpaket zur Simulation von Grundwasserströmungen (Markenname)
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
GCM	Global Climate Models (Globale Klimamodelle)
GIS	Geographisches Informationssystem
GWM	Grundwassermodell
GWN	Grundwasserneubildung
GWN-BW	Bodenwasserhaushaltsmodell (Eigenname)
ha/Tag	Hektar pro Tag
HAD	Hydrologischer Atlas von Deutschland
HBV	Niederschlags-Abfluss-Modell (Eigenname)
HERMES	Simulationsmodell zur Berechnung der N-Dynamik von Ackerstandorten (Eigenname)
HLFUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (UN-Weltklimarat)
JJA	Sommermonate Juni, Juli, August
$k_c$	Bestandskoeffizient
<i>Klimaszenario:</i> A1	Wirtschaftliche Entwicklung: global/ökonomisch, sehr rasches Wirtschaftswachstum Weltbevölkerung: Maximum Mitte des 21. Jahrhunderts, danach rückläufig Technologieentwicklung: fossil-intensive (A1FI) oder nicht-fossile Energiequellen (A1T)
<i>Klimaszenario:</i> A1B	Wirtschaftliche Entwicklung: global/ökonomisch, sehr rasches Wirtschaftswachstum Weltbevölkerung: Maximum Mitte des 21. Jahrhunderts, danach rückläufig Technologieentwicklung: rasche Einführung von neuen und effizienteren Technologien
<i>Klimaszenario:</i> A2	Wirtschaftliche Entwicklung: regional/ökonomisch, langsamere Entwicklung Weltbevölkerung: stetig zunehmende Bevölkerung Technologieentwicklung: langsamere Entwicklung
<i>Klimaszenario:</i> B1	Wirtschaftliche Entwicklung: global/ökologisch, langsames Wachstum Weltbevölkerung: Maximum Mitte des 21. Jahrhunderts, danach rückläufig Technologieentwicklung: Entwicklung sauberer und ressourceneffizienter Technologien, Rückgang des Materialverbrauchs
<i>Klimaszenario:</i> B2	Wirtschaftliche Entwicklung: regional/ökologisch, mittleres Wachstum Weltbevölkerung: Stetige, langsame Zunahme der Weltbevölkerung Technologieentwicklung: Weniger rascher aber vielfältigerer technischer Fortschritt
KLIMZUG	BMBF Ausschreibung „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“
KLIWAS (Deutschland)	Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt – Entwicklung von Anpassungsoptionen
LAI	Leaf Area Index (Blattflächenindex)

## Wirkungen und Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt

Abkürzung	Erläuterung
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH, Senftenberg
m NHN	Meter über Normalhöhennull
MIKE SHE	Bodenwasserhaushaltsmodell (Markenname)
MOUSE	Grundwassermodell (Eigenname)
MPI-OM	Globales Klimamodell des Max-Planck-Instituts, Hamburg (Eigenname)
<i>N</i>	Niederschlag
$N_{\min}$	Gehalt eines Bodens an verfügbarem mineralisierten Stickstoff
$N_2O$	Lachgas
N-A-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
NASIM	Niederschlag-Abfluss-Modell (Eigenname)
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NKGCF	Nationales Komitee für Global Change Forschung, Kiel
NRW	Nordrhein-Westfalen
PBSM	Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel
PCGEOFIM®	Simulationsprogramm für Geofiltration und Geomigration, Grundwassermodell nach Finiter Volumenmethode (Markenname)
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
<i>Projekt-1:</i> KlimReg	Klimafolgenregister für Deutschland
<i>Projekt-2:</i> GLOWA-Elbe	Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet
<i>Projekt-3:</i> KLIWA	Klimaänderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft
<i>Projekt-4:</i> KliWES	Abschätzung der Auswirkung der für Sachsen prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt in den Einzugsgebieten der sächsischen Gewässer
<i>Projekt-5:</i> Braunkohlenbergbau	Braunkohlenbergbau in Mitteldeutschland
<i>Projekt-6:</i> WH Ucker	Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Ucker (Brandenburg)
<i>Projekt-7:</i> INKLIM	Integriertes Klimaschutzprogramm – INKLIM 2012 Baustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen
<i>Projekt-8:</i> dynaklim	Dynamische Anpassung regionaler Planungs- und Entwicklungsprozesse an die Auswirkungen des Klimawandels am Beispiel der Emscher-Lippe-Region
<i>Projekt-9:</i> KliWEP	Abschätzung der Auswirkungen der für Sachsen prognostizierten Klimaänderungen auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Einzugsgebiet der Parthe
<i>Projekt-10:</i> WW Potsdam	Modellgestützte Abschätzungen zur Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und die geogen-salinare Versalzung im Einzugsgebiet des Wasserwerks Potsdam – Leipziger Straße
<i>Projekt-11:</i> KLIWAS (Österreich)	Auswirkungen des Klimawandels auf Hydrologie und Wasserwirtschaft in Österreich
PRUDENCE	Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects, Projekt zur Bewertung der Klimafolgen für Europa

Abkürzung	Erläuterung
$Q_{\text{Basis}}$	Basisabfluss (siehe auch $A_{\text{v}}$ )
$Q_{\text{direkt}}$	Direktabfluss (siehe auch $A_{\text{o}}$ )
$Q_{\text{f}}$	Fremdwasserabfluss
$Q_{\text{gesamt}}$	Gesamtabfluss (siehe auch $A$ )
$r_{\text{a}}$	Aerodynamischer Widerstand
$r_{\text{c}}$	Bestandswiderstand
RCM	Regional Climate Models (Regionale Klimamodelle)
REMO	Regionales Klimamodell (Eigenname)
RLP	Rheinland-Pfalz
SLOWCOMP	Grundwassermodell/Abflussmodell (Eigenname)
SPRING	Grundwasserströmungsmodell (Eigenname)
SRES	Emissionsszenarien des IPCC-Sonderberichts
STAR	Downscaling-Verfahren (Eigenname)
SWIM	Modellbezeichnung – Soil and Water Integrated Model
Theseus (THESEUS)	Bodenwasserhaushaltsmodell (Kapazitätsmodul) und Grundwassermodell (Linearer Speicher) Eigenname
UBA	Umweltbundesamt
$V$	Verdunstung
$v\text{TI}$	Johann Heinrich von Thünen-Institut (Braunschweig) siehe auch FAL, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
WaSiM-ETH	Physikalisch basiertes Abflussmodell auf Einzugsgebietsebene (Eigenname)
WEREX IV	Wetterlagenbedingte Regression für Extremwerte
WETTREG	Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode (Eigenname)
ZALF	Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V., Müncheberg
$\Delta S$	Speicheränderung

# 1 Einleitung

Unter dem Begriff des globalen Klimawandels werden der durch anthropogene Treibhausgasemissionen beschleunigte weltweite Anstieg der Temperatur der bodennahen Atmosphäre sowie die hieraus resultierenden Veränderungen z. B. des Niederschlagsgeschehens zusammengefasst. Nach dem 4. Klimabericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2007) werden menschliche Aktivitäten mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit für den raschen Anstieg der Konzentration der Treibhausgase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  und den resultierenden verstärkten Treibhauseffekt verantwortlich gemacht. Prozessbasierte Klimamodelle auf globaler und regionaler Ebene ermöglichen Aussagen über die in der mittleren und fernen Zukunft zu erwartenden Klimaänderungen in Abhängigkeit von den angenommenen Emissionsszenarien.

Die vom IPCC veröffentlichten generellen Aussagen zu den weltweit zu erwartenden Klimaänderungen werden nicht in Zweifel gezogen, auch wenn sich der Anstieg der mittleren Temperatur der Erdatmosphäre in der letzten Dekade etwas abgeschwächt hat. Angesichts der bereits im 20. Jahrhundert deutlich erkennbaren Klimaänderungssignale in Deutschland sind vielfach regionale Konsequenzen für die Wasserwirtschaft zu erwarten. Wasserwirtschaftler sind sich einig, dass im Sinne einer langfristig ausgelegten Planung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen, Projektionen möglicher Klimaänderungen und hierauf aufbauend Auswirkungen auf den regionalen Wasserhaushalt zu untersuchen und mögliche Konsequenzen für wasserwirtschaftliches Handeln abzuleiten sind.

Fragen der Anpassung an zukünftige klimainduzierte Änderungen des regionalen Wasserhaushalts und der Vermeidung von Risiken, die insbesondere aus möglichen Verschärfungen hydrologischer Extreme resultieren, werden sowohl auf der politischen Ebene als auch unter den Experten aus Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft eingehend erörtert. Unter Berücksichtigung der regional unterschiedlichen Verfügbarkeit von Gebietsdaten werden Instrumente zur Berechnung regionaler Veränderungen von Klimagrößen und deren Einfluss auf den regionalen Wasserhaushalt benötigt, die zur Beantwortung u. a. folgender Fragestellungen dienen:

- Wie können, unter Berücksichtigung der regionalen Unterschiede, Veränderungen der Grundwasserneubildung quantifiziert werden?
- Welche Auswirkungen haben gewollte und ungewollte Veränderungen der Landnutzung und der Wasserwirtschaft auf die Wasserverfügbarkeit und die Wassergüte?
- Welche Maßnahmen sind zur nachhaltigen Sicherung der Gewässernutzung erforderlich?

Die DWA befasst sich in einer großen Zahl ihrer Fachgremien mit diesen Fragen und erarbeitet Lösungsstrategien und konkrete Maßnahmen zur Berücksichtigung sich ändernder hydrologischer Rahmenbedingungen. Vor diesem Hintergrund widmet sich der vorliegende Themenband der Wirkung und den Folgen möglicher Klimaänderungen auf den Grundwasserhaushalt und formuliert Anforderungen an Wasserhaushaltsmodelle, um mit diesen unter sich ändernden Klimabedingungen belastbare Aussagen zu möglichen Klimafolgen treffen zu können.

In diesem Themenband werden mögliche Folgen von Klimaänderungen auf die Landnutzung in die Betrachtung einbezogen und Lösungsansätze für die Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser genannt. Insbesondere im Fall abnehmender Grundwasserneubildung kann sie verstärkten Nutzungskonflikten unterliegen und macht eine intensive Abstimmung sowie ggf. Anpassungsstrategien aller beteiligten Nutzer (Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Industrie und Bergbau) erforderlich.

Auch Fragen der Grundwasserbewirtschaftung im Bereich der durch großräumige Sümpfungsmaßnahmen betroffenen Braunkohlegewinnungsgebiete, in denen nach Beendigung der Abbautätigkeiten Maßnahmen zur beschleunigten Wiederauffüllung der Grundwasserleiter umgesetzt werden, oder großräumige Wasserhaltungsmaßnahmen z. B. im westdeutschen Steinkohlerevier, werden im Hinblick auf die Auswirkungen sich ändernder Klimabedingungen betrachtet.

Auf der Grundlage globaler und regionaler Klimaszenarien wurden in den letzten Jahren in vielen Gebieten Deutschlands regionenspezifische Untersuchungen von Klimaprojektionen und deren Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt durchgeführt. Derartige Studien erfolgten sowohl fall- als auch regionalbezogen in einzelnen Bundesländern, zum Teil aber auch übergreifend im Zusammenschluss mehrerer Bundesländer.

Der vorliegende Band der DWA-Themen gibt anhand von Fallbeispielen einen Überblick über modellgestützte Untersuchungsvorhaben in Deutschland und Empfehlungen für Bewirtschaftungsfragen.