

Eckpunkte zur harmonisierten Abschätzung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grundwasserdargebotes im Zuge des Klimawandels



Februar 2026

LAWA
Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

Impressum

Herausgeber:

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
unter dem Vorsitz der Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft der Freien Hansestadt Bremen
An der Reeperbahn 2
28217 Bremen
Tel.: +49 421 361 5479
E-Mail: lawa@umwelt.bremen.de
Homepage: www.lawa.de

Bearbeitung und Redaktion:

Ad hoc AG

bestehend aus folgenden Personen:

- Berthold Niehues (Leitung, DVGW)
- Dr. Gregor Barth, (MV, LUNG)
- Dr. Sabine Bergmann (NW, LANUK)
- Laura Blaes (SL, MUKMAV)
- Dr. Doris Dühmann (RP, LfU)
- Dr. Michael Eisele (NW, LANUK)
- Dr. Christoph Haase (SH, MEKUN)
- Dr. Mithra-Christin Hajati (NI, LBEG)
- Mario Hergesell (HE, HLNUG)
- Dr. Bernd König (SH, LfU)
- Stefanie Langer (HB, SUKW)
- Udo Mellentin (SN, LfULG)
- Dr. Jörg Neumann (BY, LfU)
- Carsten Schulz (SN, LfULG)
- Sascha Wilke (TH, TLUBN)

Federführung:

LAWA Ausschuss Grundwasser und Wasserversorgung

Unter Mitwirkung von:

LAWA Ausschuss Hochwasserschutz und Hydrologie
LAWA Ausschuss Klimawandel
LAWA Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer

Stand:

Februar 2026

Das Papier wurde durch die 171. LAWA-Vollversammlung am 05.08.2026 per Umlauf beschlossen.
Die UMK hat der Veröffentlichung des Papiers im Umlaufbeschluss ULV 26/2026 zugestimmt.

Die Bearbeitung erfolgte auf Basis des Produktdatenblattes PDB AG 12.

Lizensierung:

Der Text dieses Werkes wird, wenn nicht anders vermerkt unter, der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International zur Verfügung gestellt.

CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>)

Quellenangaben siehe jeweilige Abbildung, Abbildungen von der LAWA haben keine Angaben

Zitiervorschlag:

LAWA (2026): Eckpunkte zur harmonisierten Abschätzung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grundwasserdargebotes im Zuge des Klimawandels Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).

Inhalt

Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	4
2 Rechtliche Vorgaben mit Bezügen zur Grundwasserneubildung oder zum Grundwasserdargebot	5
3 Empfehlung zur Nutzung von Begriffen	7
4 Empfehlungen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Grundwasserneubildung aus Niederschlag	8
4.2.1 Problemstellung	8
4.2.2 Empfehlungen für statistische Betrachtungen und Kenngrößen	11
4.2.3 Empfehlungen bei der Nutzung von Wasserhaushaltsmodellierungen	12
4.2.4 Empfehlungen bei der Nutzung von Klimaprojektionen	13
5 Empfehlungen zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Gewinnbares Grundwasserdargebot	17
5.3 Nutzbares Grundwasserdargebot	18
5.4 Nutzbare Grundwasserdargebotsreserve	20
Literaturverzeichnis	21
Glossar	22
Anlage A – Statistische Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag am Beispiel von zwei Grundwasserkörpern in Hessen	26
Anlage B – Beispiel zur Bestimmung des Mittelwertes aus den fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten für die Klimanormalperioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020	30
Anlage C – Statistische Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag mittels der Kombination von Klimaprojektion und Wasserhaushaltsmodellierung am Beispiel von Niedersachsen	33
Anlage D – Methodischer Ansatz zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes in einer Bilanzeinheit	39

Vorwort

Neben anderen Faktoren stellt zunehmend der Klimawandel alle Beteiligten in der Wasserwirtschaft vor enorme Herausforderungen. Insbesondere die extremen Trockenperioden in den letzten Jahren haben den Fokus auf mögliche quantitative Veränderungen der natürlichen Süßwasserressourcen und letztlich des nutzbaren Grundwasserdargebotes zur Deckung des Wasserbedarfes der Gesellschaft gelenkt.

In der jüngeren Vergangenheit wurden auf Ebene des Bundes und der Länder mehrere Studien durchgeführt, wie sich der zukünftige Landschaftswasserhaushalt unter verschiedenen klimatischen Szenarien in Deutschland bis zum Jahr 2100 entwickeln könnte und was die damit verbundenen Auswirkungen auf die Wasserverfügbarkeit sind. Die dabei zugrunde liegenden unterschiedlichen Datengrundlagen und Auswertungsmethoden führen dazu, dass sich eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse als sehr schwierig herausgestellt hat bzw. nicht gegeben ist.

Die Nationale Wasserstrategie weist darauf hin, dass es für den vorausschauenden planerischen Umgang mit Wassernutzungskonflikten zunächst verlässlicher Grundlagen bedarf, wie z. B. besserer Modelle und Szenarien zur regional differenzierten Abschätzung des künftig verfügbaren Wasserdargebotes in erforderlicher Qualität einerseits und der Wasserbedarfe andererseits. Ziel ist es, in Kooperation des Bundes mit den Ländern eine umfassende flächendeckende zukunftsorientierte wasserwirtschaftliche Bilanzierung aufzubauen, die sowohl regionale wie überregionale Analysen und die Ableitung geeigneter übergeordneter Maßnahmen zur Gewährleistung eines möglichst naturnahen, regionalen Wasserhaushalts – unter Einbeziehung des Wasserbedarfs der Ökosysteme – ermöglicht. Dazu sind u. a. flächendeckende Wasserhaushaltsmodellierungen (einschließlich einer hydrogeologischen Modellierung) sowie deren Verknüpfung mit Klimaprojektionen als Basis für mittel- bis langfristig angelegte flächendeckende Wasserdargebots- und Wasserbedarfsanalysen erforderlich.

Aus den o. g. Gründen hat der LAWA-Ausschuss „Grundwasser und Wasserversorgung“ die Harmonisierung von Methoden zur Erstellung von Wasserbilanzen zur Quantifizierung der Grundwasserneubildung und zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes für prioritär erachtet. Dazu sollte ein Eckpunktepapier mit Empfehlungen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag und des nutzbaren Grundwasserdargebotes erarbeitet werden, wobei eine einheitliche konkrete Berechnungsmethode aber nicht angestrebt wird. Die LAWA-Vollversammlung hat das Projekt im März 2023 in ihr Arbeitsprogramm aufgenommen.

Das vorliegende Eckpunktepapier wurde in einer Arbeitsgruppe mit Personen verschiedener Institutionen aus zwölf Bundesländern erarbeitet. Vorausgegangen war ein zweitägiger Workshop unter Beteiligung von Vertretern aus den Ministerien, Landesämtern aller Bundesländer, Wasserversorgern und Verbänden in Hannover 2023, bei dem Empfehlungen für die thematische Ausrichtung der Eckpunkte erarbeitet wurden.

Das Eckpunktepapier dient zur Festlegung übereinstimmender Konventionen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag und des nutzbaren Grundwasserdargebotes auf Ebene des Bundes, der Länder oder anderer administrativer Einheiten sowie auf Flussgebiets-, Teileinzugsgebiets- und Grundwasserkörperebene.

Dies ist notwendig, damit bei der Bewertung des Grundwasserzustandes sowie bei der Ermittlung gefährdeter Grundwasserkörper im Sinne des guten mengenmäßigen Zustandes gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie auf Ebene der Länder und Flussgebietsgemeinschaften vergleichbare Methoden bundesweit verwendet werden.

1 Anwendungsbereich

Das Eckpunktepapier gilt für die Abschätzung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grundwasserdargebotes auf Ebene des Bundes, der Länder, der Fluss(teil)inzugsgebiete und der Grundwasserkörper. Es ergänzt die bestehende LAWA-Methodik „Fachliche Umsetzung der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (2006/118/EG), Teil 5, bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands (Sachstandsbericht vom 25. August 2011)“ für die Erstellung detaillierter Wasserbilanzen im Rahmen der Risikobewertung des mengenmäßigen Zustands von Grundwasserkörpern insbesondere im Hinblick auf die Bilanzierung und die gesonderte Berücksichtigung von Trockenperioden.

Es kann in anderen zu bilanzierenden Einheiten, z. B. hydrogeologische Teilräume oder administrative Einheiten, für die Beantwortung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen oder Vollzugsanwendungen jeweils unter Einbeziehung der spezifischen lokalen Gegebenheiten, wie z. B. die Ergiebigkeit von Grundwasservorkommen, angewendet werden. Wenn zusätzliche oder höher aufgelöste Informationen vorliegen, liefern diese wichtige Ergänzungen und ermöglichen ggf. gebietsspezifische Anpassungen. Bei den entsprechenden Informationen kann es sich z. B. um Monitoringdaten und genauere hydrogeologische Informationen aus Gutachten und Detailmodellen handeln.

Die Ergebnisse aus den Methoden des Eckpunktepapieres können zudem einen ersten Ansatz zur Abschätzung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grundwasserdargebotes im Rahmen wasserrechtlicher Genehmigungsverfahren zur Entnahme von Grundwasser bilden.

2 Rechtliche Vorgaben mit Bezügen zur Grundwasserneubildung oder zum Grundwasserdargebot

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) und die Grundwasserverordnung (GrwV) beschreiben die grundsätzlichen Anforderungen zu den allgemeinen Grundsätzen der Gewässerbewirtschaftung und den Bewirtschaftungszielen beim Grundwasser.

Auf Ebene der Grundwasserkörper gibt § 3 Absatz 1 WHG vor, dass das Risiko, die Bewirtschaftungsziele des § 47 WHG nicht zu erreichen, gegeben ist, wenn die mittlere Grundwasserentnahme das nutzbare Grundwasserdargebot übersteigt. Weiterhin fordert § 6 Absatz 1 WHG, dass die Gewässer nachhaltig zu bewirtschaften sind, insbesondere mit dem Ziel,

1. ihre Funktions- und Leistungsfähigkeit als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tiere und Pflanzen zu erhalten und zu verbessern, insbesondere durch Schutz vor nachteiligen Veränderungen von Gewässereigenschaften,
2. Beeinträchtigungen auch im Hinblick auf den Wasserhaushalt der direkt von den Gewässern abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete zu vermeiden und unvermeidbare, nicht nur geringfügige Beeinträchtigungen so weit wie möglich auszugleichen,
3. sie zum Wohl der Allgemeinheit und im Einklang mit ihm auch im Interesse Einzelner zu nutzen,
4. bestehende oder künftige Nutzungsmöglichkeiten insbesondere für die öffentliche Wasserversorgung zu erhalten oder zu schaffen,
5. möglichen Folgen des Klimawandels vorzubeugen,
6. an oberirdischen Gewässern soweit wie möglich natürliche und schadlose Abflussverhältnisse zu gewährleisten und insbesondere durch Rückhaltung des Wassers in der Fläche der Entstehung von nachteiligen Hochwasserfolgen vorzubeugen.

Die nachhaltige Gewässerbewirtschaftung hat ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu gewährleisten; dabei sind mögliche Verlagerungen nachteiliger Auswirkungen von einem Schutzgut auf ein anderes sowie die Erfordernisse des Klimaschutzes zu berücksichtigen.

§ 4 Absatz 2 GrwV konkretisiert das WHG und stuft den mengenmäßigen Grundwasserzustand als gut ein, wenn

1. die Entwicklung der Grundwasserstände oder Quellschüttungen zeigt, dass die langfristige mittlere jährliche Grundwasserentnahme das nutzbare Grundwasserdargebot nicht übersteigt und
2. durch menschliche Tätigkeiten bedingte Änderungen des Grundwasserstandes zukünftig nicht dazu führen, dass
 - 2.1. die Bewirtschaftungsziele nach den §§ 27 und 44 des WHG für die Oberflächengewässer, die mit dem Grundwasserkörper in hydraulischer Verbindung stehen, verfehlt werden,
 - 2.2. sich der Zustand dieser Oberflächengewässer im Sinne von § 3 Nummer 8 des Wasserhaushaltsgesetzes signifikant verschlechtert,
 - 2.3. Landökosysteme, die direkt vom Grundwasserkörper abhängig sind, signifikant geschädigt werden und

2.4. das Grundwasser durch Zustrom von Salzwasser oder anderen Schadstoffen infolge räumlich und zeitlich begrenzter Änderungen der Grundwasserfließrichtung nachteilig verändert wird.

Aus den genannten Anforderungen und insbesondere aus den Formulierungen des § 4 Absatz 2 GrwV zum guten mengenmäßigen Zustand des Grundwassers lassen sich zu berücksichtigende Aspekte bei der Festlegung von Konventionen zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes ableiten, wie z. B. Faktoren zur Berücksichtigung des Mindestabflusses in oberirdischen Gewässern, von grundwasserabhängigen Landökosystemen oder des Zustroms von Belastungs- bzw. Schadstoffen (z. B. Salzwasser).

3 Empfehlung zur Nutzung von Begriffen

Ein wichtiger Aspekt zur harmonisierten Abschätzung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grundwasserdangebotes ist die Anwendung gleicher Begrifflichkeiten. Erst damit ist es möglich, verschiedene Bestimmungen mit Blick auf vergangene Zeitreihen und Projektionen mit Blick in die Zukunft nachvollziehbar vergleichen und besser bewerten zu können.

Aus diesem Grunde sind in allen zukünftigen Bestimmungen und Projektionen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung und des nutzbaren Grundwasserdangebotes ausschließlich die Begriffe der DIN 4049-3 zu verwenden [1].

Eine Auswahl der wichtigsten Begriffe findet sich im Glossar.

4 Empfehlungen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung

4.1 Allgemeines

Grundwasserneubildung bezeichnet den Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser. Im oberen Grundwasserstockwerk sind verschiedene Arten der Grundwasserneubildung zu unterscheiden:

- Neubildung durch Niederschlag: Das Grundwasser wird durch das Versickern von Niederschlagswasser gespeist. Diese Art der Neubildung stellt den Regelfall dar.
- Neubildung durch Seihwasser: Das Grundwasser wird durch Oberflächenwasser aus Flüssen oder Seen, das durch den Untergrund versickert, gespeist. Die speisenden Gewässer sind hier durch eine Bodenschicht vom Grundwasser getrennt, durch die das Seihwasser hindurchsickert.
- Neubildung durch Influenz: Das Grundwasser wird direkt durch Oberflächenwasser aus Flüssen, Seen oder künstlichen Infiltrationsbecken bzw. -gräben ohne Versickerung durch den Untergrund gespeist.

Die Grundwasserneubildung im oberen Grundwasserleiter hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. der Menge und dem Zeitpunkt des Niederschlags, der Höhe der Verdunstung, dem Relief der Landschaft, der Flächennutzung sowie der bodenkundlichen und geologischen Untergrundbeschaffenheit.

In der Praxis werden verschiedene Verfahren zur Abschätzung der Grundwasserneubildung genutzt, die zum Teil deutliche Unterschiede in den Ergebnissen zeigen können. Bei den Ergebnissen handelt es sich grundsätzlich um eine rechnerisch abgeschätzte Grundwasserneubildung, da eine flächenhafte Messung der Grundwasserneubildung nicht möglich ist. Die Ergebnisse der verschiedenen Methoden können daher von der Realität abweichen. Bei tieferen Grundwasserleitern bestimmt sich die Grundwasserneubildung im Wesentlichen durch Zusickerung und Leckage von Grundwasser aus über- bzw. unterlagernden Grundwasserleitern.

Im Folgenden wird näher auf die Harmonisierung für den Regelfall der Neubildung aus Niederschlag eingegangen. Die Abschätzung der Grundwasserneubildung durch die Einspeisung von Oberflächenwasser (Seihwasser, Influenz) muss jeweils angepasst auf die spezifischen Verhältnisse vor Ort mit den hydrogeologischen und hydraulischen Rahmenbedingungen vorgenommen werden.

4.2 Grundwasserneubildung aus Niederschlag

4.2.1 Problemstellung

Den Empfehlungen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) entsprechend ist es in Deutschland üblich, zur Beschreibung des Klimas und seiner Änderungen Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahren zu bilden. Dadurch wird der Einfluss der natürlichen Variabilität aus der statistischen Betrachtung des Klimas bewusst reduziert.

Vergleiche müssen im Kontext der jeweiligen Klima- bzw. Niederschlagsverhältnisse gesehen werden. Je nach Zeitraum und unter Berücksichtigung verschiedener statistischer Kenngrößen können sich beträchtliche Unterschiede ergeben. Im Zusammenhang mit der aktuellen Klimaentwicklung ist davon auszugehen, dass sich diese Situation noch verstärken kann.

Im Wesentlichen lassen sich folgende Problemstellungen festhalten:

- hohe Variabilität der jährlichen Grundwasserneubildung aus Niederschlag, verbunden mit der Einbeziehung langjähriger Zeiträume mit hoher oder geringer Grundwasserneubildung,
- Differenzen zwischen den Ergebnissen von Wasserhaushaltsmodellen,
- unterschiedliche Umsetzung von Konventionen bei Klimaprojektionen.

Die Niederschläge des hydrologischen Winterhalbjahres als Haupteinflussgröße für die Grundwasserneubildung aus Niederschlag weisen eine ausgeprägte zeitliche Dynamik auf, mit Wechseln von niederschlagsarmen und niederschlagsreichen Perioden (siehe Abbildung 1).

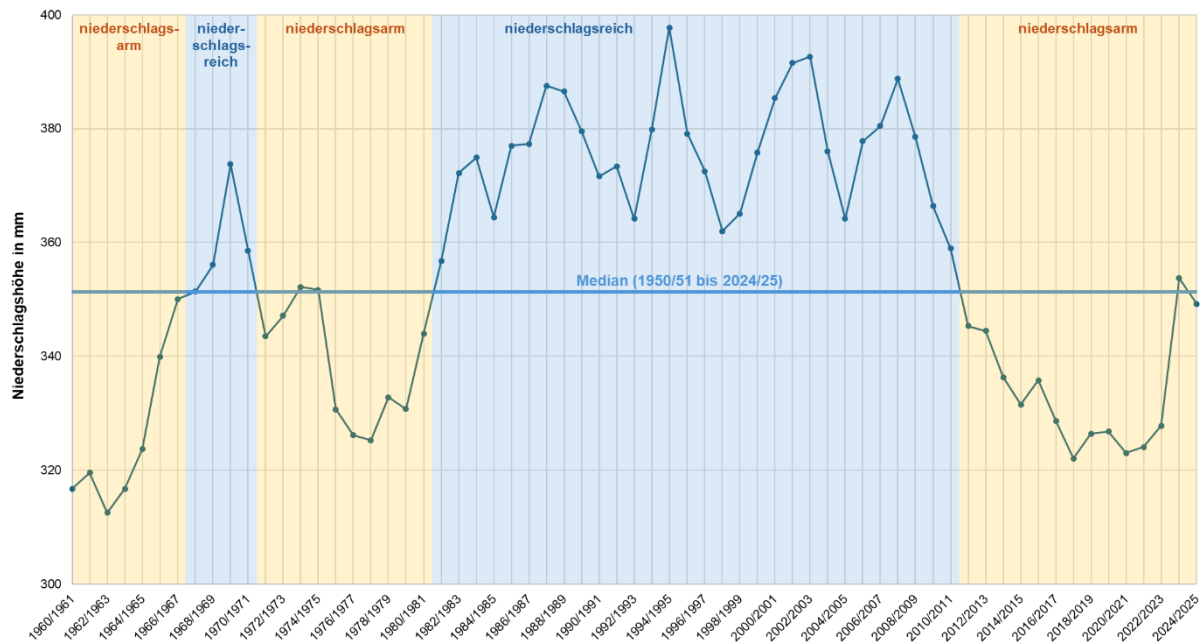


Abbildung 1: Gleitende Dekadenmittelwerte des Niederschlages im hydrologischen Winterhalbjahr (blaue Linie) und Perioden mit unterschiedlicher Niederschlagscharakteristik für Deutschland im Zeitraum 1961 bis 2025 (Quelle: Daten des DWD)

Dies wirkt sich in verstärktem Maße direkt auf die Variabilität der jährlichen Grundwasserneubildungsraten aus, so dass gegenüber einem langjährigen Mittelwert oft große prozentuale Abweichungen auftreten (siehe Abbildung 2). Da entsprechende Defizite der Grundwasserneubildung (zehn Jahre und kürzer) bereits eine für die Wasserversorgung relevante Verknappung des nutzbaren Grundwasserdargebotes bedeuten können, ist es wichtig, insbesondere auch mehrjährigen Trockenperioden Rechnung zu tragen.

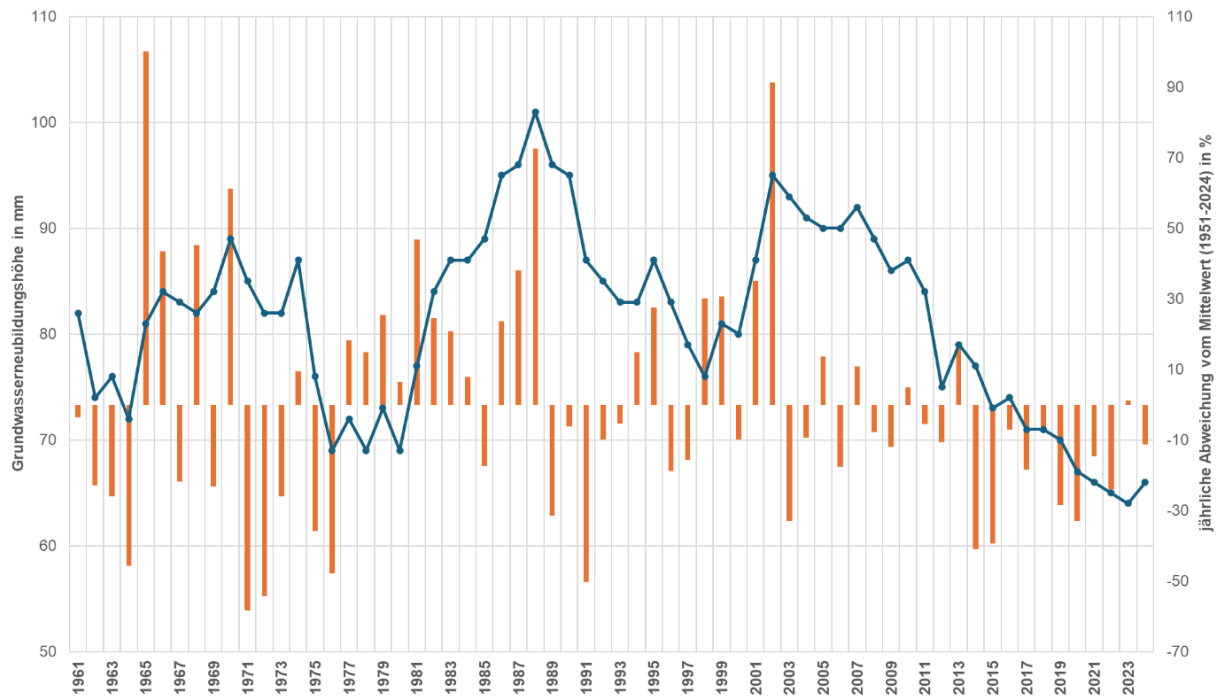


Abbildung 2: Gleitende Dekadenmittelwerte der simulierten Grundwasserneubildung aus Niederschlag (blaue Linie) und jährliche Abweichung vom langjährigen Mittelwert (orangene Balken) im Zeitraum 1961 bis 2024 beispielhaft für den Landkreis Ansbach (Quelle: LfU Bayern)

In Deutschland kommen für die Abschätzung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Insbesondere für größere Gebiete werden dazu verschiedene Wasserhaushaltsmodelle, wie z. B. GWN-BW, mGROWA, ArcEGMO, RUBINFLUX, BAGROV-GLUGLA und mHM, genutzt. Die Wahl des Verfahrens ergibt sich in der Regel durch die Gebietsausprägung, die maßgeblichen Einflussgrößen im regionalen Wasserhaushalt (siehe Tabelle 1), den Anwendungszweck, den räumlichen und zeitlichen Betrachtungsmaßstab und die daraus resultierende Datenverfügbarkeit. Je nach der Art des Verfahrens (von statistisch-empirisch bis hin zu prozessbasierten Modellen) werden die Bilanzglieder bzw. Abflusskomponenten unterschiedlich detailliert abgebildet. Oft herrscht ein unterschiedliches Begriffsverständnis vor. Je nach Modellvorstellung kommen unterschiedliche Vergleichsgrößen zum Einsatz (z. B. Lysimetermessungen der Sickerwasserrate, Gesamt- und Basisabfluss in Einzugsgebieten von Pegeln, unterschiedliche Definition der Abflusskomponenten), die aufgrund der räumlichen Repräsentativität nur eingeschränkt zur Validierung geeignet sind. Die unterschiedliche Abflussseparation in den Modellen und die unterschiedliche Ableitung des Basisabflusses aus Messdaten sind häufig Ursachen für Differenzen zwischen den Modellergebnissen zur Abschätzung der Grundwasserneubildung. Eine weitere Ursache für Differenzen ist die Verwendung unterschiedlicher Eingangsdaten und Betrachtungszeiträume.

Bei den Klimaprojektionen wurden bislang bereits getroffene Konventionen zur Bereitstellung und Auswertung von regionalen meteorologischen Projektionsdaten oftmals nicht umgesetzt. Das erschwert die Vergleichbarkeit und Transparenz untereinander. Insbesondere die Evaluation der regionalen Klimasimulationen und deren Auswertung ist bisher nicht hinreichend koordiniert durchgeführt worden. Beispielsweise wurden für verschiedene Anwendungen und Regionen nicht übereinstimmende, nach unterschiedlichen Kriterien definierte Klimaprojektionsensembles zusammengestellt. Dies

führte teilweise zu uneinheitlichen Aussagen einiger Indikatoren des Klimawandels für dieselbe Region oder zu Brüchen an Landesgrenzen.

Wegen der unterschiedlichen Vorgehensweisen ist es sowohl bei den Wasserhaushaltsmodellierungen als auch bei den Klimaprojektionen zwingend erforderlich, die verwendeten Datengrundlagen, Kenngrößen, Methoden und Verfahren zu dokumentieren, um Vorgehensweisen transparent sowie Ergebnisse nachvollziehbar und vergleichbar zu machen. In den folgenden Abschnitten werden entsprechende Empfehlungen gegeben, um dieses Ziel zu erreichen.

4.2.2 Empfehlungen für statistische Betrachtungen und Kenngrößen

In der wasserwirtschaftlichen Planung wird bislang als Grundlage für die Abschätzung der Grundwasserneubildung in der Regel eine zurückliegende Klimanormalperiode und der dazugehörige langjährige Mittelwert genutzt. In Analogie zu den Klimakonventionen der WMO sollte für die Abschätzung der Grundwasserneubildung durch Niederschlag die derzeit aktuelle Klimanormalperiode von 1991 bis 2020 genutzt werden. Für die Bewertung der längerfristigen Entwicklung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag empfiehlt es sich, zusätzlich die WMO-Klimareferenzperiode von 1961 bis 1990 als Vergleichsmaßstab zu nutzen.

Allerdings ist aus heutiger Sicht für die Abschätzung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag der 30-jährige Mittelwert aufgrund der feststellbaren klimatisch bedingten Dynamik als alleinige Kenngröße nicht mehr hinreichend geeignet und sollte durch besser geeignete Kenngrößen ersetzt werden. Für die beiden o. g. 30-Jahresperioden sollten deshalb jeweils für die weitergehende statistische Betrachtung der jährlichen Grundwasserneubildung aus Niederschlag folgende Kenngrößen genutzt werden:

- arithmetischer Mittelwert (nur zum Vergleich mit früheren Abschätzungen aus anderen Perioden, die sich auf den Mittelwert beziehen),
- Median als Maß für mittlere Verhältnisse,
- Mittelwert aus den fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten (GDM_{5min}) als Maß für Perioden mit einer niedrigen Grundwasserneubildung.

Für eine ergänzende Analyse und Darstellung der Schwankungsbreiten sind z. B. dazugehörige Box-Plot-Diagramme hilfreich.

Statt des arithmetischen Mittelwertes sollte zukünftig der Median als erste Kenngröße verwendet werden, weil dieser robust gegenüber extremen Werten (Ausreißern) und bei nicht normalverteilten Werten daher oft aussagekräftiger ist.

Um insbesondere längeren niederschlagsarmen Zeiträumen und deren Auswirkungen auf eine Reduzierung der Grundwasserneubildung besser Rechnung zu tragen, sollte zur Orientierung als Konvention zukünftig neben der Verwendung des Medianwertes zusätzlich der Mittelwert aus den fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten (GDM_{5min}) einer 30-jährigen Klimanormalperiode betrachtet werden. Liegen gebietspezifisch weitergehende Informationen zur Reaktion von Grundwasservorkommen auf Trockenperioden vor, können ggf. methodische Anpassungen oder die ergänzende Betrachtung weiterer Kennwerte erforderlich werden.

Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass längere Zeiträume mit einer geringeren Grundwasserneubildung in die wasserwirtschaftliche Planung einbezogen werden.

Anlage A beschreibt das Vorgehen exemplarisch anhand von zwei Grundwasserkörpern in Hessen. Anlage B zeigt exemplarisch die Bestimmung des GDM_{5min} für die Klimanormalperioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020.

4.2.3 Empfehlungen bei der Nutzung von Wasserhaushaltsmodellierungen

Für die Abschätzung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag sind heute Wasserhaushaltsmodellierungen anstelle einfacher analoger Verfahren zu verwenden. Welches Modell genutzt wird, bleibt freigestellt. Dabei sind in allen Bilanzeinheiten gemäß Abschnitt 1 folgende einheitliche Eingangsdaten mit den jeweils aktuellen Zeiträumen und passend zur Datenlage möglichst hoher räumlicher Auflösung zu verwenden:

- regionalisierte Datensätze aus Messstationen des Deutschen Wetterdienstes für Niederschlag, Temperatur und weitere klimatische Parameter (z. B. Tagesdatensätze HYRAS-DE), sofern keine regionalisierten DWD-Produkte vorliegen, können Stationsdaten für einzelne Klimaparameter verwendet werden,
- regionalisierte Datensätze aus abgeleiteten Parametern des Deutschen Wetterdienstes, wie z. B. potenzielle Verdunstung und Grasreferenzverdunstung, für Wasserhaushaltsmodelle, die diese Parameter als Eingangsgröße nutzen,
- für die Flächennutzung die aktuellsten verfügbaren Daten, wie z. B. das Digitale Landbedeckungsmodell (CORINE Land Cover) oder das Digitale Basis-Landschaftsmodell (ATKIS) des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie; für den Versiegelungsgrad sind darüber hinaus die bestverfügbaren Datensätze zu nutzen,
- ein dem Maßstabsbereich der Modellierung angemessenes Digitales Geländemodell des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie oder der entsprechenden Landesdienste; für räumlich sehr hoch aufgelöste Modellierungen käme dafür beispielsweise das Digitale Geländemodell DGM5 in Betracht,
- Informationen zum Boden möglichst aus den Bodenkundlichen Karten 1:50.000 oder vergleichbar der Geologischen Dienste der Bundesländer; bei bundeslandübergreifenden Simulationen sollte aufgrund der fehlenden Harmonisierung der Bodendaten die Bodenübersichtskarte 1:200.000 der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe genutzt werden,
- bestverfügbare Datensätze zu Drainagen und sonstigen künstlichen Entwässerungssystemen,
- Grundwasserniedrigst- und Grundwasserhöchststände.

Darüber hinaus sind folgende Grundanforderungen bei der Nutzung von Wasserhaushaltsmodellen zu beachten:

- Die Modelle sollten einen möglichst geringen Rasterabstand oder Raumelemente mit möglichst geringen Flächengrößen aufweisen, um die Heterogenität der Eingangsdaten bestmöglich zu berücksichtigen.
- Als zeitliche Auflösung sollten Tageswerte berechnet werden, aus denen sich dann weitere Werte aggregieren lassen (z. B. Monate, hydrologische Halbjahre, Jahre, 30-jährige Klimanormalperiode).

- Es sind mindestens die Bilanzglieder der Tabelle 1 zu berechnen, wobei weitere Bilanzglieder (z. B. Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss, Sickerwasserrate, Bodenspeicher, Schneespeicher, kapillarer Aufstieg, urbaner Abfluss, Drainage/künstliche Entwässerung) auch berechnet werden können.
- Eine Evaluierung des Wasserhaushaltsmodells sollte mittels möglichst unbeeinflusster Abflussmessdaten in den Vorflutern durchgeführt werden. Eine maximale Abweichung von im Mittel zehn Prozent zwischen berechnetem und gemessenem Abfluss in langjährigen Zeiträumen sollte als Gütekriterium für eine gute Modellierung angestrebt werden.

Tabelle 1: Übersicht der mindestens zu berechnenden Bilanzglieder in der Wasserhaushaltsmodellierung

Bilanzglieder	Bemerkungen
tatsächliche Verdunstung	Es gibt verschiedene Berechnungsverfahren; kapillarer Aufstieg kann lokal-regional eine wichtige Rolle spielen.
Gesamtabfluss	Ist eine Validierungsgröße und entspricht oft in durchlässigen Lockergesteinsregionen der Grundwasserneubildung.
Direktabfluss	Drainageabfluss und urbaner Abfluss können lokal-regional eine wichtige Rolle spielen.
Basisabfluss	Wird oft als Äquivalentwert für die Grundwasserneubildung verwendet.
Grundwasserneubildung	Hauptzielgröße der Wasserhaushaltsmodellierung; entspricht nicht der Sickerwasserrate der durchwurzelten Bodenzone.

4.2.4 Empfehlungen bei der Nutzung von Klimaprojektionen

Klimaprojektionen helfen, den zukünftigen Einfluss des Klimawandels auf die Änderung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag bewerten zu können. Für die wasserwirtschaftliche Planung bieten sich dafür Klimaprojektionen mit einem Planungshorizont bis Mitte des Jahrhunderts an, z. B. mit der künftigen Klimanormalperiode von 2031 bis 2060. Die Berücksichtigung zeitlich darüber hinausgehender Projektionen, z. B. bis Ende des Jahrhunderts, kann für längerfristige wasserwirtschaftliche Planungen sinnvoll sein.

Beim Einsatz von Klimaprojektionen sind ähnlich wie bei den Wasserhaushaltsmodellierungen möglichst einheitliche Methoden und Konventionen zielführend. Dazu gibt das Bund-Länder-Fachgespräch „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ unter Beteiligung vieler Bundesländer, verschiedener Bundesbehörden (DWD, UBA, BfG, BSH) und einer Großforschungseinrichtung den entsprechenden Rahmen vor. Dort werden der aktuelle Stand der Forschung und gemeinsame Vorgehensweisen im Umgang mit regionalen Klimaprojektionen diskutiert und koordiniert [2]. Im Rahmen dieses Fachgesprächs werden weiterhin die „Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten“ kontinuierlich aktualisiert und bereitgestellt, um ein einheitliches und am Stand der Wissenschaft orientiertes Vorgehen bei der Verarbeitung von Klimaprojektionen zu gewährleisten [3]. Diese Ergebnisse sind auch für die Abschätzung des Ein-

flusses des Klimawandels auf die Änderung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag zu beachten. Aus den Leitlinien lassen sich folgende Konventionen für Projektionen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag ableiten:

- Grundwasserneubildungsprojektionen sind für ein jeweiliges Klimaszenario mit einem Ensemble (je Klimaszenario eine Zusammenstellung von Klimamodellkombinationen aus Global- und Regionalmodellen) durchzuführen. Grundlage sind die vom DWD bereitgestellten Klimamodellkombinationen und die daraus zusammengestellten Referenz- und Kernensembles der Bundesländer. Bei ländergrenzübergreifenden Klimaprojektionen sollte eine Harmonisierung bi- oder multilateral mit dem Einzugsgebiet oder einem Grundwasserkörper als Bezug abgestimmt erfolgen.
- Es sollte aus dem Referenz- bzw. dem Kernensemble die Ergebnisbandbreite (Minimum und Maximum) kommuniziert werden.
- Um den systematischen Unterschied zwischen den Modellprojektionen und den beobachteten realen Werten (Bias) zu minimieren, ist es erforderlich, für jede Grundwasserneubildungsprojektion die Änderung der Zukunft (z. B. 2031 bis 2060) zur klimamodellierten Vergangenheitsperiode (derzeit 1971 bis 2000) auf die Daten der Grundwasserneubildung, berechnet mit Beobachtungsdaten aus den Wasserhaushaltsmodellen (derzeit 1971 bis 2000), zu übertragen.
- Auswertungen müssen auf mindestens 30-jährige Zeiträume angewendet werden, da Klimaprojektionen keine Einzeljahre, sondern langfristige klimatische Bedingungen abbilden.
- Es dürfen keine lokalen Aussagen direkt aus dem feinskaligen Wasserhaushaltsmodell genutzt werden, da Klimaprojektionen das Klimasignal für klimatologische Räume beschreiben. Als allgemeingültige Konvention gilt es, mindestens Flächen der Größe von 3x3 Rasterzellen zu betrachten. Bei einer Kantenlänge von jeweils 5 km der regionalen Klimamodelle entspricht das einer Fläche von 225 km². Wenn eine Bilanzeinheit diesen Wert unterschreitet, dann sollte das Änderungssignal auf der Ebene einer größeren Einheit abgeleitet werden. Für die Aggregation von Klimaprojektionsdaten wird empfohlen, die vom DWD bereitgestellten klimatischen Naturräume zu verwenden [4]. Diese stellen die kleinste interpretierbare Raumeinheit für Gebietsauswertungen dar; sie sind so abgegrenzt, dass innerhalb ihrer Grenzen jeweils Regionen mit sehr ähnlichen klimatischen Charakteristika zusammengefasst werden.

Dem Vorsorgeprinzip folgend wird empfohlen, das Hoch-Emissionsszenario (z. B. RCP8.5) zu betrachten, da für die wasserwirtschaftliche Planung im Kontext der Grundwasserbewirtschaftung eine Verwendung von unterschiedlichen Szenarien und einer Ergebnisbandbreite für jedes Szenario meist nicht praktikabel ist. Weitere Szenarien können für einen zusätzlichen Erkenntnisgewinn und eine erweiterte Risikoabschätzung ergänzend betrachtet werden. Es sollte die Ergebnisbandbreite aus allen genutzten regionalen Klimamodellen des Kern- bzw. Referenzensembles des jeweiligen Bundeslandes dargestellt werden.

Insgesamt lässt sich in der Kombination aus den Ergebnissen der Vergangenheit mittels Wasserhaushaltsmodellierung (Rückblick) mit den Ergebnissen aus den Klimaprojektionen in Verbindung mit Wasserhaushaltsmodellierungen (Vorblick) ein besseres Verständnis der langfristigen Dynamik der Grundwasserneubildung aus Niederschlag in einer zu bilanzierenden Einheit ableiten.

Anlage C beschreibt das Vorgehen exemplarisch anhand von zwei Grundwasserkörpern in Niedersachsen.

5 Empfehlungen zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes

5.1 Allgemeines

Als Grundwasserdargebot wird gemäß DIN 4049-3 die Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt bezeichnet. Es wird durch verschiedene Methoden und Verfahren abgeschätzt, die sowohl naturwissenschaftliche als auch technische Ansätze umfassen. Dazu gehören insbesondere:

- **Hydrogeologisches Modell:** Das Hydrogeologische Modell beschreibt das Grundwassersystem hinsichtlich seiner Geometrie, (Hydro-)Geologie, Hydraulik und maßgeblicher Randbedingungen [5]. Das Modell bildet somit das Rahmenkonzept für das gebietsspezifische Vorkommen von Grundwasser sowie die Ergiebigkeit und die Grundwasserbeschaffenheit von Grundwasserleitern.
- **Hydrogeologische Bilanzierung:** Die Bilanzierung berücksichtigt alle Zu- und Abflüsse in Grundwasserleitern, wie z. B. Grundwasserneubildung, laterale Zu- und Abflüsse, vertikale Züsickerung und Leckagen sowie ggf. anthropogene Überprägungen (z. B. Polder, Bergbauregion).
- **Grundwassermessdaten:** Dazu werden an verschiedenen Punkten Grundwassermessstellen eingerichtet, um den Grundwasserstand und die Grundwasserqualität zu überwachen.
- **Grundwasserströmungsmodellierung:** Numerische Grundwasserströmungsmodelle berücksichtigen hydrologische und (hydro)geologische Daten und werden verwendet, um die Grundwasserdynamik in verschiedenen Szenarien zu simulieren.

Eine Kombination von Methoden kann hilfreich sein, um eine bessere Abschätzung des Grundwasserdargebotes zu erhalten.

Nachfolgend werden nur Grundwasserleiter mit Süßwasservorkommen betrachtet.

Grundsätzlich wird zwischen dem gewinnbaren und dem nutzbaren Grundwasserdargebot unterschieden. Das gewinnbare Grundwasserdargebot ist der Teil des Grundwasserdargebotes, der mit technischen Mitteln entnehmbar ist. Es hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie z. B. Grundwasserneubildung, Ausdehnung der Grundwasserleiter und deren hydraulische Parameter und Ergiebigkeit, laterale Zu- und Abflüsse, vertikale Züsickerung und Leckagen sowie technische Ausgestaltung der Entnahmebrunnen. Das nutzbare Grundwasserdargebot ist der Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebotes, der für die Wasserversorgung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann [1].

Grundsätzlich besteht die Schwierigkeit darin, ein dynamisches Grundwassersystem mit einem eher statischen System der wasserwirtschaftlichen Planung für Infrastrukturen, die eine Planungssicherheit von mehreren Jahrzehnten benötigen, miteinander zu koppeln.

Die Abschätzung des Grundwasserdargebotes sollte daher angemessen und bestmöglich die Aspekte in Bezug auf eine nachhaltige Nutzung sowie auf die Planungs-

und Versorgungssicherheit für Wasserversorgungsinfrastrukturen gleichermaßen berücksichtigen. Aus diesem Grunde ist im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Planung auch hier die Betrachtung eines Zeitraumes von 30 Jahren möglich und sinnvoll.

Für den Fall, dass regionale und gut kalibrierte Grundwasserströmungsmodelle zur Verfügung stehen, sind diese für die Planung maßgeblich, da sie das dynamische System gut abbilden können und sie auch zur Prognose künftiger Entwicklungen herangezogen werden können.

Für den Fall, dass in einer Bilanzeinheit entsprechend Abschnitt 1 kein entsprechendes Modell zur Verfügung steht, kann der methodische Ansatz zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes gemäß Anlage D verwendet werden.

Entsprechendes gilt für Planungen und in der Zukunft liegende absehbare Entwicklungen, die zu einem künftigen Defizit führen können. Diese Daten sind berichtspflichtig und wenn ein Defizit oder eine künftige Gefährdung auf diesem Wege auf Ebene der Bilanzeinheit identifiziert wird, entsteht notwendigerweise Handlungsbedarf im Bereich der Grundwasserbewirtschaftung (Maßnahmenprogramm nach § 82 WHG). Infolgedessen ist eine Verzahnung der in diesem Papier vorgestellten Methodik mit der Vorgehensweise zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes bei der wasserrechtlichen Zulassung unumgänglich.

Für Bilanzierungszwecke ist zunächst zu prüfen, ob eine Raumeinheit (z. B. ein Grundwasserkörper) im bisherigen Zuschnitt als Bilanzeinheit verwendbar ist oder ob davon abgewichen werden muss, z. B. weil hydraulische Verbindungen zu einem anderen Grundwasserleiter bestehen, weil die Bilanzeinheit nicht durch grundwasserhydraulische Grenzen bestimmt ist oder weil innerhalb eines bisher definierten Grundwasserkörpers faktisch eine hydraulische Barriere besteht, die zu einer Unterteilung führen könnte.

5.2 Gewinnbares Grundwasserdargebot

Die Abschätzung des gewinnbaren Grundwasserdargebotes erfolgt schrittweise unter Berücksichtigung der Ergiebigkeit des jeweiligen Grundwasserleiters.

Ausgangsbetrachtungsgrößen zur Abschätzung der Ergiebigkeit im obersten Grundwasserleiter sind:

- Informationen über die Verbreitung und Durchlässigkeit des Untergrundes liefert z. B. die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1:250.000 der Bundesanstalt für Geowissenschaften
- Informationen über die Verbreitung von Bereichen, die aus hydrochemischer Sicht für eine Grundwasserentnahme nicht in Frage kommen, z. B. durch Versalzung, liefern Karten der Geologischen Dienste der Länder,
- Informationen zu anthropogen bedingten Belastungsbereichen im Grundwasser, die bei entsprechender Größenordnung das Dargebot einschränken können, z. B. Altlasten, Sümpfen,
- Grundwasserneubildung aus Niederschlag gemäß Abschnitt 4.2,
- Grundwasserneubildung durch Seihwasser und/oder Influenz,
- laterale Zu- und Abflüsse,
- vertikale Zu-/Ausssickerungen sowie Leckagen,

- künstliche Grundwasseranreicherung,
- Grundwasserzehrung durch Verdunstung, falls dies noch nicht bei der Abschätzung der Grundwasserneubildung berücksichtigt wurde.

Daraus ergibt sich für eine 30-jährige Periode als Basisgröße das gewinnbare Grundwasserdargebot. Es umfasst die Menge an Grundwasser, die für die Nutzung grundsätzlich mit technischen Mitteln verfügbar gemacht werden kann.

Ausgangsbetrachtungsgrößen zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes in tieferen Grundwasserleitern sind:

- Informationen über die Verbreitung und Durchlässigkeit des Untergrundes, inklusive der Verbreitung von Bereichen, die aus hydrochemischer Sicht, z. B. durch Versalzung für eine Nutzung nicht in Frage kommen; Informationen dazu liefert die Hydrogeologische Übersichtskarte von Deutschland 1:250.000 der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie weitere Karten der Geologischen Dienste der Länder,
- laterale Zu- und Abflüsse,
- vertikale Zu-/Aussickerungen und Leckagen.

Für tiefere Grundwasserstockwerke kann die Betrachtung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag nicht unmittelbar zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes herangezogen werden. Die Grundwasserneubildung in tieferen Grundwasserstockwerken erfolgt im Wesentlichen durch Zusickerungen und Leckagen aus über- bzw. unterlagernden Grundwasserleitern. Zur Validierung und Überprüfung des abgeschätzten gewinnbaren Grundwasserdargebotes sind Monitoringdaten von Grundwassermessstellen und Gewinnungsanlagen relevant, wie z. B. Grundwasserstandsdaten oder Pumpversuchsauswertungen.

5.3 Nutzbares Grundwasserdargebot

Die Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes als wasserwirtschaftliche Planungsgrundlage dient einerseits dem Ziel der dauerhaften Sicherung der Wasserversorgung unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels. Andererseits sind die Einhaltung der Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser (guter mengenmäßiger Zustand, Verschlechterungsverbot) gemäß § 47 WHG und die Sicherung der in § 4 Absatz 2 GrwV definierten Anforderungen an den mengenmäßigen Zustand des Grundwassers zu gewährleisten. Dabei sind die ökologischen Anforderungen für oberirdische Gewässer, die hydraulisch mit dem Grundwasser verbunden sind, und für grundwasserabhängige Landökosysteme zu berücksichtigen.

Zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes gemäß DIN 4049-3 sind als Randbedingungen die folgenden Anforderungen gemäß § 4 Absatz 2 GrwV einzuhalten:

- Entwicklung der Grundwasserstände oder Quellschüttungen zeigt, dass die langfristige mittlere jährliche Grundwasserentnahme das nutzbare Grundwasserdargebot nicht übersteigt (Stabilität des Grundwasserstandes und der Quellschüttungen),
- Sicherung von grundwasserbürtigen gewässertypspezifischen Mindestabflüssen in oberirdischen Gewässern,

- Sicherung von grundwasserabhängigen Landökosystemen,
- Stabilität der natürlichen Süß-/Salzwassergrenze.

In den betrachteten Bilanzeinheiten sollte ein Überblick über das gesamte nutzbare Grundwasserdargebot und die nach Abzug vorhandener Grundwasserentnahmen noch verbleibende nutzbare Grundwasserdargebotsreserve gemäß Anlage D erstellt werden. Allerdings sind die so ermittelten Bilanzgrößen nicht als konkrete Bemessungsgrundlage bzw. Ausschlussgrund für Planungen von konkreten Grundwasserentnahmen heranzuziehen.

Zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes ist für die jeweilige Bilanz-einheit zu prüfen, ob es durch Summationseffekte aller langfristigen mittleren jährlichen Grundwasserentnahmen zu einem fallenden Trend bei den Grundwasserständen oder Quellschüttungen kommen kann¹. Die Stabilität der Grundwasserstände und Quellschüttungen wird im Überblicksmaßstab an repräsentativen Messstellen nach § 9 Absatz 1 und 2 GrwV überwacht. Im Festgestein liegen häufig nicht genügend Grundwassermessstellen vor, so dass hier auf Quellschüttungsmessungen, aber auch Abflussmessungen oder lokale wasserwirtschaftliche Beobachtungen und weiteres Fachwissen zurückgegriffen werden muss. Im Sinne einer nachhaltigen Grundwasserbewirtschaftung sind Grundwasserstandsmessungen in den zu bilanzierenden Einheiten in Verbindung mit der Abschätzung der Entwicklung der Grundwasserentnahmen durchzuführen und für die Plausibilisierung des abgeschätzten Grundwasserdargebotes heranzuziehen. Die Zeitreihen der Messungen müssen ausreichend lang sein, um die hydrologischen Verhältnisse und ihre zeitliche Variabilität bestmöglich abzubilden. Bei Auswertung des regionalen Witterungsverlaufs sind Zeiträume von 30 Jahren angemessen, es können jedoch auch längere Zeitreihen herangezogen werden. Die Zeitreihen sollten jedoch nicht kürzer als 15 Jahre sein [6].

Zudem sind bei der Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebotes die in der jeweiligen Bilanzeinheit bestehenden Bedarfe zur Sicherstellung des grundwasserbürtigen gewässertypspezifischen Mindestabflusses in oberirdischen Gewässern und für den Erhalt grundwasserabhängiger Landökosysteme zu berücksichtigen. Dies kann beispielsweise über die Auswertung der Niedrigwasserkennwerte von im Gebiet vorhandenen Abflusspegeln erfolgen. Da die Mindestabflüsse nicht für Pegeleinzugsgebiete, sondern unabhängig von der Einzugsgebietsgröße für die Gewässerabschnitte in der betrachteten Bilanzeinheit benötigt werden, müssen die Niedrigwasserkennwerte regionalisiert werden. Da in vielen Fällen keine oder zu wenige Abflusspegel vorhanden sind, können z. B. über Regionalisierungsverfahren abgeleitete Niedrigwasserkennwerte oder die für die Fließgewässertypen der LAWA abgeleiteten Mindestwasserorientierungswerte [7] verwendet werden. Weitere Hinweise zu Mindestwasser-Orientierungswerten gibt die LAWA-Empfehlung zur Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen [8]. Darüber hinaus ist für 2026 die Veröffentlichung „Niedrigwasserbewertung – Entwicklung von Schwellenwerten und Methoden zur Niedrigwasserbewertung in Fließgewässern und zur Identifizierung von vulnerablen Fließgewässerabschnitten“

¹ Langfristig sinkende Grundwasserstände in Entnahmefrühen und verminderte Quellschüttungen können auch durch die Alterung der technischen Bauwerke verursacht werden. Bei betroffenen Gewinnungsanlagen sind daher geeignete Untersuchungen zur Ermittlung des technischen Zustands durchzuführen.

geplant, welches ebenfalls Hinweise zur Bewertung liefern wird (Länderfinanzierungsprogramm Wasser und Boden O 2.24).

Für die jeweilige Bilanzeinheit ist außerdem zu prüfen, ob es durch die langfristigen mittleren jährlichen Grundwasserentnahmen zu einer signifikanten Schädigung von bedeutenden grundwasserabhängigen Landökosystemen, die mit der Bilanzeinheit in hydraulischer Verbindung stehen, kommen kann². Für die Sicherung von grundwasserabhängigen Landökosystemen in der Bilanzierung auf Ebene der Bilanzeinheit kann grundsätzlich die in deren Bereich vorhandene Grundwasserneubildung aus Niederschlag verwendet werden. Potenzielle Bilanzverluste durch Grundwasserzehrung sind dabei zu berücksichtigen.

Bereiche mit Grundwasservorkommen, bei denen bei Entnahmen das Risiko einer Salzwasserintrusion besteht, müssen – soweit im Einzelfall vorkommend – separat bewertet werden. Hier kann als nutzbares Grundwasserdargebot nur diejenige Grundwassermenge angesetzt werden, die ohne das Risiko der Verschiebung der natürlichen Süß-/Salzwassergrenze entnommen werden kann. Diese Entnahmemenge muss im jeweiligen Einzelfall auf Basis der lokal vorhandenen Informationen ermittelt werden.

Zusätzliche Erkenntnisse aus Monitoring, Modellierung, etc. sollten bei Bedarf zur Evaluierung und ggf. Korrektur der auf Ebene der Bilanzeinheiten ermittelten Bilanzierungsgrößen verwendet werden. Falls z. B. innerhalb einer Bilanzeinheit die Grundwasserentnahmen das nutzbare Grundwasserdargebot überschreiten, ohne dass es sonstige Hinweise auf eine signifikante Schädigung bei den grundwasserbürtigen gewässertypspezifischen Mindestabflüssen oder bei den grundwasserabhängigen Landökosystemen gibt, ist eine Überprüfung des Vorgehens erforderlich. Ebenso kann es vorkommen, dass lokale Nutzungseinschränkungen erforderlich werden, obwohl innerhalb der Bilanzeinheit rechnerisch noch eine Grundwasserdargebotsreserve bestanden hätte.

5.4 Nutzbares Grundwasserdargebotsreserve

Ausgehend von dem abgeschätzten nutzbaren Grundwasserdargebot einer zu bilanzierenden Einheit kann daraus nach Abzug der bekannten Grundwasserentnahmen die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve abgeleitet werden. Als Grundlage der Entnahmen sind alle wasserrechtlich genehmigten Grundwasserentnahmen und sonstige bekannte Grundwasserentnahmen, die als langjähriger Mittelwert anzusetzen sind, zu berücksichtigen. Falls dabei eine rechnerische Übernutzung (negative nutzbare Grundwasserdargebotsreserve) festgestellt wird, ist zunächst zu überprüfen, ob die ermittelten Bilanzgrößen plausibel und vollständig sind, dieses Ergebnis durch Monitoringergebnisse gestützt wird und das Monitoring ausreichend ist.

Im Ergebnis hat dann die zuständige Wasserbehörde in der Zusammenschau von Dargebot und Reserve eine Grundlage, auf der sie im Rahmen ihres Bewirtschaftungsmessens entscheiden kann, in welchem Umfang weitere Grundwasserentnahmen in einer Bilanzeinheit dauerhaft und nachhaltig noch möglich sind.

² Für die Betrachtung kommt nur eine Beeinflussung ab dem Zeitraum des Inkrafttretens der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Frage; bestehende Moorlandschaften etc., die vor Jahrzehnten trockengelegt wurden, müssen hier nicht berücksichtigt werden.

Literaturverzeichnis

[1] DIN 4049-3: Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie (Ausgabe Okt. 1994)

[2] Bund-Länder-Fachgespräch „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“: Bereitstellung einheitlicher Beobachtungs- und Klimaprojektionsdaten als Grundlage für die Klimaanpassung in Deutschland – Empfehlungen für die Zusammenarbeit von Bund und Ländern für meteorologische Daten, Stand April 2025

https://mwaek.brandenburg.de/media/bb1.a.3814.de/Deutschlandweit_einheitliche_Beobachtungs_und_Projektionsdaten.pdf

[3] Linke, C. et al, 2024: Leitlinien zur Interpretation regionaler Klimamodelldaten des Bund-Länder-Fachgesprächs „Interpretation regionaler Klimamodelldaten“, Potsdam, März 2024

<https://lfu.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Leitlinien-Klimamodelldaten.pdf>

[4] Rybka et al. (2025): Klimatische Naturräume in Deutschland – Methodik und Dokumentation, Stand Oktober, 2025

https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimaprojektionsdaten/pdf/naturraeume.pdf;jsessionid=368484A44D75E9CE8529365D4736D351.live21064?_blob=publication-File&v=1

[5] FH-DGG (Hrsg.): Hydrogeologische Modelle – Bedeutung des Hydrogeologischen a priori-Wissens; Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Heft 10, Hannover (1999)

https://fh-dggv.de/wp-content/uploads/2025/03/Hydrogeologische-Modelle_-Bedeutung-des-Hydrogeologischen-a-priori-Wissens.pdf

[6] LAWA-AG: Fachliche Umsetzung der Richtlinie zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung (2006/118/EG), Teil 5, Bundesweit einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustands (Sachstandsbericht vom 25. August 2011)

https://www.wasserblick.net/servlet/is/142651/WRRL_LAWA_Fachliche_Umsetzung_WRRL_Teil_5_Methode_Beurteilung_Menge_GW.pdf?command=downloadContent&filename=WRRL_LAWA_Fachliche_Umsetzung_WRRL_Teil_5_Methode_Beurteilung_Menge_GW.pdf

[7] Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) [Hrsg.] (2019): Herleitung von ökologisch begründeten Orientierungswerten für die Mindestwasserführung von Fließgewässern. Projekt O 8.17 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“. Auftragnehmer Projektteam „umweltbüro essen – chromgruen – Senckenberg“. Essen/Velbert/Gelnhausen, Juni 2019

https://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/static/LFP/Da-teien/LAWA/AO/O%208.17_Mindestwasser_Endbericht.pdf

[8] LAWA-AO: Empfehlung zur Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen

https://www.lawa.de/documents/lawa-mindestwasser-barrierefrei_1689840769.pdf

Glossar

Begriffe aus der DIN 4049-3

Nr.	Begriff	Definition
1.1.2.21	Nassjahr	Jahr, in dem die Niederschlagshöhe den Mittelwert einer zugehörigen Niederschlagsreihe um mehr als die Standardabweichung überschreitet
1.1.2.22	Trockenjahr	Jahr, in dem die Niederschlagshöhe den Mittelwert einer zugehörigen Niederschlagsreihe um mehr als die Standardabweichung unterschreitet
1.5.1	Wasserbilanz	Volumenmäßige Erfassung des Wasserkreislaufs in einem Betrachtungsgebiet während einer Betrachtungszeitspanne
1.5.2	klimatische Wasserbilanz	Differenz zwischen Niederschlagshöhe und potenzieller Verdunstung für einen Betrachtungsort in einer Betrachtungszeitspanne
2.2.24	Oberflächenabfluss	Teil des Abflusses, der dem Vorfluter als Reaktion auf ein auslösendes Ereignis (Niederschlag oder Schneeschmelze) über die Bodenfläche unmittelbar zugeflossen ist
2.2.25	Zwischenabfluss	Teil des Abflusses, der dem Vorfluter als Reaktion auf ein auslösendes Ereignis (Niederschlag oder Schneeschmelze) aus den oberflächennahen Bodenschichten zugeflossen ist <i>Anmerkung: Der Zwischenabfluss ist gegenüber dem Oberflächenabfluss zeitlich verzögert.</i>
2.2.26	Direktabfluss	Summe aus Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss
2.2.27	Basisabfluss	Teil des Abflusses, der nicht Direktabfluss ist <i>Anmerkung: Der Basisabfluss kann Einleitungen und Überleitungen enthalten.</i>
2.2.28	grundwasserbürtiger Abfluss	Teil des Basisabflusses, der dem Vorfluter aus dem Grundwasser zugeflossen ist
2.2.29	Trockenwetterabfluss	Abfluss nach einer längeren Zeitspanne ohne Effektivniederschlag, der nur aus grundwasserbürtigem Abfluss besteht
3.6.1	Leckage	Großflächiger Übergang von Grundwasser durch einen Grundwasserhemmer von einem Grundwasserstockwerk in ein anderes

Nr.	Begriff	Definition
3.6.2	Uferfiltrat	Wasser, das aus oberirdischen Gewässern unmittelbar in den Grundwasserraum eingedrungen ist, ausgenommen durch Versinkung
3.6.3	Seihwasser	Wasser, das aus oberirdischen Gewässern in den Sickerraum eingedrungen ist, ausgenommen durch Versinkung
3.6.4	Influenz	Flächenhaft ausgedehnter Übertritt von Wasser aus oberirdischen Gewässern in das Grundwasser
3.6.6	Grundwasser-übertritt	Fließen von Grundwasser aus einem Grundwasserleiter in einen anderen
3.6.17	Grundwasser-neubildung	Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser <i>Anmerkung: Spezialfall der Zusickerung</i>
3.6.18	Zusickerung	Zugang von Wasser durch die Grundwasser-oberfläche oder die Grundwassersohle, z. B. zu einem Grundwasserabschnitt
3.6.19	Aussickerung	Abgang von Wasser, z. B. aus einem Grundwasserabschnitt durch die Grundwassersohle, bei gespanntem Grundwasser auch durch dessen Grundwasseroberfläche
3.7.1	Grundwasserdargebot	Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt
3.7.2	gewinnbares Grundwasserdargebot	Teil des Grundwasserdargebotes, der mit technischen Mitteln gewinnbar ist
3.7.3	nutzbares Grundwasserdargebot	Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebotes, der für die Wasserversorgung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann

Sonstige Begriffe

Begriff	Definition
Änderungssignal	Differenz bei Klimamodellen zwischen einer zukünftigen Klimanormalperiode und einer zurückliegenden Referenzperiode, z. B. 2031 bis 2060 zu 1971 bis 2000. Es zeigt, wie stark sich eine bestimmte Klimavariablen, z. B. Temperatur oder Niederschlag, im Vergleich ändern könnte.
Hydrogeologisches Modell	Eine aus einer Modellvorstellung heraus entwickelte in sich schlüssige und parametrisierte Beschreibung und Darstellung hydrogeologischer Strukturen und Prozesse.
Klimamodell	Wissenschaftliches Computermodell, in dem die für das Klima und dessen Veränderung wichtigen Komponenten und Prozesse im Klimasystem beschrieben sind. Es wird zur Berechnung bzw. Projektion des Klimas für einen bestimmten Zeitabschnitt genutzt, und berechnet, wie sich Klimatelemente wie Temperatur, Niederschlag, Wind, Strahlung und CO ₂ -Konzentrationen über Zeit und Raum verändern. Haupttypen von Klimamodellen sind globale Klimamodelle (GCM) und regionale Klimamodelle. Zur regionalen Klimamodellierung werden zwei Ansätze verwendet, numerisch-dynamische Klimamodelle (RCM) und das empirisch-statistische Downscaling (ESD).
Klimamodellensemble	Gruppe von mehreren Klimamodellen oder Modellläufen eines Treibhausgasszenarios, die gemeinsam verwendet werden, um die Unsicherheiten in Klimaprojektionen besser zu verstehen und robustere Aussagen über zukünftige Klimaentwicklungen zu treffen. Ein Klimamodellensemble besteht aus verschiedenen Modellen, z. B. regionale Klimamodelle oder mehreren Läufen desselben Modells mit leicht veränderten Anfangsbedingungen oder Parametern.
Klimanormalperiode	Festgelegter Zeitraum von 30 Jahren, der von der Weltorganisation für Meteorologie empfohlen wird, um das durchschnittliche Klima einer Region zu beschreiben. Sie dient als Vergleichsmaßstab für aktuelle Wetter- und Klimadaten. Die derzeit aktuelle Klimanormalperiode ist 1991 bis 2020.
Klimaprojektion	Simulationen von Klimamodellen, die unter der Annahme eines definierten Treibhausgasszenarios angetrieben werden.
Klimasimulation	Rechnergestützte Nachbildung des Klimasystems der Erde über einen bestimmten Zeitraum mithilfe eines Klimamodells. Sie dient dazu, das Verhalten des Klimas unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen – sowohl in der Vergangenheit als auch in der Zukunft.

Begriff	Definition
Klimaszenario (Treibhausgasszenario)	Hypothetische Darstellung der möglichen zukünftigen Entwicklungen des Klimas, basierend auf verschiedenen Annahmen über Faktoren wie Treibhausgasemissionen, Bevölkerungswachstum, wirtschaftliche Entwicklung und technologische Veränderungen. Grundlage sind überwiegend die etablierten Klimaszenarien des IPCC wie RCPs oder SSPs. Klimaszenarien werden verwendet, um die Auswirkungen dieser Faktoren auf das Klima zu modellieren und zu verstehen, wie sich das Klima unter unterschiedlichen Bedingungen verändern könnte. Es gibt verschiedene Arten von Klimaszenarien, darunter: • Szenarien mit hohen Emissionen: Diese gehen von einem starken Anstieg der Treibhausgasemissionen aus. • Szenarien mit mittleren Emissionen: Diese nehmen an, dass die Emissionen moderat ansteigen oder stabil bleiben. • Szenarien mit niedrigen Emissionen: Diese basieren auf der Annahme, dass die Emissionen deutlich reduziert werden.
Referenzperiode	Zeitraum, der als Vergleichsbasis für klimatologische Analysen dient – ähnlich wie die Klimanormalperiode, aber mit einem etwas breiteren Anwendungsbereich. Eine Referenzperiode kann auch andere Zeiträume als die einer Klimanormalperiode umfassen, je nach wissenschaftlichem oder statistischem Zweck, z. B. für Trendanalysen, Modellvergleiche oder historische Studien.
nutzbare Grundwasser- dargebotsreserve	Teil des nutzbaren Grundwasserdargebotes abzüglich aller Grundwasserentnahmemengen (wasserrechtlich genehmigte Entnahmemengen und sonstige bekannte oder abgeschätzte Entnahmemengen).

Anlage A – Statistische Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag am Beispiel von zwei Grundwasserkörpern in Hessen

Tabelle A.1 gibt einen Überblick zu wichtigen statistischen Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2480_3302.

Tabelle A.1: Übersicht der statistischen Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2480_3302 in Hessen (Kluftgrundwasserleiter mit einer Fläche von 871,21 km²)

Kenngröße	Periode 1961 bis 1990 Grundwasserneubildungshöhe in mm/a	Periode 1991 bis 2020 Grundwasserneubildungshöhe in mm/a
Mittelwert	121	106
Median	126 (rd. 109,8 Mio. m ³ /a)*	97 (rd. 84,5 Mio. m ³ /a)*
GDM5min	95 (rd. 82,8 Mio. m ³ /a)*	93 (rd. 81,0 Mio. m ³ /a)*

* Flächenbezogenes Volumen der Grundwasserneubildung

Auf Basis des Medianwertes zeigt sich im Vergleich der beiden Perioden ein Rückgang der Grundwasserneubildungshöhe von rd. 23 Prozent. Für die Periode 1991 bis 2020 ergibt sich bei Anwendung der zusätzlichen Methodik (GDM_{5min}) eine um rd. vier Prozent niedrigere Grundwasserneubildungshöhe für einen Zeitraum mit niedriger Grundwasserneubildung gegenüber dem Median. Bezogen auf die Gesamtfläche von 871,21 km² ergibt sich für die Periode 1991 bis 2020 ein Volumen der Grundwasserneubildung von rd. 81 Mio. m³/a als Maß für einen Zeitraum niedriger Grundwasserneubildung gegenüber rd. 84,5 Mio. m³/a beim Median.

Das Box-Plot-Diagramm zeigt für die Periode 1991 bis 2020 eine deutlich geringere Spannbreite gegenüber der Periode 1961 bis 1990 (siehe Abbildung A.1). Die Werte weisen demnach eine geringe Streuung und eine hohe Konsistenz in den mittleren 50 Prozent der Daten auf, was stabile Verhältnisse bei der Grundwasserneubildung auf relativ geringem Niveau aufzeigt.

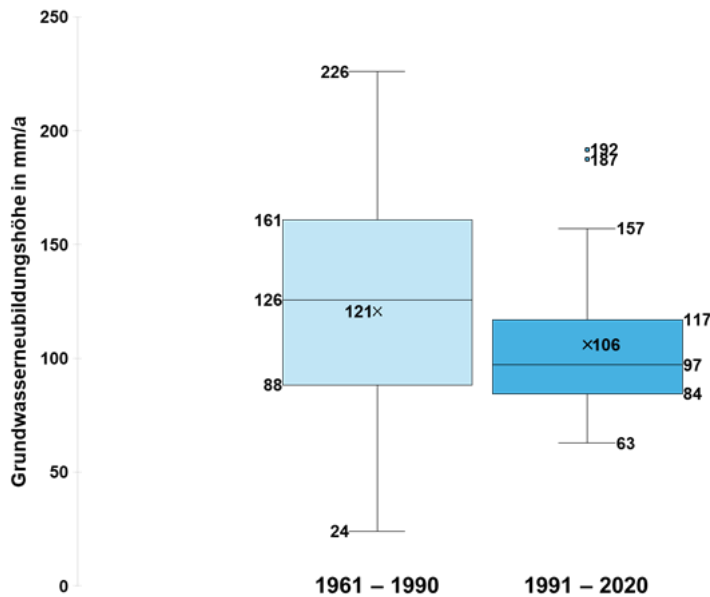


Abbildung A.1: Box-Plot-Diagramm zur Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2480_3302 in Hessen für die Perioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 (Quelle: Daten des HLNUG)

Abbildung A.2 zeigt, dass der GDM_{5min} hinreichend gut die längeren Zeiträume einer geringeren Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Zeitraum von 1961 bis 2020 abdeckt und somit aufgrund des Vorsorgegedankens ein Wert von 93 mm/a als ergänzende wasserwirtschaftliche Planungsgrundlage für Perioden mit einer geringen Grundwasserneubildung genutzt werden kann. Insbesondere können daraus z. B. wichtige Anhaltspunkte für die Bewirtschaftung und das Monitoring in längeren Zeiträumen mit geringerer Grundwasserneubildung abgeleitet werden.

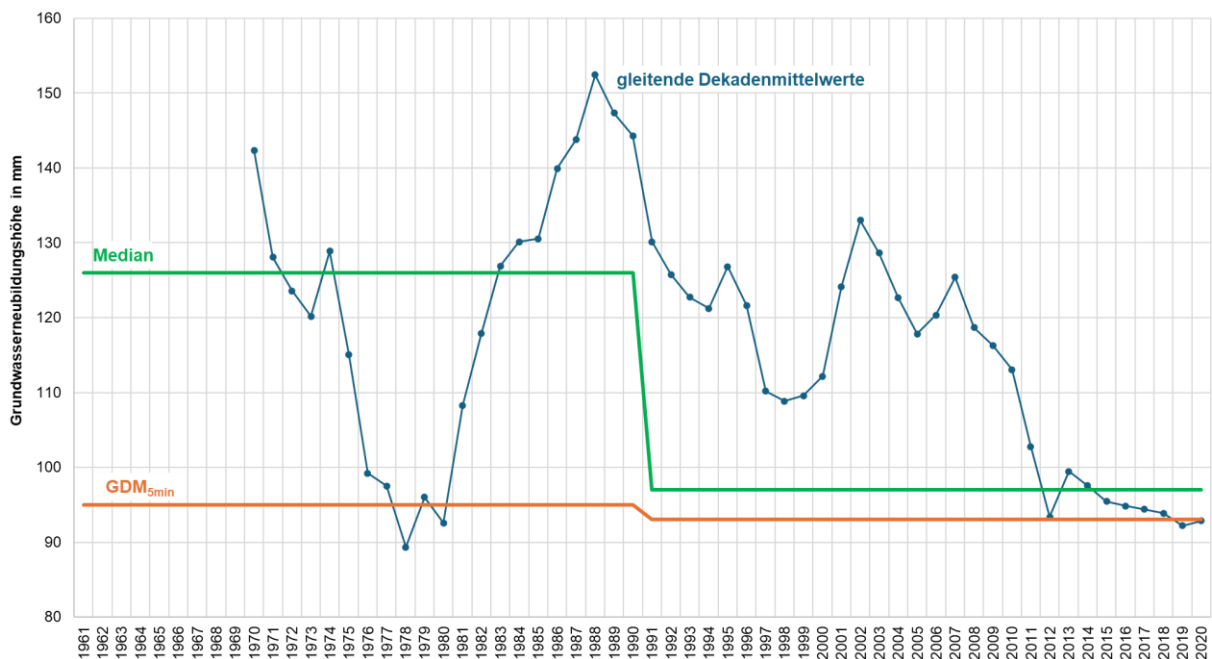


Abbildung A.2: Statistische Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2480_3302 in Hessen im Zeitraum 1961 bis 2020 (Quelle: Daten des HLNUG)

Zum Vergleich gibt Tabelle A.2 einen Überblick zu wichtigen statistischen Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2399_3105.

Tabelle A.2: Übersicht der statistischen Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2399_3105 in Hessen (Porengrundwasserleiter mit einer Fläche von 10,82 km²)

Kenngröße	Periode 1961 bis 1990 Grundwasserneubildungshöhe in mm/a	Periode 1991 bis 2020 Grundwasserneubildungshöhe in mm/a
Mittelwert	67	52
Median	61 (rd. 0,66 Mio. m ³ /a)*	43 (rd. 0,47 Mio. m ³ /a)*
GDM5min	50 (rd. 0,54 Mio. m ³ /a)*	35 (rd. 0,38 Mio. m ³ /a)*

* Flächenbezogenes Volumen der Grundwasserneubildung

Auf Basis des Medianwertes zeigt sich im Vergleich der beiden Perioden ein Rückgang der Grundwasserneubildungshöhe von rd. 30 Prozent. Für die Periode 1991 bis 2020 ergibt sich bei Anwendung der zusätzlichen Methodik (GDM_{5min}) eine um rd. 19 Prozent niedrigere Grundwasserneubildungshöhe für einen Zeitraum mit niedriger Grundwasserneubildung gegenüber dem Median. Bezogen auf die Gesamtfläche von 10,82 km² ergibt sich für die Periode 1991 bis 2020 ein Volumen der Grundwasserneubildung von rd. 0,38 Mio. m³/a als Maß für einen Zeitraum niedriger Grundwasserneubildung gegenüber rd. 0,47 Mio. m³/a beim Median.

Das Box-Plot-Diagramm zeigt für die Periode 1991 bis 2020 eine deutlich geringere Spannbreite gegenüber der Periode 1961 bis 1990 (siehe Abbildung A.3). Die Werte weisen demnach eine geringe Streuung und eine hohe Konsistenz in den mittleren 50 Prozent der Daten auf, was stabile Verhältnisse bei der Grundwasserneubildung auf relativ geringem Niveau aufzeigt.

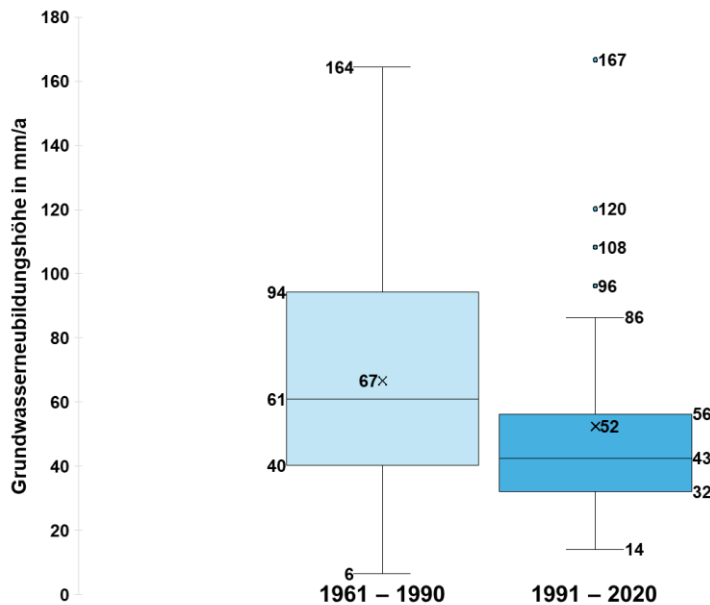


Abbildung A.3: Box-Plot-Diagramm zur Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2399_3105 in Hessen für die Perioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020 (Quelle: Daten des HLNUG)

Abbildung A.4 zeigt, dass der GDM_{5min} hinreichend gut die längeren Zeiträume einer geringeren Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Zeitraum von 1961 bis 2020 abdeckt und somit aufgrund des Vorsorgegedankens ein Wert von 35 mm/a als ergänzende wasserwirtschaftliche Planungsgrundlage genutzt werden kann. Insbesondere können daraus z. B. wichtige Anhaltspunkte für die Bewirtschaftung und das Monitoring in längeren Zeiträumen mit geringerer Grundwasserneubildung abgeleitet werden.

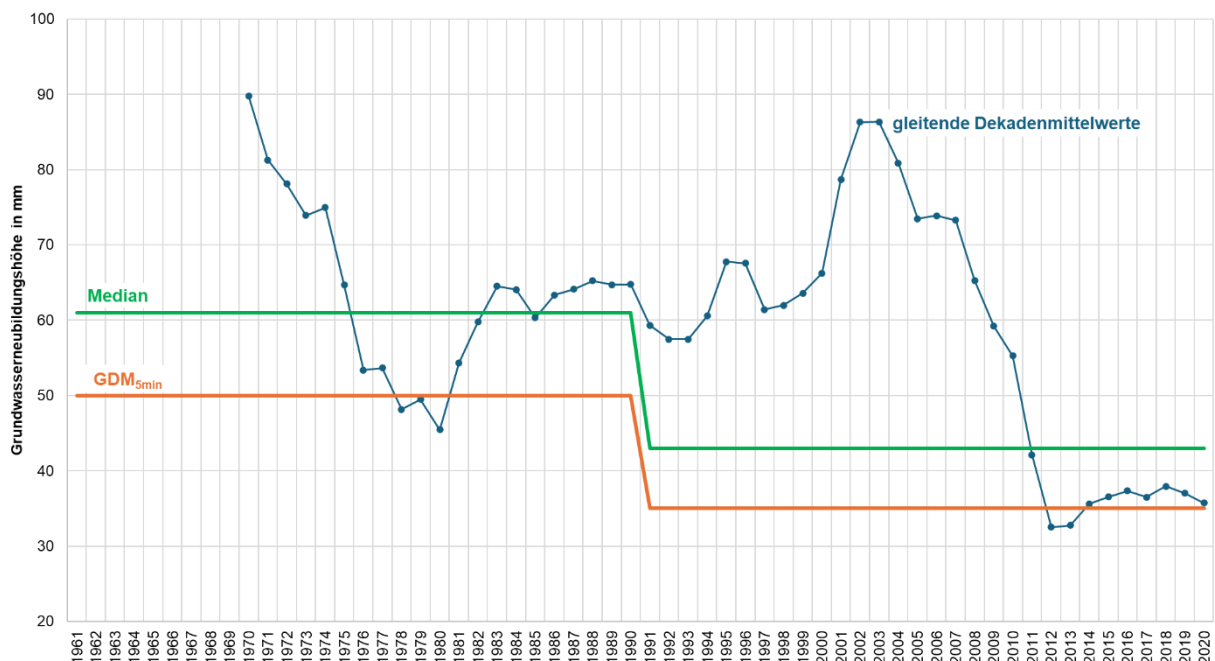


Abbildung A.4: Statistische Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für den Grundwasserkörper DEHE_2399_3105 in Hessen im Zeitraum 1961 bis 2020 (Quelle: Daten des HLNUG)

Anlage B – Beispiel zur Bestimmung des Mittelwertes aus den fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten für die Klimanormalperioden 1961 bis 1990 und 1991 bis 2020

Tabelle B.1 zeigt ein Beispiel in einem Tabellenkalkulationsprogramm zur Berechnung von Mittelwerten aus den jeweils fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten für zwei verschiedene 30-jährige Klimanormalperioden.

Tabelle B.1: Beispiel zur Berechnung des Mittelwertes aus den fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten

Zeile	Jahr	modellierte Grundwasserneubildungshöhe (Beobachtungsdaten) in mm	gleitender Dekadenmittelwert der Grundwasserneubildungshöhe in mm
1	1961	162	
2	1962	89	
3	1963	50	
4	1964	33	
5	1965	181	
6	1966	183	
7	1967	119	
8	1968	105	
9	1969	74	
10	1970	118	111 =MITTELWERT(B1:B10)
11	1971	34	99 =MITTELWERT(B2:B11)
12	1972	42	94 =MITTELWERT(B3:B12)
13	1973	37	93
14	1974	97	99
15	1975	64	87
16	1976	23	71
17	1977	92	68
18	1978	58	64
19	1979	108	67
20	1980	72	63
21	1981	134	73
22	1982	104	79

Zeile	Jahr	modellierte Grundwasser- neubildungshöhe (Beobachtungsdaten) in mm	gleitender Dekadenmittelwert der Grundwasserneubildungshöhe in mm
23	1983	112	86
24	1984	187	96
25	1985	61	95
26	1986	106	104
27	1987	126	107
28	1988	121	113
29	1989	67	109
30	1990	99	112
31	1991	60	
32	1992	92	
33	1993	107	
34	1994	149	
35	1995	128	
36	1996	58	
37	1997	61	
38	1998	168	
39	1999	106	
40	2000	89	102
41	2001	156	111
42	2002	192	121
43	2003	69	118
44	2004	78	110
45	2005	82	106
46	2006	65	107
47	2007	130	113
48	2008	70	104
49	2009	68	100
50	2010	76	99
51	2011	62	89
52	2012	61	76
53	2013	114	81
54	2014	70	80

Zeile	Jahr	modellierte Grundwasser- neubildungshöhe (Beobachtungsdaten) in mm	gleitender Dekadenmittelwert der Grundwasserneubildungshöhe in mm
55	2015	62	78
56	2016	71	79
57	2017	81	74
58	2018	70	74
59	2019	39	71
60	2020	63	69 =MITTELWERT(B51:B60)

Für die Klimanormalperiode 1961 bis 1990 wird der Mittelwert aus den nicht notwendigerweise zusammenhängenden fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten berechnet, z. B. in MS-Excel wie folgt:

=MITTELWERT(KKLEINSTE(C10:C30;{1;2;3;4;5}))

Daraus ergibt sich ein Wert von **67 mm/a**.

Für die Klimanormalperiode 1991 bis 2020 wird der Mittelwert aus den nicht notwendigerweise zusammenhängenden fünf niedrigsten gleitenden Dekadenmittelwerten berechnet, z. B. in MS-Excel wie folgt:

=MITTELWERT(KKLEINSTE(C40:C60;{1;2;3;4;5}))

Daraus ergibt sich ein Wert von **73 mm/a**.

Anlage C – Statistische Kenngrößen der Grundwasserneubildung aus Niederschlag mittels der Kombination von Klimaprojektion und Wasserhaushaltsmodellierung am Beispiel von Niedersachsen

Für den Vergleich der Vergangenheit mit der Ergebnisbandbreite der Zukunft sind folgende Einzelschritte vorzunehmen, die am Beispiel von zwei niedersächsischen Grundwasserkörpern (im Norden “Untere Aller Lockergestein Links” und im Süden “Leine mesozoisches Festgestein Links”) erläutert werden:

1. Berechnung der statischen Kenngrößen Median und GDM_{5min} für die Beobachtungsdaten der Grundwasserneubildung aus Niederschlag in der Referenzperiode der Klimamodelle 1971 bis 2000 aggregiert auf Grundwasserkörperebene. Da die aktuellen Klimaprojektionen erst ab 1971 beginnen, wurde die frühestmögliche Referenzperiode von 1971 bis 2000 zugrunde gelegt.

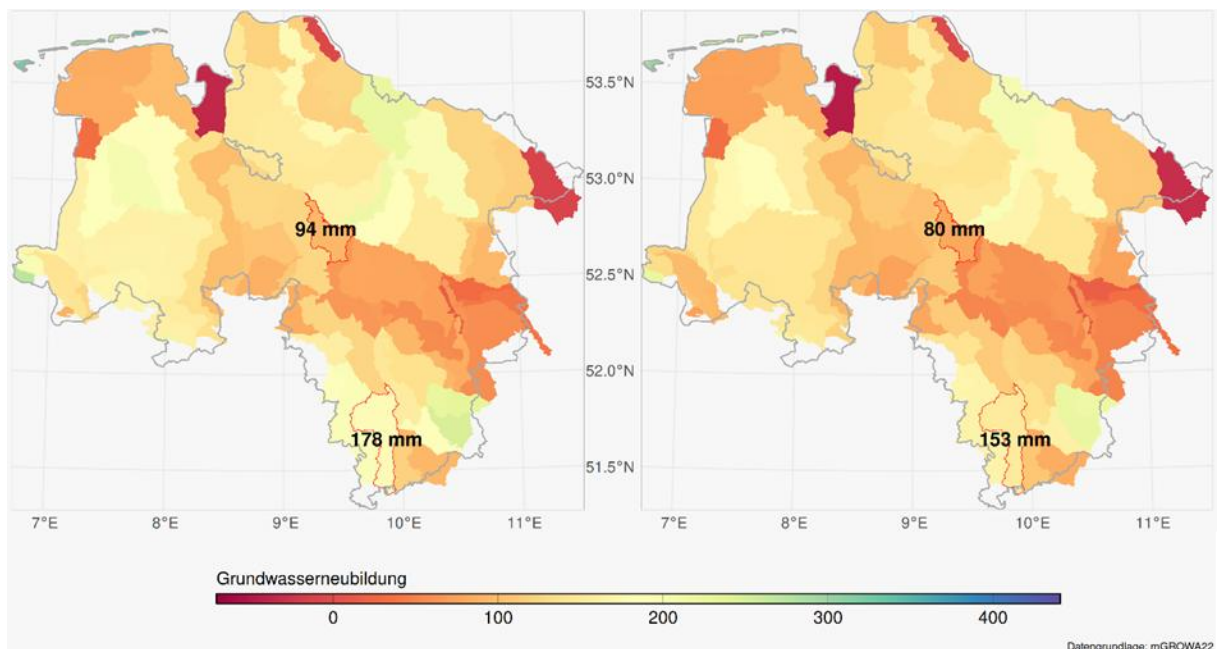


Abbildung C.1: Median (links) und GDM_{5min} (rechts) der mit Beobachtungsdaten simulierten Grundwasserneubildung aus Niederschlag für die Referenzperiode 1971 bis 2000 für Niedersachsen (Quelle: LBEG)

2. Berechnung der Änderungssignale der statischen Kenngrößen Median und GDM_{5min} der Periode 2031 bis 2060 gegenüber der mit den Klimamodellensembles simulierten Referenzperiode 1971 bis 2000 für jede Grundwasserneubildungsprojektion des Ensembles und jeden Grundwasserkörper (zukünftiger Zeitraum minus simulierte historische Referenzperiode der Klimaprojektion). Grundwasserkörper mit einer Fläche $< 225 \text{ km}^2$ sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt (graue Flächen).

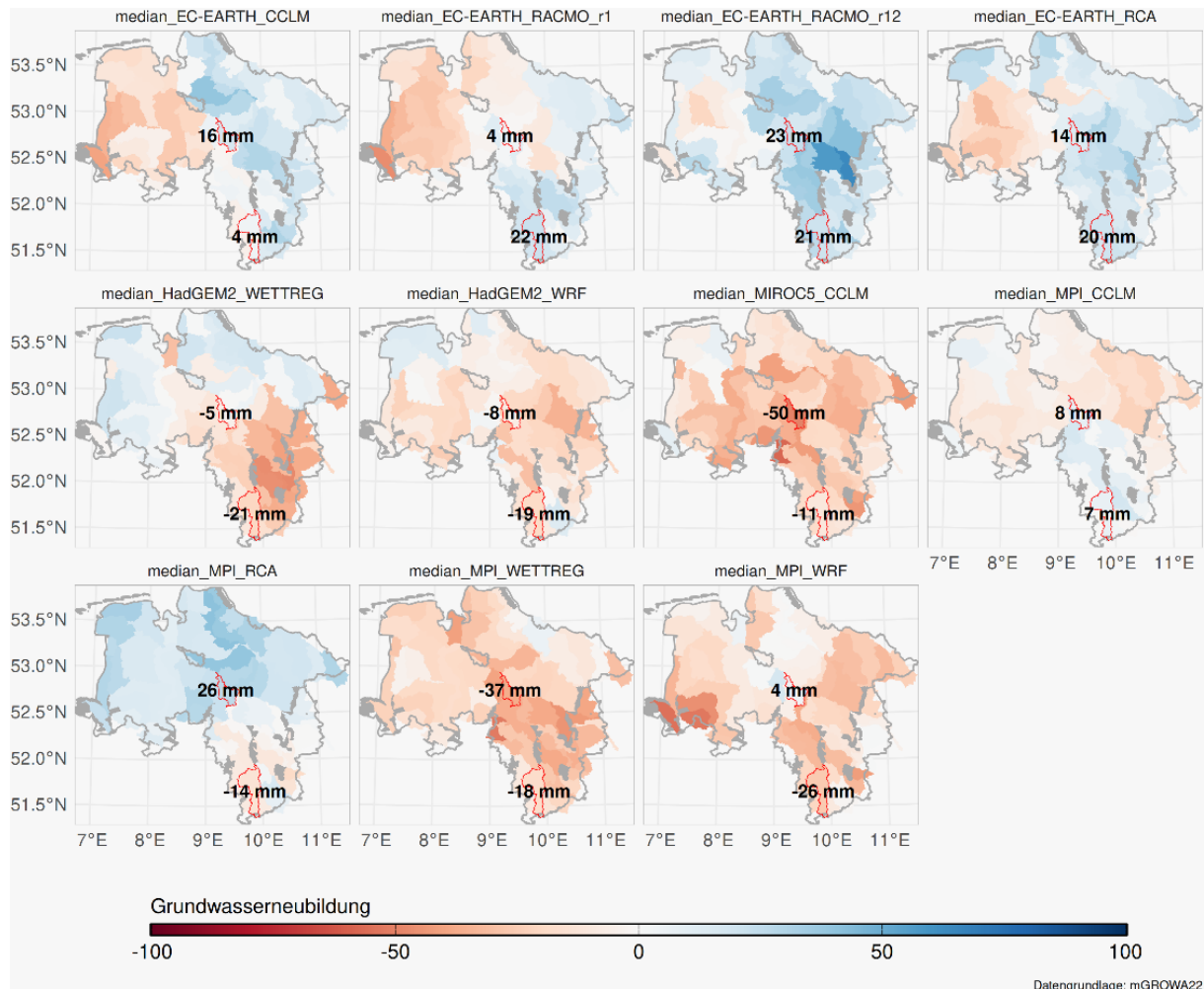


Abbildung C.2: Änderungssignale des Medians in der Klimanormalperiode 2031 bis 2060 gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000 der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für Niedersachsen; Flächen $< 225 \text{ km}^2$ sind ausgegraut (Quelle: LBEG)

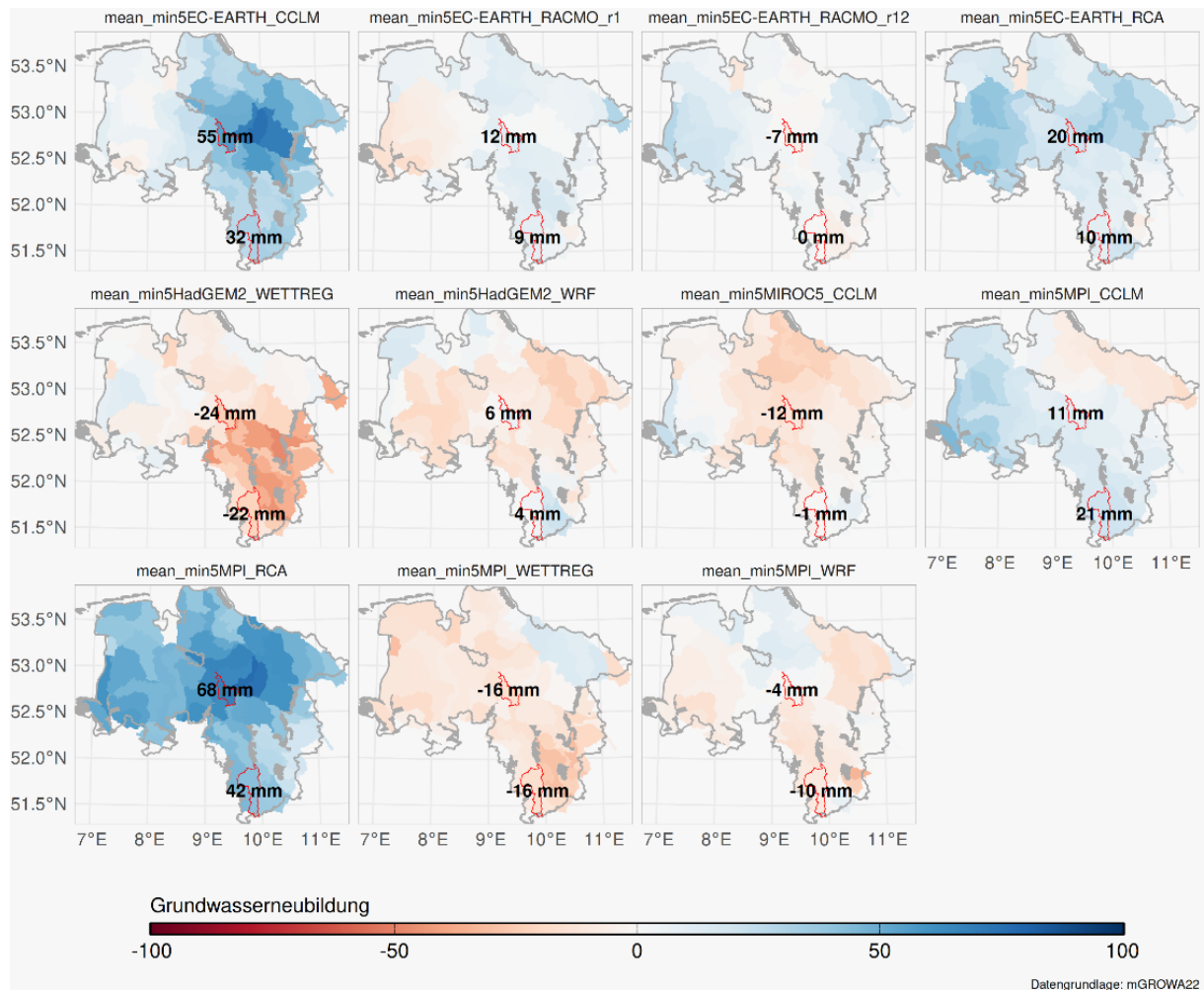


Abbildung C.3: Änderungssignale des GDM_{5min} in der Klimanormalperiode 2031 bis 2060 gegenüber der Referenzperiode 1971 bis 2000 des GDM_{5min} der Grundwasserneubildung aus Niederschlag für Niedersachsen; Flächen < 225 km² sind ausgegraut (Quelle: LBEG)

3. Ermittlung der Ergebnisbandbreiten der Änderungssignale der statistischen Kenngrößen Median und GDM_{5min} des Klimamodellensembles auf Grundwasserkörperebene. Grundwasserkörper mit einer Fläche $< 225 \text{ km}^2$ sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt (graue Flächen).

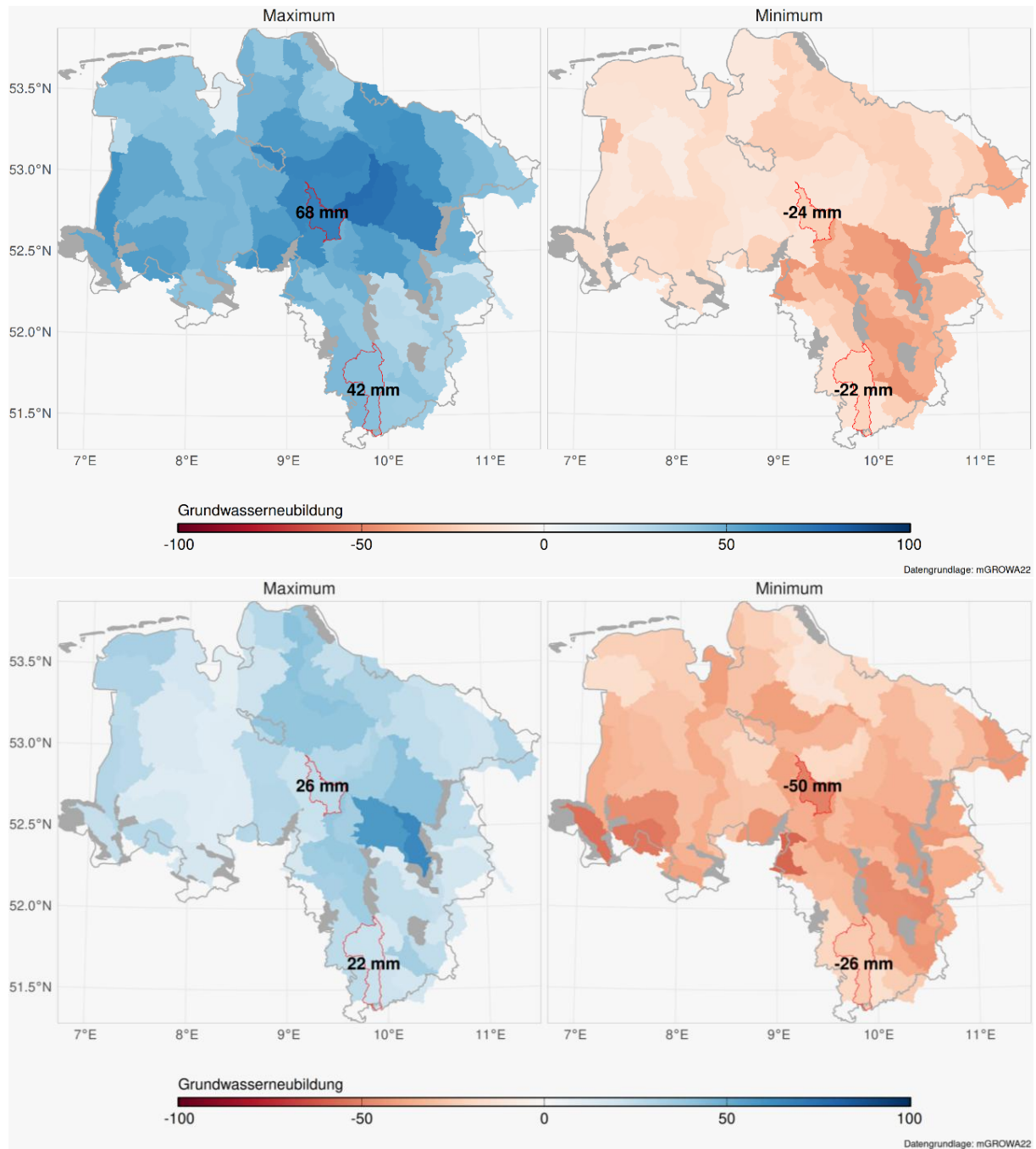


Abbildung C.4: Ergebnisbandbreiten der Änderungssignale des Klimamodellensembles für Median (oben) und GDM_{5min} (unten) auf Ebene der Grundwasserkörper für Niedersachsen; Flächen $< 225 \text{ km}^2$ sind ausgegraut (Quelle: LBEG)

4. Ermittlung der Ergebnisbandbreiten der statistischen Kenngrößen Median und GDM_{5min} für die Absolutwerte der Klimanormalperiode 2031 bis 2060 des Klimamodellensembles auf Grundwasserkörperebene, indem die Beobachtungsdaten der Referenzperiode 1971 bis 2000 und die im 3. Schritt berechneten Änderungen addiert werden. Grundwasserkörper mit einer Fläche $< 225 \text{ km}^2$ sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt (graue Flächen).

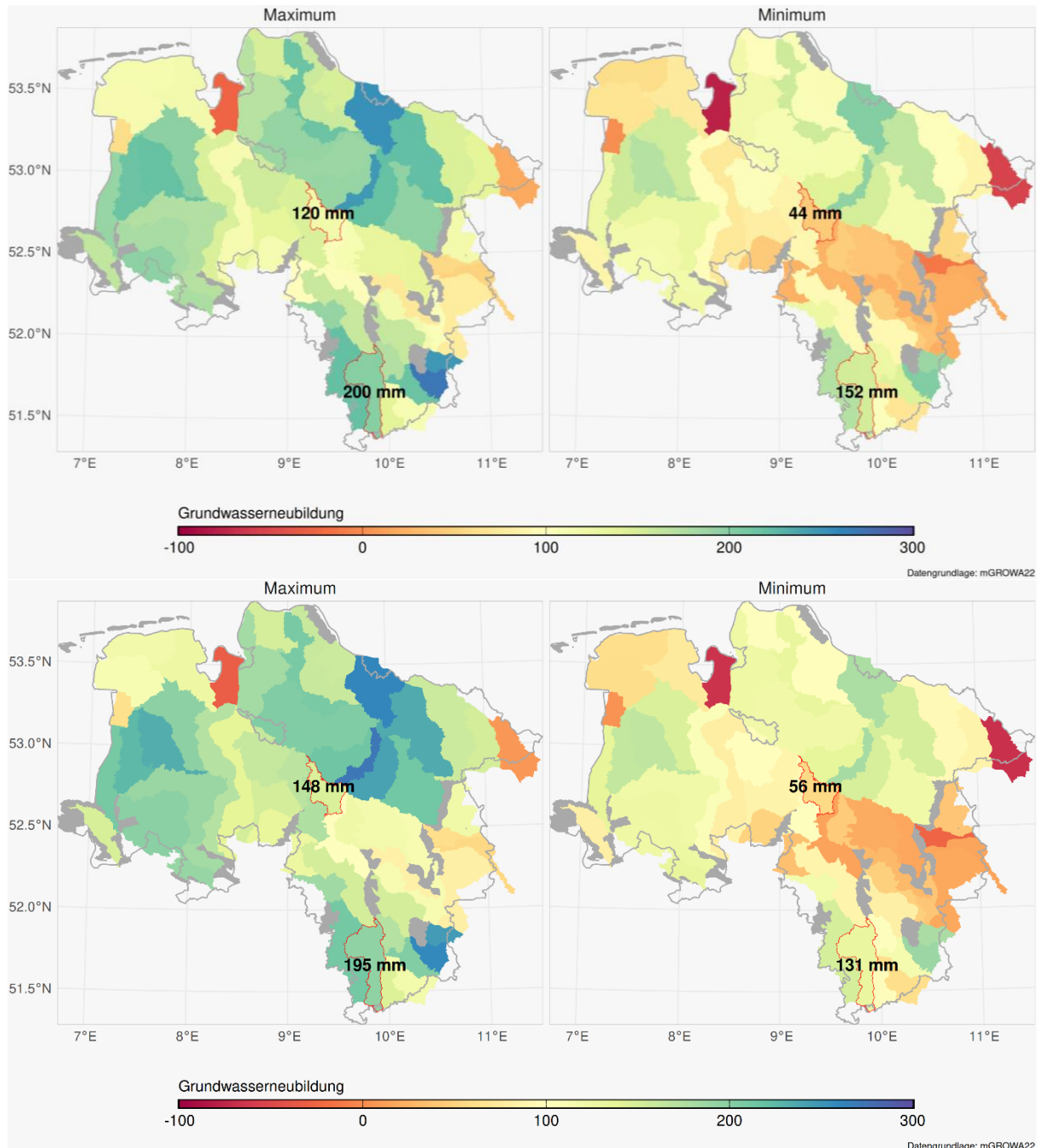


Abbildung C.5: Ergebnisbandbreiten des Klimamodellensembles für Median (oben) und GDM_{5min} (unten) auf Ebene der Grundwasserkörper für Niedersachsen; Flächen $< 225 \text{ km}^2$ sind ausgegraut (Quelle: LBEG)

5. Vergleich der statistischen Kenngrößen Median und GDM_{5min} der Beobachtungsdaten in den historischen Referenzperioden im Vergleich zur Bandbreite dieser Kenngrößen für die Klimaprojektionsdaten der zukünftigen Klimanormalperiode 2031 bis 2060 am Beispiel von zwei ausgewählten Grundwasserkörpern in Niedersachsen (siehe Abbildung C.5). Eine Aufschlüsselung der Ergebnisse für jede Grundwasserneubildungsprojektion ist dabei nicht nötig und wird hier nur zur Veranschaulichung dargestellt.

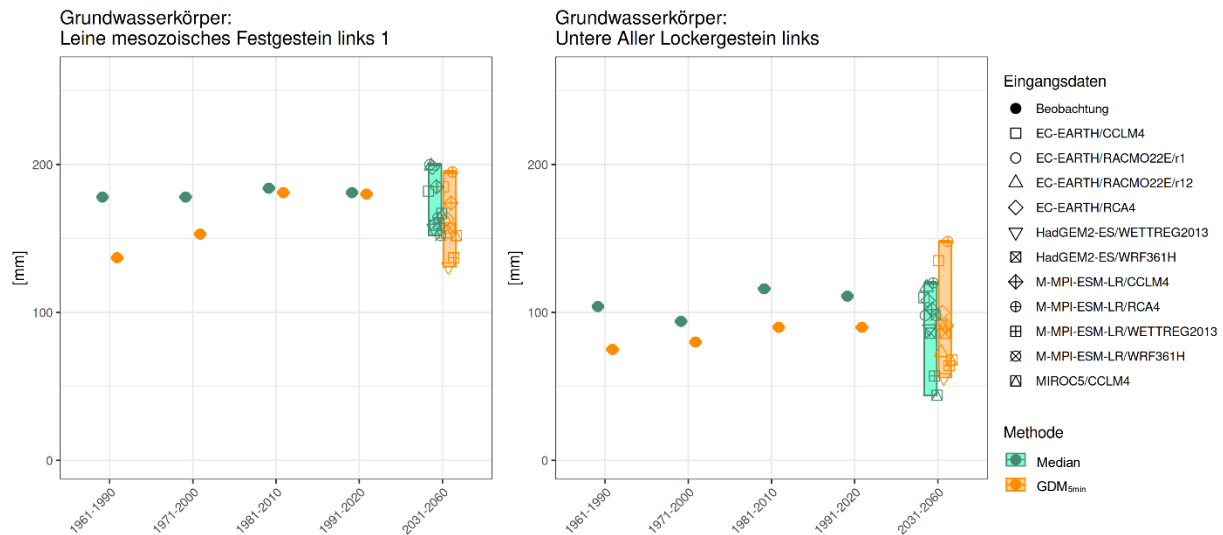


Abbildung C.6: Median und GDM_{5min} der Grundwasserneubildung aus Niederschlag im Zeitraum 1961 bis 2020 sowie deren Ergebnisbandbreiten aus der Klimaprojektion für den Zeitraum 2031 bis 2060 für die Grundwasserkörper „Leine mesozoisches Festgestein links 1“ und „Untere Aller Lockergestein links“ in Niedersachsen (Quelle: LBEG)

Anlage D – Methodischer Ansatz zur Abschätzung des Grundwasserdargebotes in einer Bilanzeinheit

