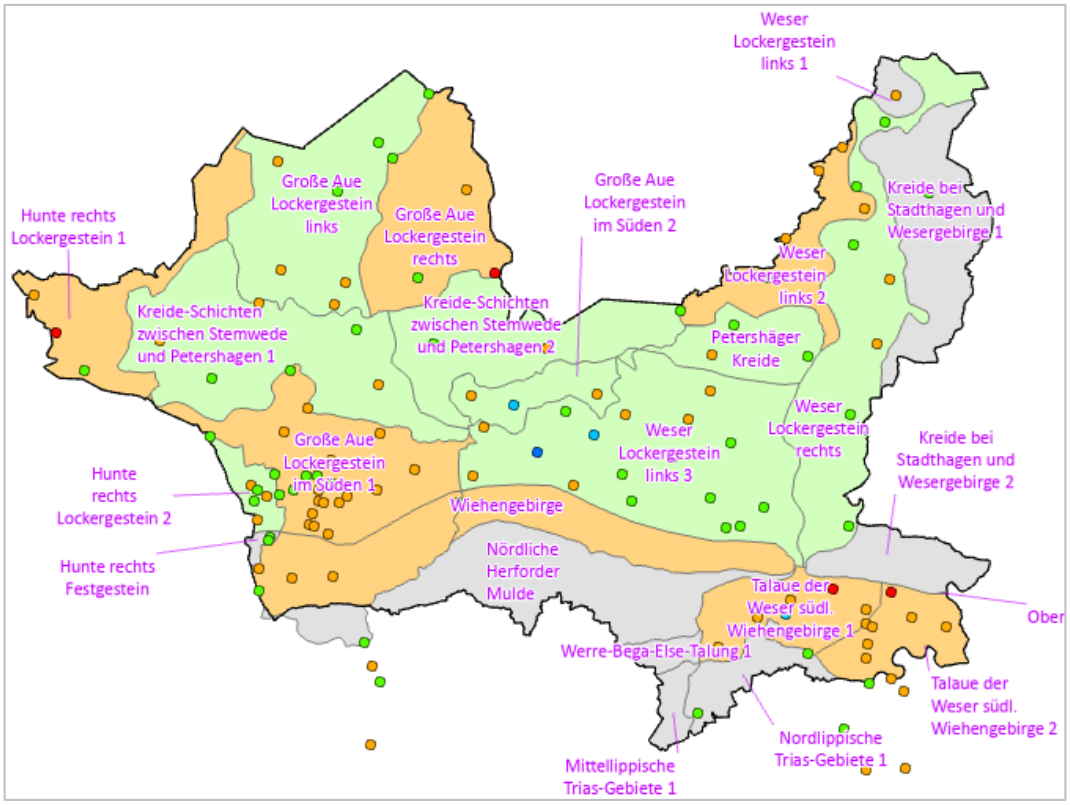
Kreis Minden-Lübbecke

Pilotstudie
zur Entwicklung der Grundwasserstände und zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots und der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve zur nachhaltigen mengenmäßigen Bewirtschaftung der Grundwasser(teil)körper im Kreis Minden-Lübbecke



Ergebnisbericht

digitale Ausfertigung

Mai 2026

Projektbearbeitung

Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH

Sprengerstraße 38 c, 29223 Celle + 05141 93 88-0
Sasendorfer Straße 14, 29549 Bad Bevensen + 05821 98 15-0
info@heidt-peters.de

Projektleitung

Dr.-Ing. Timo Krüger

Projektbearbeitung

Dr.-Ing. Timo Krüger

Dipl.-Geoökol. Julia Hielscher

Jan Georg Becker, M. Sc.

Cindy Attié, M. Sc.

Divya Bhandary, M. Sc.

Plan-/Kartenbearbeitung

Dipl.-Geoökol. Julia Hielscher

Jan Georg Becker, M. Sc.

Textbearbeitung

Jacqueline Wendt

Projektnummer

23214

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Einleitung ... 15
2 Vorgehen ... 17
3 Untersuchungsgebiet ... 19
3.1 Morphologie ... 19
3.2 Naturschutz ... 20
3.3 Hydrologie ... 20
3.4 Klima ... 21
3.5 Flächennutzung ... 21
3.6 Geologie und Hydrogeologie ... 22
3.7 Grundwasserhaushalt ... 25
3.7.1 Grundwasserneubildung ... 26
3.7.2 Urbaner Direktabfluss ... 27
3.7.3 Drainageabfluss ... 27
3.8 Grundwasserentnahmen ... 27
4 Analyse vorhandener Konzepte zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots ... 29
4.1 Brandenburg ... 29
4.2 Mecklenburg-Vorpommern ... 34
4.3 Niedersachsen ... 39
4.3.1 Ehemaliger Mengenerlass ... 40
4.3.2 Aktueller Mengenerlass ... 43
4.4 Sachsen ... 45
4.5 Sachsen-Anhalt ... 48
4.6 Thüringen ... 50
4.7 Fazit ... 52
5 Analyse und Prüfung der Basisdaten ... 55
5.1 Plausibilitätsprüfung der Grundwasserkörpergrenzen ... 55
5.2 Trendanalyse ... 57
5.3 Plausibilität der Grundwasserneubildung nach mGROWA ... 58
5.4 Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen ... 59
6 Grundwasserdargebot ... 60
6.1 Aktuelles Grundwasserdargebot ... 60
6.2 Zukünftige Entwicklung des Grundwasserdargebots ... 64
6.2.1 Klimawandelszenarien ... 64
6.2.2 Auswahl der Klimawandelszenarien ... 65
6.2.3 Vorgehensweise zur Auswahl der Klimaprojektionen ... 67
6.2.3.1 Modellkette ... 67
6.2.3.2 Regionsspezifische Analyse ... 68
6.2.3.3 Trendanalyse und Tests auf Robustheit ... 70
6.2.3.4 Ergebnisse der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA ... 70

6.2.3.5 Steckbriefe ... 75
6.2.3.6 Fazit ... 76
6.3 Infiltration aus Oberflächengewässern ... 77
6.4 Direktabflusskomponenten ... 84
6.5 Kläranlagen und Schmutzwasserdirekteinleiter ... 89
6.5.1 Variante 1: Substitution des Mindestwasserabflusses in Fließrichtung ... 90
6.5.2 Variante 2: Substitution des Mindestwasserabflusses gleichmäßig über die Fließstrecke ... 93
6.5.3 Variante 3: Kläranlageneinleitung als flexible durchleitbare Reserve ... 97
6.5.4 Variante 4: Substitution des Mindestwasserabflusses nach Abwasseranteil ... 101
6.5.5 Bewertung ... 104
6.6 Kleinkläranlagen ... 105
6.6.1 Kleinkläranlagen mit Einleitung in das Grundwasser ... 106
6.6.2 Kleinkläranlagen mit Einleitung in Oberflächengewässer ... 107
6.6.3 Kleinkläranlageneinleitungen gesamt ... 109
6.7 Niederschlagsversickerungsanlagen ... 111
7 Minderungen und Beeinflussungen des Grundwasserdargebots ... 113
7.1 Technische Gewinnbarkeit ... 113
7.2 Mindestwasserabfluss Oberflächengewässer ... 116
7.2.1 Festlegung eines Mindestwasserorientierungswertes ... 116
7.2.2 Berechnung des Mindestwasserabflusses ... 118
7.2.3 Plausibilität des Mindestwasserabflusses ... 119
7.2.4 Umsetzung der Sicherung des Mindestwasserabflusses ... 123
7.3 Grundwasserabhängige Landökosysteme ... 123
7.3.1 Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz als Betrag der Summe aller grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraum ... 124
7.3.2 Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz als Betrag der Summe aller grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraumes, mit separater Auswertung der Ausgangs- und Saumflächen ... 126
7.3.3 Ermittlung der positiven Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem mit 50 m Saum und Summierung je Bilanzraum ... 127
7.3.4 Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem und Summierung der positiven Grundwasserneubildungsmengen je Bilanzraum ... 128
7.3.5 Festlegung ... 129
7.4 Versalzung ... 132
7.4.1 Auswertung der Konzepte anderer Bundesländer ... 133
7.4.2 Auswertung fachlicher Karten ... 133
7.4.3 Festlegung eines Grenzwerts für Versalzung ... 134
7.4.4 Auswertung von Messdaten ... 135
7.4.5 Potenzielle Auswirkung auf das nutzbare Grundwasserdargebot ... 138
7.5 Übertragung zwischen Bilanzräumen ... 139
7.5.1 Vorgehensweise ... 140

7.5.2 Auswertungsergebnisse 143
7.5.3 Auswirkung auf das nutzbare Grundwasserdargebot der einzelnen Bilanzräume 144
7.6 Bergbau 145
7.6.1 Allgemein 145
7.6.2 Untertagebau 146
7.6.2.1 Die Grube Wohlverwahrt-Nammen 146
7.6.3 Tagebau 147
7.6.4 Bergsenkungen 148
7.6.5 Fazit 148
8 Grundwasserentnahmen 149
8.1 Aktuelle Grundwasserentnahmen 149
8.2 Zukünftige Grundwasserentnahmen 151
8.3 Abschätzung der erlaubnisfreien Grundwasserentnahme 157
8.3.1 Private Haushalte 157
8.3.2 Gartenbewässerung 158
8.3.3 Kleingärten 160
8.3.4 Viehwirtschaft 161
8.3.5 Summe der erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen je Bilanzraum 162
8.3.6 Gesamtschätzung erlaubnisfreie Grundwasserentnahme 164
9 Konzeptvorschlag 165
10 Bilanzierungswerkzeug 169
11 Ergebnisse 178
12 Übertragbarkeit auf eine landesweite Methode 181
13 Zusammenfassung 184
14 Quellenverzeichnis 186

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1: Flächennutzung nach hydrogeologischer Großlandschaft (Quelle: OpenGeodata.NRW 2024) ... 21
Tab. 3.2: Anzahl der im 2. Grundwasserstockwerk ausgefilterten Grundwassermessstellen und Förderbrunnen ... 23
Tab. 3.3: Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet je Grundwasserkörper ... 28
Tab. 4.1: Vergleichende Übersichtstabelle der wesentlichen Unterschiede der Länderkonzepte ... 52
Tab. 6.1: Statistische Werte je Bilanzraum zur Grundwasserneubildung im 30-jährigen Mittel sowie in der Trockenwetterdekade ... 63
Tab. 6.2: Klimaszenarien (KREIENKAMP et al, 2022) ... 65
Tab. 6.3: Kulturstaue im Bereich Große Aue ... 82
Tab. 6.4: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 1 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 92
Tab. 6.5: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 1 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 93
Tab. 6.6: Ermittlung der Anteile der Fließstrecken je Fließgewässereinzugsgebiet ... 95
Tab. 6.7: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 2 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 96
Tab. 6.8: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 2 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 97
Tab. 6.9: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 3 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten ... 99
Tab. 6.10: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 3 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 100
Tab. 6.11: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 4 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 102
Tab. 6.12: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 4 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ... 103
Tab. 6.13: Zusammenstellung der Substitution des Mindestwasserabflusses der einzelnen Varianten ... 104
Tab. 6.14: Einleitung von Kleinkläranlagen ... 105
Tab. 6.15: Bestimmbarkeit der Zuordnung der Kleinkläranlageneinleitungen zu Grund- oder Oberflächenwasser ... 110
Tab. 6.16: Mengenmäßiger Vergleich der GWNB im Versickerungsanlagenbereich mit der GWNB im Bilanzraum ... 112

Tab. 7.1: Für die LAWA-Gewässertypen empfohlene MOW (durchgestrichene Felder kennzeichnen Kombinationen, die nicht untersucht wurden); Quelle: LAWA (2019) 117
Tab. 7.2: Für die typologischen Fallgruppen empfohlene MOW; Quelle: LAWA (2019)..... 117
Tab. 7.3: MNQ/MQ-Verhältnis in den Pegeleinzugsgebieten des Projektgebietes 118
Tab. 7.4: Mindestwasserabfluss und Grundwasserneubildung je Bilanzraum..... 120
Tab. 7.5: Mittlere Grundwasserneubildung und Mindestwasserabfluss aggregiert nach hydrogeologischen Großlandschaften..... 122
Tab. 7.6: Mittlere Grundwasserneubildung und Mindestwasserabfluss aggregiert nach Flusseinzugsgebieten in der hydrogeologischen Großlandschaft Westfälisches Tiefland 123
Tab. 7.7: Zusammenfassung der betrachteten Varianten zur Sicherung grundwasserabhängiger Landökosysteme 129
Tab. 7.8: Positive Grundwasserneubildungsbilanz der grundwasserabhängigen Landökosysteme (gwaLÖS) je Bilanzraum und deren Minderung..... 131
Tab. 7.9: Übersicht über die verschiedenen versalzten Grundwasserneubildungen in den jeweiligen Bilanzräumen..... 139
Tab. 7.10: Übersicht der Klassifizierungsarten der quantitativen Daten bei Dargebotsübertragungen 141
Tab. 7.11: Übersicht über alle potenziellen Dargebotsübertragungen mit ihrer jeweiligen möglichen Übertragungsmenge 144
Tab. 7.12: Übersicht über die Beeinflussung der Mengenübertragungen auf die abgebenden und aufnehmenden Bilanzräume 145
Tab. 8.1: Genehmigte und tatsächliche Grundwasserentnahmen je Bilanzraum..... 150
Tab. 8.2: Übersicht der Gemeinden mit dem jeweiligen Erscheinungsjahr des WVK und dem Erstellungsjahr der Bedarfsprognose 152
Tab. 8.3: Übersicht der Wasserversorger und deren Bedarfsprognosen..... 152
Tab. 8.4: Übersicht der privaten Wasserrechtsinhaber mit dem Wasserrechtsvolumen- und dem Ablaufjahr 153
Tab. 8.5: Modellprognosen des Beregnungsbedarfes in Minden-Lübbecke (Grundlage: KREINS et al, 2015) 154
Tab. 8.6: Übersicht über den Ackeranbau in Minden Lübbecke im Jahre 2020 (Quelle: LANDESBETRIEB IT.NRW, 2025) 155
Tab. 8.7: Kostenübersicht der Komponenten für die Beregnung von Ackerflächen (Quelle: Eigene Ermittlung) 156
Tab. 8.8: Kleingärten mit den zugehörigen ausgemessenen Flächen 160
Tab. 8.9: Die erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen der einzelnen mit den einzelnen Grundwasserentnahmen der Sektoren 163
Tab. 10.1: Aufbau des Bilanzierungswerkzeugs 170

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1: Darstellung der Grundwasserhaushaltskomponenten (verändert nach BLOMENHOFER et al, 2012) 25
Abb. 4.1: Fließschema der Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Brandenburg 32
Abb. 4.2: Fließschema der Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Mecklenburg-Vorpommern 36
Abb. 4.3: Fließschema zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve im Land Niedersachsen nach ehemaligem Mengenerlass 42
Abb. 4.4: Ablaufschema zur Ermittlung des maßgeblichen nutzbaren Grundwasserdargebots im Land Niedersachsen gemäß aktuellem Mengenerlass 45
Abb. 4.5: Ablaufschema zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve im Land Sachsen 47
Abb. 4.6: Ablaufschema zur Ermittlung des eingeschränkt nutzbaren Grundwasserdargebots im Land Sachsen-Anhalt 49
Abb. 4.7: Ablaufschema zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots im Land Thüringen 51
Abb. 6.1: Modellkonzept des Wasserhaushaltsmodells mGROWA in der Implementierung für Nordrhein-Westfalen (Quelle: LANUV-Fachbericht 110, Teil IIa, S. 14) 61
Abb. 6.2: Bandbreiten der globalen mittleren Temperaturänderung je nach RCP-Szenario, rot umrandet: die zu betrachtende nahe Zukunft, grüne Punkte: zu ermittelnde Grundwasserdargebote für den Ist-Zustand, das Trockenwetterdargebot und die drei RCP-Szenarien, verändert nach IPCC, 2014 66
Abb. 6.3: Darstellung der hydrogeologischen Großlandschaften sowie der Gitterpunkte der RCMs für die regionsspezifische Analyse der Ensembleergebnisse in NRW, grau hinterlegt: Lage des Kreises Minden-Lübbecke (nach HERMANN et al, 2021a) 69
Abb. 6.4: Boxplots der Änderungssignale der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung im RCP Teilensemble RCP2.6 („2 Grad Weg“) und den drei zukünftigen 30-Jahre-Perioden in den hydrogeologischen Großlandschaften. Fette Linien in den Boxen kennzeichnen die Mediane, die Boxen begrenzen den Interquartilsabstand, d. h. 50 % der Werte, aus HERMANN et al, 2021a 71
Abb. 6.5: Boxplots der Änderungssignale der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung im RCP Teilensemble RCP8.5 („der fossile Weg“) und den drei zukünftigen 30-Jahre-Perioden in den hydrogeologischen Großlandschaften. Fette Linien in den Boxen kennzeichnen die Mediane, die Boxen begrenzen den Interquartilsabstand, d. h. 50 % der Werte, aus HERMANN et al, 2021a 72
Abb. 6.6: Räumlich verteilte Änderungssignale der projizierten Grundwasserneubildung (2041-2070 vs. 1971-2000). Das RCP2.6-Teilensemble ist grün hinterlegt und das RCP8.5-Teilensemble ist rot hinterlegt. Rot umrandet: die gewählten Projektionspfade zur Begrenzung der Bandbreite; blau umrandet: Projektionspfade gegenteiliger Änderungssignale. Aus LANUV, 2021 74
Abb. 6.7: Bilanzräume Große Aue Lockergestein links und rechts mit relevanten Fließgewässern und Grundwasserneubildung im Istzustand. 79
Abb. 6.8: Zeitreihe der langjährigen Monatsmittelwerte der Grundwasserneubildung in den Bilanzräumen Große Aue Lockergestein links und rechts 80

Abb. 6.9: Ganglinien des Oberflächenwasserstands im Ober- und Unterwasser von Stau 1 sowie der nächstgelegenen Grundwassermessstelle AU 103T Ströhen 83
Abb. 6.10: Anteil der Monate mit urbanem Direktabfluss 86
Abb. 6.11: Anteil der Monate mit Zwischenabfluss 87
Abb. 6.12: Anteil der Monate mit Drainageabfluss 88
Abb. 6.13: Große Aue Lockergestein rechts, Kläranlagenstandorte und Lage der betroffenen Fließgewässer und Fließgewässereinzugsgebiete 90
Abb. 6.14: Prinzipskizze Variante 1 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße 91
Abb. 6.15: Prinzipskizze Variante 2 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße 94
Abb. 6.16: Prinzipskizze Variante 3 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße 98
Abb. 6.17: Prinzipskizze Variante 4 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße 101
Abb. 6.18: Anteil der Grundwassereinleitungsmenge von Kleinkläranlagen an der mittleren Grundwasserneubildung 107
Abb. 6.19: Anteil der Oberflächenwassereinleitungsmenge von Kleinkläranlagen an der mittleren Grundwasserneubildung 108
Abb. 6.20: Anteil der gesamten Einleitungsmenge von Kleinkläranlagen an der mittleren Grundwasserneubildung 110
Abb. 6.21: Flächenmäßige Ausdehnung der vier Versickerungsanlagen mit den zugehörigen GWNB-Raten aus mGROWA. GWNB-Zuordnung: Dunkelblau = Sehr hoch; Blau = Hoch; Grün = Mittel; Hellgrün = Gering 112
Abb. 7.1: Grundwasserdargebotsarten nach DIN 4049-3 (1994) 113
Abb. 7.2: Ergiebigkeit, Gesteinsart und Grundwasserleitertyp aus den Grundwasserkörpersteckbriefen 115
Abb. 7.3: Verhältnis der mittleren Grundwasserneubildung zum Mindestwasserabfluss 121
Abb. 7.4: Hydrogeologische Großlandschaften und Flusseinzugsgebiete im Projektgebiet 122
Abb. 7.5 Schematische Darstellung der Verringerung der Grundwasserneubildungsmenge bei Verwendung eines Saumes in der Bewertung 125
Abb. 7.6: Schematische Darstellung der Verringerung der Grundwasserneubildungsmenge bei separater Betrachtung des Saumes in der Bewertung 126
Abb. 7.7: Schematische Darstellung der Auswertung nahegelegener grundwasserabhängiger Landökosysteme 127
Abb. 7.8: Reduzierung des Grundwasserdargebots zur Sicherung grundwasserabhängiger Landökosysteme 130
Abb. 7.9: Darstellung der maximal gemessenen (1) bzw. der mittleren (2) Chloridkonzentrationen im Grundwasser der letzten zehn Jahre. 135
Abb. 7.10: Chloridkonzentrationsganglinien über die letzten 10 Jahre 136
Abb. 7.11: Übersicht der Standorte und gemessenen Chloridwerte von Mittellandkanal, Weser und Werre im Projektgebiet (Quelle: ELWAS-WEB, 2025) 137
Abb. 7.12: 30-jähriger Verlauf der Chloridkonzentrationen der Weser, der Werre und des Mittellandkanals. (Quelle: ELWAS-WEB, 2025) 137

Abb. 7.13: Übersicht über die ausgewiesenen potenziell versalzten Grundwasserbereiche; Oliv: Potenziell versalzte Bereiche 138
Abb. 7.14: Übersicht über mögliche Dargebotsübertragungen. Lila = Festgestein; Beige = Lockergestein; Roter Pfeil = Keine Dargebotsübertragung; Grüner Pfeil: Dargebotsübertragung 141
Abb. 7.15: Übersicht von möglichen Dargebotsübertragung. Lila = Festgestein; Beige = Lockergestein; Grüner Pfeil = Dargebotsübertragung möglich; Roter Pfeil = Keine Dargebotsübertragung möglich 143
Abb. 7.16: Geologischer Schnitt durch die Grube Wohlverwahrt-Nammen (verändert nach GEOLOGISCHER DIENST NRW, 2022) 146
Abb. 7.17: Teilung des Bilanzraumes *Kreide bei Stadthagen* und *Wesergebirge 2* 147
Abb. 8.1: Die Siedlungsgebiete im Kreis Minden-Lübbecke: grün = Brunnen möglich, rosa = Brunnen sehr unwahrscheinlich; Kreuzschraffur = Städtisch geprägte Gebiete 159
Abb. 9.1: Fließschema der Ermittlung des nutzbare Grundwasserdargebots entsprechend dem aufgestellten Konzept 167
Abb. 10.1: Steuerung für Ergebnistabelle 170
Abb. 10.2: Steuerung der Bezugszeiträume für das Datenblatt und die Ergebnistabelle 171
Abb. 10.3: Steuerung Wasserrechte 171
Abb. 10.4: Auswahl des Bilanzraums im Datenblatt 172
Abb. 10.5: Zeitreihenanalyse für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers *Nördliche Herforder Mulde* 176

Titelbild

Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH

Anhang

Anhang 1 Analyse und Prüfung der Basisdaten

Anhang 2 Grundwasserneubildung Istzustand nach Grundwasserkörper sowie für grundwasserabhängige Landökosysteme je Grundwasserkörper

Anhang 3 Grundwasserneubildung Istzustand nach Bilanzraum sowie für grundwasserabhängige Landökosysteme je Bilanzraum

Anhang 4 Grundwasserneubildung Trockenwetterdekade nach Bilanzräumen sowie für grundwasserabhängige Landökosysteme je Bilanzraum

Anhang 5 Projizierte Grundwasserneubildung in den Großlandschaften Nordrhein-Westfalens – Westfälisches Tiefland – RCP2.6-MP1-CLM

Anhang 6 Projizierte Grundwasserneubildung in den Großlandschaften Nordrhein-Westfalens – Westfälisches Tiefland – RCP8.5-MI5-CLM

Anhang 7 Projizierte Grundwasserneubildung in den Großlandschaften Nordrhein-Westfalens – Weserbergland – RCP8.5-MP2-R09

Anhang 8 Projizierte Grundwasserneubildung in den Großlandschaften Nordrhein-Westfalens – Weserbergland – RCP8.5-MI5-CLM

Anhang 9 Einleitungsmengen und Einwohnerwerte der Kleinkläranlagen in Minden-Lübbecke

Anhang 10 Viehhaltung auf Gemeindeebene

Anhang 11 Datenblätter der Bilanzräume

Anhang 12 Übertragungen zwischen Bilanzräumen

Anlagen

Anlage 1	Übersichtskarte	M. 1 : 500.000
Anlage 2	Untersuchungsgebiet	M 1 : 200.000
Anlage 3	Digitales Geländemodell	M. 1 : 160.000
Anlage 4	Naturschutzgebiete	M. 1 : 160.000
Anlage 5	Oberflächengewässer	M. 1 : 160.000
Anlage 6	Flächennutzung	M. 1 : 160.000
Anlage 7	Geologische Karte 1 : 500.000	M. 1 : 160.000
Anlage 8	Eigenschaften der Deckschicht	M. 1 : 160.000
Anlage 9	Eigenschaften des oberen Grundwasserleiters	M. 1 : 160.000
Anlage 10	Grundwasserleitertyp und Vorhandensein 2. Grundwasserstockwerk	M. 1 : 160.000
Anlage 11	Grundwasserkörperergiebigkeit	M. 1 : 160.000
Anlage 12	Mittlere Grundwasseroberfläche	M. 1 : 160.000
Anlage 13	Mittlerer Flurabstand	M. 1 : 160.000
Anlage 14	Mittlere Grundwasserneubildung Istzustand	M. 1 : 160.000
Anlage 15	Urbaner Direktabfluss	M. 1 : 160.000
Anlage 16	Drainageabfluss	M. 1 : 160.000
Anlage 17	Förderbrunnen	M. 1 : 160.000
Anlage 18	Mittlere Grundwasserneubildung Trockenwetterdekade	M. 1 : 160.000
Anlage 19	Potenzielle Infiltration aus Oberflächengewässern im Untersuchungsgebiet	M. 1 : 100.000
Anlage 20	Infiltration aus Oberflächengewässern	M. 1 : 50.000
Anlage 21	Kläranlagen und Schmutzwasserdirekteinleiter	M. 1 : 100.000
Anlage 22	Kleinkläranlagen mit Einleitung ins Grundwasser	M. 1 : 100.000
Anlage 23	Kleinkläranlagen mit Einleitung in Oberflächengewässer	M. 1 : 100.000
Anlage 24	Grundwasserdargebote und Grundwasserdargebotsreserven je Bilanzraum	M. 1 : 100.000

Abkürzungsverzeichnis

BFI ..... *Base-Flow-Indizes*
DIN ..... *Deutsches Institut für Normung*
DWD ..... *Deutscher Wetterdienst*
GCM ..... *General Circulation Model*
GK100 ..... *Geologische Karte 1:100.000*
GWDar ..... *Grundwasserdargebot*
GWNB ..... *Grundwasserneubildung*
GWVP ..... *Grundwasservorratsprognose*
HK100 ..... *Hydrogeologische Karte 1:100.000*
IPCC ..... *Intergovernmental Panel on Climate Change*
KSP ..... *Kreideschichten zwischen Stemwede und Petershagen*
LANUK NRW ..... *Landesamt für Natur, Umwelt und Klima NRW*
LANUV NRW ..... *Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW*
LAWA ..... *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser*
m NHN ..... *Meter über Normalhöhennull*
mGROWA ..... *Monatlicher Großräumiger Wasserhaushalt*
MNq ..... M*ittlere Niedrigwasserspende*
MNQ ..... M*ittlerer Niedrigwasserabfluss*
MoMNQ ..... *Monatlicher mittlerer Niedrigwasserabfluss*
MOW ..... *Mindestwasserorientierungswert*
MQ ..... Mittlerer Abfluss
MWA ..... *Mindestwasserabfluss*
NaCl ..... *Natriumchlorid*
Q_{365} ..... *Mittlere Grundwasserentnahme*
RCM ..... *Regional Climate Model*
RCP ..... *Representative Concentration Pathway*
ReKliEs-De ..... *Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland*
SSP ..... *Shared Socioeconomic Pathways*
SSPI ..... *Surface sealing percolation index*
TEZG ..... *Teileinzugsgebiet*
TLUG ..... *Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz*
TVO ..... *Trinkwasserverordnung*
WHG ..... *Wasserhaushaltsgesetzt*
WRRL ..... *Wasserrahmenrichtlinie*

Grundwasserkörperabkürzungen

GALL ..... *Große Aue Lockergestein links*
GALR ..... Große Aue Lockergestein rechts
GALS ..... *Große Aue Lockergestein im Süden*
HRF ..... *Hunte rechts Festgestein*
HRL ..... *Hunte Lockergestein rechts*
KSP ..... *Kreideschichten zwischen Stemwede und Petershagen*
KSW ..... *Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge*
MTG ..... *Mittellippische Triasgebiete*
NHM ..... *Nördlicher Herforder Mulde*
NTG ..... *Nordlippische Trias-Gebiete*
OH ..... *Oberweser-Hameln*
PK ..... *Petershäger Kreide*
TWW ..... *Talaue der Weser südlich Wiehengebirge*
WBE ..... *Werre-Bega-Else-Talung*
WG ..... *Wiehengebirge*
WLL ..... *Weser Lockergestein links*
WLR ..... *Weser Lockergestein rechts*

1 Einleitung

Der Kreis Minden-Lübbecke hat eine Pilotstudie beauftragt, um ein Konzept zur nachhaltigen mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers zu entwickeln. Ziel war es, die Entwicklung der Grundwasserstände zu analysieren sowie das nutzbare Grundwasserdargebot und die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve zu ermitteln. Die Ergebnisse wurden in einem Bilanzierungswerkzeug zusammengeführt, dass den Wasserbehörden eine datengestützte und fachlich fundierte Entscheidungsgrundlage für zukünftige Wasserrechtsverfahren bietet.

Der Klimawandel, ausgelöst durch Treibhausgasemissionen, hat starke Auswirkungen auf natürliche Systeme. Die Auswirkungen werden in Klimaprojektionen simuliert und die Änderungen von z. B. Temperatur, Niederschlag und Grundwasserneubildung berechnet. (IPCC, 2014; HERRMANN et al, 2017). Die Auswirkungen werden sich sehr wahrscheinlich darin äußern, dass stabile Wetterlagen über Mitteleuropa häufiger auftreten und länger andauern. Das bedeutet auch eine Zunahme im Auftreten von Trockenphasen und Phasen mit hohen Niederschlagsmengen (ENGEL et al, 2020). Weiterhin werden Extremniederschläge häufiger und intensiver sowie Trockenjahre öfter auftreten (IPCC, 2014; SCHEIHING, 2019). Die zeitliche Veränderung der Niederschläge wird voraussichtlich zu einem Abnehmen der Niederschläge in der Hauptvegetationsperiode, also im Sommer, führen. Zudem werden im Winterhalbjahr höhere Niederschläge prognostiziert (SCHEIHING, 2019; HEIDT, 2009).

Vor dem Hintergrund des Klimawandels sowie der vergangenen Trockenjahre sollte ein Konzept zur nachhaltigen mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers aufgestellt werden. Die nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers wird von der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000) und vom Wasserhaushaltsgesetz (WHG, 2023) gefordert. Im Rahmen der Pilotstudie wurde zunächst das Grundwasserdargebots bestimmt. Hieraus wurden das gewinnbare sowie das nutzbare Grundwasserdargebot berechnet. Nach Abzug der genehmigten Grundwasserentnahmen ergibt sich die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve, die für weitere Wasserrechte nachhaltig vergeben werden kann.

Hierzu wurden verschiedenste Komponenten des Istzustandes sowie der Wasserbilanz im Detail betrachtet. Insbesondere die technischen und ökologischen Minderungen, die das nachhaltig nutzbare Grundwasserdargebot ergeben, wurden ausführlich untersucht und diskutiert. Nicht alle betrachteten Fragestellungen fanden Eingang in das Konzept. Einige wurden verworfen, andere wurden nicht in die Bilanz, sondern als Hinweise, aufgenommen. Das resultierende Konzept wurde in enger Abstimmung mit den Wasserbehörden, dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen sowie dem Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen entwickelt.

Die iterative Prüfung der einzelnen Komponenten erfolgte auch mit Hinblick auf die landesweite Übertragbarkeit, der praktischen Anwendung im Vollzug und unter Prüfung bestehender Bilanzkonzepte und -konventionen anderer Bundesländer. Zielsetzung ist es hier, die Wasserbehörden in die Lage zu versetzen, unabhängig von einzelnen Wasserrechten, eine datengestützte, naturwissenschaftlich fundierte Bewertung der vorhandenen Grundwasserreserven vornehmen zu können.

2 Vorgehen

Im Rahmen der Pilotstudie soll das nutzbare Grundwasserdargebot sowie die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve zur nachhaltigen mengenmäßigen Bewirtschaftung der Grundwasser(teil)körper ermittelt werden. Zunächst werden die genannten Begriffe erläutert und dann das Vorgehen bei der Bearbeitung der Pilotstudie dargestellt.

Das nutzbare Grundwasserdargebot wird in der DIN 4049-3 (1994) als *„Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebots […], der für die Wasserversorgung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann“* definiert. Das gewinnbare Grundwasserdargebot ist Teil des Grundwasserdargebots, welches als *“Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz […] für einen Grundwasserabschnitt […]“* definiert ist. Die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve wiederum ist in der DIN nicht definiert und stellt das nutzbare Grundwasserdargebot abzüglich der genehmigten Grundwasserentnahmen dar. Diese Menge steht in der Regel, vorbehaltlich der Prüfung im Wasserrechtsverfahren, für weitere Grundwasserentnahmen zur Verfügung. Zur Ermittlung dieser Menge ist also eine Bilanzierung mit verschiedenen positiven und negativen Bilanzgliedern erforderlich.

Die positiven Bilanzglieder werden dem Grundwasserdargebot zugerechnet und sind in Kap. 6 dargestellt. Hier wurde im Rahmen der Pilotstudie als Basis die Grundwasserneubildung herangezogen. Die Grundwasserneubildung stellt das Wasser dar, welches durch Zusickerung dem Grundwasser zugeführt wird. Komplexe hydrogeologische Komponenten, wie Leakages, effluente Verhältnisse und Überträge zwischen Grundwasserkörpern können dabei nur teilweise betrachtet werden. Die Grundwasserneubildung wurde modelltechnisch ermittelt und in Form von verschiedenen Datensätzen zur Verfügung gestellt, die ausgewertet wurden. So wurden der Istzustand, eine Trockenperiode und mehrere Klimawandelszenarien untersucht. Weiterhin wurde im Rahmen der Studie geprüft, welches Potenzial die Nutzung von Kläranlageneinleitungen hat und wie dieses in der Bilanz berücksichtigt werden kann.

Das Grundwasserdargebot wird laut Definition reduziert, um bestimmte Randbedingungen einzuhalten. Diese Randbedingungen sind als Minderungen und Beeinflussungen in Kap. 7 berücksichtigt. Hier wird zum Beispiel ermittelt, wie viel Wasser benötigt wird, um den Basisabfluss in den Oberflächengewässern sicherzustellen und wie berücksichtigt werden kann, dass grundwasserabhängige Landökosysteme nicht schädlich durch Grundwasserentnahmen beeinflusst werden. Zudem wurde hier auch der mögliche Einfluss durch Bergbau oder Versalzung des Grundwassers betrachtet und deren Einflüsse auf das nutzbare Grundwasserdargebot untersucht.

Weiterhin gehen die Grundwasserentnahmen in die Bilanzierung ein. Diese sind in Kap. 8 beschrieben. Insbesondere wird hier auf die prognostizierten zukünftigen Grundwasserentnahmen sowie die erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen eingegangen.

Vor der Aufstellung des Konzepts für die Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve wird zunächst das Untersuchungsgebiet in Kap. 3 beschrieben. Hier wird ein Überblick über den Kreis Minden-Lübbecke sowie die in Nordrhein-Westfalen liegenden Teile der zu betrachtenden Grundwasserkörper gegeben. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf den aus wasserwirtschaftlicher Sicht relevanten Eigenschaften.

In Nordrhein-Westfalen gibt es noch kein verbindliches Vorgehen für die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots oder der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve. Daher wurde für die Konzepterstellung im Vorfeld eine Literaturrecherche durchgeführt. Hier wurde ausgewertet und dokumentiert, wie andere Bundesländer bei der Berechnung vorgegangen sind. Die Ergebnisse der Literaturrecherche sind in Kap. 4 für sechs Bundesländer dokumentiert. Die übrigen Bundesländer haben kein verbindliches Vorgehen festgelegt.

Zu Beginn der Untersuchung wurden in Kap. 5 zunächst die Basisdaten analysiert und auf Plausibilität geprüft. So wurde z. B. die für Nordrhein-Westfalen modellierte Grundwasseroberfläche zur weiteren Verwendung auf Plausibilität geprüft, da diese maßgebliche Auswirkungen auf die Grundwasserkörpergrenzen haben. Im Anschluss wurden die Grundwasserkörpergrenzen überprüft und Bilanzräume entwickelt, in denen die oben beschriebene Bilanzierung durchgeführt wurde. Weiterhin wurde eine umfangreiche Trendanalyse der Grundwasserstände durchgeführt, um Veränderungen des Istzustandes und des Grundwasserdargebots beurteilen zu können.

Das Konzept selbst, in dem die Auswertungen und Untersuchungen von Grundwasserdargebot, Minderungen, Beeinflussungen, Grundwasserentnahmen sowie der Trendanalyse Eingang finden, ist in Kap. 9 beschrieben. Hier wird zusammengefasst, was in den vorangegangenen Kapiteln als Ergebnis erarbeitet wurde. Weiterhin wird in Kap. 11 das Ergebnis und deren Auswirkungen auf die wasserwirtschaftliche Genehmigungspraxis diskutiert sowie eine mögliche Übertragung auf ein Konzept für ganz Nordrhein-Westfalen bewertet.

In Kap. 10 wird das Bilanzierungswerkzeug beschrieben, das für den Kreis Minden-Lübbecke auf Basis des Konzepts aufgestellt wurde. Hier finden das ermittelte Grundwasserdargebot und die jeweiligen Minderungen Eingang und werden auf die Bilanzräume angewendet. Im Ergebnis kann von den Genehmigungsbehörden somit abgeschätzt werden, ob eine ausreichende nutzbare Grundwasserdargebotsreserve für ein beantragtes Wasserrecht verfügbar ist.

3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst den gesamten Kreis Minden-Lübbecke sowie Teile der angrenzenden Kreise Herford und Lippe (**Anlage 1**). Die Grenzen des Untersuchungsgebiets entsprechen den im Kreis Minden-Lübbecke gelegenen Grundwasserkörpergrenzen gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Es befindet sich in Nordrhein-Westfalen und wird im Norden, Westen und Osten durch die niedersächsische Landesgrenze begrenzt. Im Süden verläuft die Grenze des Untersuchungsgebiets entlang der Linie Bünde – Hiddenhausen – Herford - nördlich von Bad Salzuflen, Lemgo und Dörentrup. Von dort biegt die Untersuchungsgebietsgrenze dann nach Norden ab Richtung Bundeslandgrenze, die sie südlich von Langenhausen erreicht (**Anlage 2**).

3.1 Morphologie

Der Kreis Minden-Lübbecke zeichnet sich durch eine überwiegend flache Morphologie aus. Die Geländehöhen reichen von ca. 26 bis über 300 m NHN. Die höheren Geländehöhen werden im Wiehengebirge bzw. im Wesergebirge erreicht. Das Wiehengebirge erstreckt sich im Kreis Minden-Lübbecke von der westlichen Kreisgrenze im Süden von Preußisch Oldendorf bis zum Weserdurchbruch in Porta Westfalica. Das Wesergebirge beginnt östlich des Weserdurchbruchs und erstreckt sich im Kreis Minden-Lübbecke bis zur östlichen Kreisgrenze in Porta Westfalica (**Anlage 3**). Der Mittelgebirgszug stellt neben den höchsten Erhebungen innerhalb von Minden-Lübbecke auch die Grenze des Weserberglandes und Westfälischen Tieflandes dar (siehe **Anlage 6**).

Das Westfälische Tiefland steigt von der Grenze zu Niedersachsen mit Höhen von ca. 30 m NHN bis zum Wiehengebirge an, wo Höhen von 70 m über dem Meeresspiegel erreicht werden. Die einzige weitere nennenswerte Erhebung im Westfälischen Tiefland ist der Stemweder Berg im Nordwesten des Kreises, wo Geländehöhen von ca. 180 m NHN erreicht werden.

Das Weserbergland beginnt nördlich des Wiehengebirges, erstreckt sich nach Süden und ist durch eine heterogene Morphologie geprägt. Südlich des Wesergebirges beginnt die Ausdehnung des Mittelgebirges Lipper Bergland, wodurch eine durchgängig gebirgige Landschaft entsteht, in der Geländehöhen von über 350 m NHN erreicht werden. Die geringsten Geländehöhen werden in den durch Erosion entstandenen Tälern der Flüsse Weser, Werre und Else erreicht.

3.2 Naturschutz

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Vielzahl kleiner und großer Natur-, Umwelt- und Bodenschutzgebiete (**Anlage 4**). Zu den schützenswerten Gebieten zählen demnach Waldgebiete, Bach- und Flussgebiete sowie Moorbereiche. Zu den größten Schutzgebieten zählen das Heisterholz, der Mindenerwald, die Oppenweher Moorlandschaft und die Bastauwiesen in Kombination mit dem Großen Torfmoor. Die drei letztgenannten Gebiete sind nicht nur unter Schutz gestellt, sondern weisen auch die Eigenschaft auf, grundwasserabhängige Landökosysteme zu sein. Grundwasserabhängige Landökosysteme werden definiert als terrestrische Ökosysteme, die ihren Wasserbedarf permanent oder temporär aus dem Grundwasser decken, um die Aufrechterhaltung der Prozesse und Leistungen des Ökosystems zu gewährleisten (BUG et al, 2021)). Darüber hinaus sind weitere dieser Ökosysteme im Norden des Kreises entlang der Weser zu finden.

3.3 Hydrologie

Gemäß der Übersichtskarte in **Anlage 5** ist festzustellen, dass das Untersuchungsgebiet von einer Vielzahl von Fließgewässern durchzogen ist. Die Weser stellt das größte Fließgewässer im Untersuchungsgebiet dar. Sie durchquert dieses von seiner südöstlichen Grenze aus und verlässt es in nördlicher Richtung. In die Weser mündet auf Höhe Bad Oeynhausen die Werre, die nahe Herford von Westen in das Untersuchungsgebiet einfließt. Darüber hinaus verläuft der Mittellandkanal durch den Kreis Minden-Lübbecke in einer von Ost nach West beziehungsweise von West nach Ost verlaufenden Richtung. Die Bastau verläuft südlich des Mittellandkanals vom Großen Torfmoor in Richtung Osten und mündet in die Weser. Südwestlich des Kreises Minden-Lübbecke und südlich des Wiehengebirges entspringt die Große Aue, die dann in nördlicher Richtung das Wiehengebirge kreuzt und nordöstlich von Preußisch Ströhen den Kreis verlässt. Sie mündet etwa 45 km weiter im Osten ebenfalls in die Weser.

In der Umgebung der Hauptvorfluter erstreckt sich zudem ein ausgedehntes Fließgewässernetz, das aus zahlreichen kleinen Flüssen und Bächen besteht (siehe **Anlage 5**), welche in die Hauptvorfluter münden. In der Nähe der Weser befinden sich außerdem durch Abgrabungen entstandene Seen.

Die Oberflächenentwässerung erfolgt durch ein ausgedehntes System von Gräben, die in die in **Anlage 5** dargestellten Vorfluter münden.

3.4 Klima

Das Untersuchungsgebiet ist Bestandteil des ozeanisch-kontinentalen Übergangsbereichs Zentraleuropas, sodass sowohl atlantische als auch kontinentale Einflüsse festzustellen sind. Die mittlere Temperatur beträgt im Gebiet circa 10 bis 11°C, in Höhenlagen circa 1°C weniger. Im Tiefland des Untersuchungsgebiets beträgt der Niederschlag zwischen 650 und 750 mm/a. In den Höhenlagen ist ein Anstieg der Niederschlagsmenge auf ca. 950 bis 1.050 mm/a zu verzeichnen. Das Untersuchungsgebiet ist durch ein gemäßigtes Klima charakterisiert.

3.5 Flächennutzung

Gemäß den Daten aus OpenGeodata.NRW 2024 werden die Flächen des Untersuchungsgebiets vorwiegend für landwirtschaftliche Zwecke genutzt (siehe **Anlage 6**). Im Westfälischen Tiefland werden 76 % der Fläche für landwirtschaftliche Zwecke genutzt, im Weserbergland sind es 57 %. Die nächstgrößten Flächenanteile machen Siedlungsgebiete aus. Im Westfälischen Tiefland haben sie einen Anteil von 13 %, im Weserbergland von 20 %. Waldgebiete umfassen im Weserbergland etwa 20 %, die sich hauptsächlich in der Umgebung von Langenholzhausen und im Wiehengebirge befinden. In den Tieflandgebieten finden sich bewaldete Flächen (ca. 9 %) vorrangig in Bereichen mit erhöhter Morphologie. Ein Beispiel dafür ist der Stemweder Berg. Darüber hinaus gibt es weitere große zusammenhängende Waldgebiete, darunter der teilweise unter Schutz gestellte „Mindenerwald" und das „Heisterholz". Diese befinden sich an der nördlichen niedersächsischen Grenze bzw. bei Petershagen.

	Westfälisches Tiefland		**Weserbergland**	
	Fläche [km²]	**Flächen-anteil**	**Fläche [km²]**	**Flächen-anteil**
Landwirtschaft	642.758	76%	403.818	57%
Siedlungsgebiete	107.859	13%	143.649	20%
Wald	76.796	9%	142.277	20%
Gehölz/Heide/Moor/Sumpf/Unland	23.709	3%	20.221	3%
Gesamt	851.122		709.965	

Tab. 3.1: Flächennutzung nach hydrogeologischer Großlandschaft (Quelle: OpenGeodata.NRW 2024)

Im Untersuchungsgebiet gibt es neben den genannten Flächennutzungen große Moorflächen. Zu diesen zählen das Oppenweher Moor an der nördlichen niedersächsischen Grenze sowie das Große Torfmoor, das sich südlich des Mittellandkanals befindet.

3.6 Geologie und Hydrogeologie

Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden grundwasserleitenden Schichten setzen sich sowohl aus Fest- als auch Lockergestein zusammen (siehe **Anlage 7 bis Anlage 9**). Das Festgestein, dessen Entstehungszeit dem Erdmittelalter zuzuordnen ist, setzt sich aus Ton-, Tonmergel-, Kalk- und Sandsteinen zusammen. Festgestein findet sich insbesondere im Wiehengebirge und in der südlich davon gelegenen Region. Darüber hinaus erstrecken sich auf Höhe von Espelkamp und Petershagen, vom Westen des Kreises bis an die Weser im Osten, die festen Sand-, Ton- und Mergelgesteine aus der Kreidezeit. Die übrigen Gesteine in Minden-Lübbecke sind Lockergesteine, die während des Eiszeitalters durch fluviatile und periglaziale Prozesse abgelagert wurden. Sie umfassen Sand, Kies, Löss und Geschiebemergel. Die Ablagerungen aus lockeren Gesteinsmaterialien, die durch fluviatile Prozesse gebildet wurden, sind ausschließlich in den Bereichen zu finden, in denen Fließgewässer existieren.

In den Gebieten mit Festgestein liegen hauptsächlich Kluft-Grundwasserleiter vor (siehe **Anlage 10**), deren Durchlässigkeit als gering bis sehr gering klassifiziert wird, was diese zu schlecht leitenden Grundwasserleitern macht. Das Grundwasser fließt im Lockergestein innerhalb der Poren. Aufgrund der mittel bis mäßig guten Durchlässigkeit dieser Grundwasserleiter werden diese als gute Grundwasserleiter klassifiziert.

Gemäß der vorliegenden Grundwassermessstellenstammdaten und der Entnahmebrunnenstammdaten vom Kreis Minden-Lübbecke und der Bezirksregierung Detmold liegt im Untersuchungsgebiet weitgehend nur ein Grundwasserstockwerk vor. Lediglich im Grundwasserkörper *Talaue der Weser südlich Wiehengebirge* gibt es eine Vielzahl von Grundwassermessstellen und mehrere Entnahmebrunnen, die im zweiten Grundwasserleiter ausgefiltert sind (siehe **Anlage 10** und Tab. 3.2). Somit ist davon auszugehen, dass in diesem Grundwasserkörper flächendeckend ein zweites Grundwasserstockwerk vorhanden ist. In anderen Grundwasserkörpern gibt es nur vereinzelte Messstellen und/oder Brunnen, die tief ausgefiltert sind. Sie liegen überwiegend in Porengrundwasserleitern und vereinzelt in Kluftgrundwasserleitern im *Wiehengebirge*, der *Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge*, der *Nördlichen Herforder Mulde* und den *Mittellippischen Triasgebieten*. In den Porengrundwasserleitern mit nur vereinzelt tief ausgefilterten Messstellen oder Brunnen ist anzunehmen, dass ein zweites Grundwasserstockwerk nur lokal vorhanden ist. In Kluftgrundwasserleitern ist möglicherweise die Ausweisung als Ausfilterung im zweiten Grundwasserstockwerk über die Tiefe der Brunnen vorgenommen worden. Echte, durch hemmende Schichten flächendeckend getrennte, Grundwasserleiter gibt es in Kluftgrundwasserleitern nicht.

Grundwasserkörper	Anzahl Grundwas-sermess-stellen	Anzahl Entnahme-brunnen	Summe
Talaue der Weser südlich Wiehengebirge	152	2	154
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge	5	1	6
Kreideschichten zwischen Stemwede und Petershagen	1	4	5
Hunte Lockergestein rechts	1	2	3
Weser Lockergestein links	1	2	3
Nördlicher Herforder Mulde	5	1	6
Große Aue Lockergestein links		2	2
Große Aue Lockergestein rechts		1	2
Mittellippische Triasgebiete		5	5
Werre-Bega-Else-Talung		2	2
Wiehengebirge		1	1

Tab. 3.2: Anzahl der im 2. Grundwasserstockwerk ausgefilterten Grundwassermessstellen und Förderbrunnen

Die Ergiebigkeit der Grundwasserkörper wurde im Rahmen der Bewertungen zur WRRL geprüft und ist den Grundwassersteckbriefen zu entnehmen. Im Untersuchungsgebiet ist sie unterschiedlich und reicht von *praktisch grundwasserfrei* bis *sehr ergiebig*. Da die Ergiebigkeit stark vom Grundwasserleitertyp abhängig ist, sind in **Anlage 11** sowohl die Ergiebigkeit als auch der Grundwasserleitertyp dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass Kluftgrundwasserleiter insgesamt eine eher geringe Ergiebigkeit aufweisen. Dabei sind die Grundwasserkörper, die überwiegend aus Kluftgrundwasserleitern bestehen, im nördlichen Bereich (*Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen* sowie *Petershäger Kreide*) praktisch grundwasserfrei. Das *Wiehengebirge* wurde als nicht sehr ergiebig klassifiziert und die *nördliche Herforder Mulde* als wenig ergiebig. Lediglich das *Hunte rechts Festgestein* im Westen des *Wiehengebirges* sowie die *Mittellippischen* und *Nordlippischen Triasgebiete* im Süden des Untersuchungsgebiets zeigen mit wechselnder bzw. lokaler Ergiebigkeit etwas höhere Ergiebigkeiten.

Die Grundwasserkörper im Untersuchungsgebiet, die überwiegend aus Porengrundwasserleitern bestehen, sind alle ergiebig oder sehr ergiebig. Auch hier lässt sich eine räumliche Zuordnung erkennen, da die Grundwasserleiter im östlichen Teil des Untersuchungsgebiets, im Bereich der Weser und der Werre (*Weser Lockergestein links* und *rechts*, *Talaue der Weser südlich Wiehengebirge* und *Werre-Bega-Else-Talung*), sehr ergiebig sind. Die Grundwasserleiter im westlichen Teil des Untersuchungsgebiets, im Bereich der Großen Aue (*Große Aue Lockergestein links* und *rechts* und *Große Aue Lockergestein im Süden*) und der Hunte (*Hunte rechts Lockergestein*), wurden hingegen als ergiebig klassifiziert.

Die im Untersuchungsgebiet befindlichen Deckschichten setzen sich aus Sand, Schluff und Ton zusammen. Die Lokalisierung sowie die Lithologie der Deckschichtausbreitung können **Anlage 8** entnommen werden. Es ist zu sehen, dass nicht überall Deckschichten vorliegen. Im Bereich des Großen Torfmoors und der Bastauwiesen sind die einzigen signifikanten organischen Deckschichten vorhanden, die sich in Form von Torf gebildet haben. Alle Deckschichten weisen eine geringe bis sehr geringe Durchlässigkeit auf.

Die Verteilung von Grundwasserstand und Flurabstand ist nördlich des Wiehengebirges im Westfälischen Tiefland gleichmäßig. Die Grundwasserstände befinden sich mit Ausnahme des Stemweder Berges zwischen 30 und 50 m NHN (siehe **Anlage 12)**. Dies zeigt sich auch in den geringen Flurabständen, die hauptsächlich unter 10 m liegen (siehe **Anlage 13**). Im Untersuchungsgebietsteil, der dem Weserbergland zugeordnet wird, zeigen sich eine sehr heterogene Grundwasserstands- und Flurabstandsverteilung. Im Bereich der Hochlagen liegt die mittlere Grundwasseroberfläche bei > 200 m NHN bis hin zu rd. 400 m NHN. Die Flurabstände betragen bis zu > 150 m. In den Tälern liegen die mittleren Grundwasserstände bei etwa 40 bis 60 m NHN, die Flurabstände überwiegend bei <2 m. Diese Grundwasseroberfläche wurde im Rahmen des Projekts „Grundwasserbilanzmodell NRW“ (LANUV, 2020; LANUV-Fachbericht 106) berechnet. Inzwischen wurde das Modell überarbeitet und verbessert, die Ergebnisse wurden aber noch nicht geprüft und freigegeben, so dass hier die ursprüngliche Version verwendet wurde.

Das Wiehengebirge stellt eine Wasserscheide dar. Nördlich ist die Fließrichtung im Westfälischen Tiefland vom Wiehengebirge großräumig von Süd nach Nord ausgerichtet, kleinräumig ist die Grundwasseroberfläche auf die größeren Oberflächengewässer (Weser, Große Aue, Kleine Aue, Großer Diekfluss, Ösper und Wieckriede) ausgerichtet. Südlich im Weserbergland liegt keine vorherrschende Fließrichtung vor, da die Grundwasseroberfläche jeweils von den Höhen aus in Richtung der großen Oberflächengewässer (Weser, Werre und Else) ausgerichtet ist. Somit fließt das Grundwasser vom Wiehengebirge aus nach Süden, von den Höhenrücken bei Kalletal Richtung Norden und Westen und von den Höhenrücken zwischen Vlotho und Herford nach Südosten, Norden und Westen.

3.7 Grundwasserhaushalt

Der Wasserhaushalt des Grundwassers wird durch Neubildung und Grundwasserentnahmen bestimmt. Die Grundwasserneubildung wird ermittelt aus dem Niederschlag, der Verdunstung sowie den Direktabflusskomponenten (siehe Abb. 3.1). Die Grundwasserentnahmen erfolgen unter anderem für die öffentliche Wasserversorgung, die Feldberegnung und die Industrie. Für die Bewirtschaftung des Grundwasserkörpers müssen die Neubildung des Grundwassers sowie die Teile des Direkt- und Drainageabflusses quantifiziert werden. Letzterer wird berechnet, wenn auf grundwassernahen Standorten Drainagen eine zusätzliche Entwässerung und Absenkung der natürlichen Grundwasserstände bewirken. Im Rahmen der Pilotstudie wurden Ergebnisse des Modells mGROWA (siehe Kap. 6) für die Beurteilung von Grundwasserneubildung und Direktabflüssen verwendet.

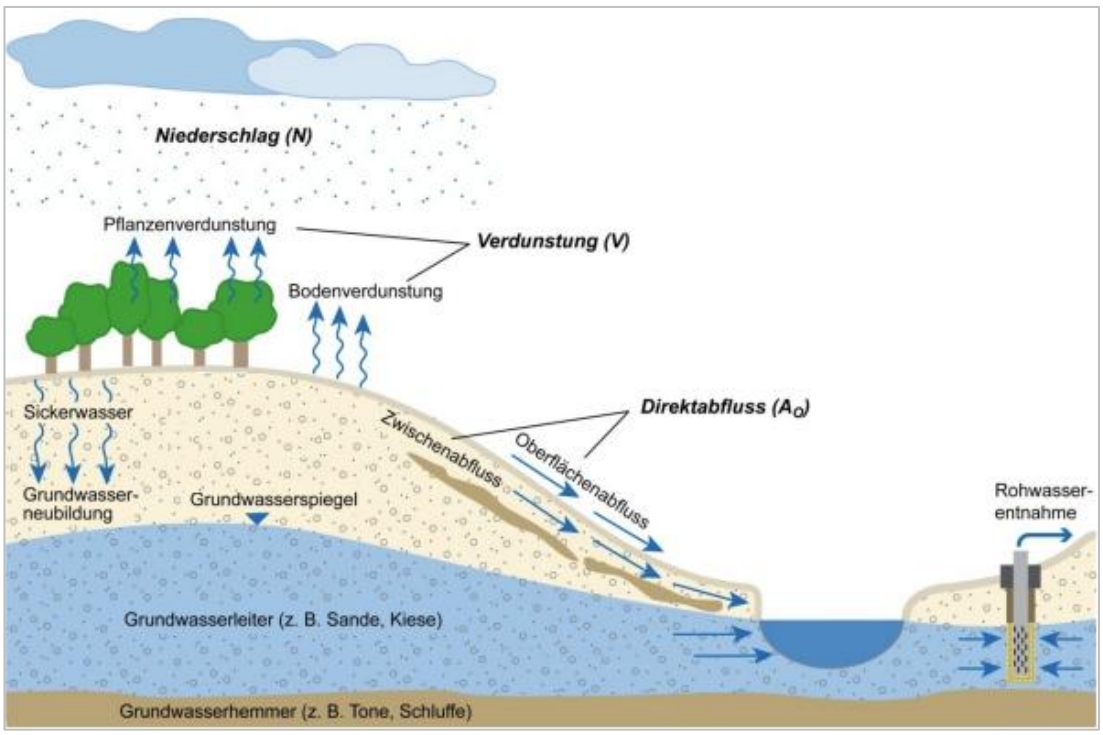


Abb. 3.1: Darstellung der Grundwasserhaushaltskomponenten (verändert nach BLOMENHOFER et al, 2012)

3.7.1 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist ein Teil des Wasserkreislaufs, bei dem infiltrierendes Sickerwasser den Grundwasserleiter speist (siehe Abb. 3.1). Diese hat einen großen Einfluss auf den mengenmäßigen Zustand des Grundwasserkörpers und somit eine entscheidende Bedeutung für den Wasserhaushalt. Die Auswertung der mittleren Grundwasserneubildung erfolgt für das Untersuchungsgebiet für den Zeitraum von 1991 bis 2020 nach Grundwasserkörper und Bilanzräumen. Die Grundwasserneubildung im Projektgebiet ist in **Anlage 14** dargestellt.

Im Untersuchungsgebiet gibt es 17 Grundwasserkörper mit Flächengrößen zwischen 26 und 1.340 km². Für die kompletten Grundwasserkörper inkl. der Flächen, die auf niedersächsischem Gebiet liegen, bewegen sich die mittleren Grundwasserneubildungsraten zwischen 27 und 168 mm/a mit Spannweiten von rd. 445 bis 832 mm/a. Daraus ergibt sich ein flächengewichtetes Mittel von 95,3 mm/a. Die Grundwasserneubildungsraten der Flächenanteile innerhalb des Untersuchungsgebiets sind insgesamt etwas kleiner mit einem flächengewichteten Mittel von 75,4 mm/a und mittleren Grundwasserneubildungsraten je Grundwasserkörper von 5,2 mm/a (*Große Aue Lockergestein links*) bis 200,6 mm/a (*Talaue der Weser südl. Wiehengebirge*). Die Grundwasserneubildung in den gesamten Grundwasserkörpern und in den Anteilen innerhalb des Untersuchungsgebiets sind in **Anhang 2** tabelliert.

Die Grundwasserneubildungsraten der Flächen mit grundwasserabhängigen Landökosystemen (siehe **Anhang 2)** sind deutlich geringer, da diese oft zumindest in Teilbereichen eine Grundwasserzehrung aufweisen. Da die Rasterzellengröße der Basisdatenauflösung 100 m beträgt, wird ein 50 m breiter Saum, also eine halbe Rasterzellengröße, um die teilweise sehr kleinteiligen Flächen der grundwasserabhängigen Landökosysteme gelegt. Dadurch soll sichergestellt werden, dass keine grundwasserabhängigen Landökosysteme unberücksichtigt bleiben. Gleichzeitig wird der Schutzstatus der grundwasserabhängigen Landökosysteme erhöht (siehe Kap. 7.30). Die flächengewichtete mittlere Grundwasserneubildung liegt damit in den grundwasserabhängigen Landökosystemen bei 21,7 mm/a. Die grundwasserabhängigen Landökosysteme der Grundwasserkörper *Große Aue Lockergestein links und rechts*, *Große Aue Lockergestein im Süden, Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen* und *Petershäger Kreide* weisen negative Grundwasserneubildungsraten, also Zehrungen in Höhe von -5,4 bis -69,5 mm/a auf. Die übrigen grundwasserabhängigen Landökosysteme je Grundwasserkörper weisen mittlere Grundwasserneubildungsmengen von +1,6 bis +136,2 mm/a auf.

Hohe Grundwasserneubildungsraten sind entlang der natürlichen Fließgewässer vorzufinden. Infolgedessen treten die höchsten Grundwasserneubildungsraten in den Grundwasserkörpern *Talaue der Weser südl. Wiehengebirge* (168,0 mm/a) und *Werre-Bega-Else-Talung* (161,3 mm/a) auf.

3.7.2 Urbaner Direktabfluss

Der mittlere urbane Direktabfluss beschreibt die Menge an Niederschlagswasser, die in bebauten Gebieten von versiegelten Flächen in die Gewässer abgeführt wird. Im Untersuchungsgebiet beträgt dieser im Zeitraum von 1991 bis 2020 als flächengewichteter Mittelwert 140,3 mm/a. Direktabfluss findet hauptsächlich über versiegelte Flächen statt. Dementsprechend tritt dieser vor allem in den großen Städten Minden, Bad Oeynhausen und Lübbecke auf (siehe **Anlage 15**). Der gemittelte Direktabfluss auf den urbanen Flächen der einzelnen Grundwasserkörper liegt zwischen 58,7 mm/a und 231,9 mm/a. Insgesamt wird im Untersuchungsgebiet eine Summe von 57.435.843 m³/a als urbaner Direktabfluss abgeleitet.

3.7.3 Drainageabfluss

Die Analyse der mGROWA Modellierungsergebnisse ergibt, dass in jedem Grundwasserkörper Drainageabfluss vorhanden ist, mit der einzigen Ausnahme des Grundwasserkörpers *Oberweser-Hameln*. Die mittleren Drainagemengen der jeweiligen Grundwasserkörper liegen zwischen 0 und 76,4 mm/a. Für das gesamte Untersuchungsgebiet ergibt sich eine mittlere Drainagemenge von 31,8 mm/a. Große Bereiche mit hohen Drainagemengen sind hauptsächlich in den Grundwasserkörpern *Hunte rechts Lockergestein*, *Große Aue Lockergestein im Süden 1*, *Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 1*, *Große Aue Lockergestein links* und *Große Aue Lockergestein rechts* vorzufinden (siehe **Anlage 16**). Drainageabfluss liegt insbesondere auf Ackerflächen und in grundwasserabhängigen Ökosystemen vor, wie z. B. im Bereich der Bastauwiesen und des Großen Torfmoores. Darüber hinaus ist festzustellen, dass in den bewaldeten Arealen nahezu kein Drainageabfluss entsteht.

3.8 Grundwasserentnahmen

Im Untersuchungsgebiet wurden Wasserrechte über insgesamt rd. 58,9 Mio. m³/a von den Unteren Wasserbehörden der Kreise Minden-Lübbecke, Herford und Lippe sowie den Bezirksregierungen Detmold und Arnsberg vergeben. In Tab. 3.3 sind die Summen der vergebenen Wasserrechte und tatsächlichen Grundwasserentnahmen je Grundwasserkörper im Einzelnen aufgeführt. In **Anlage 17** ist die Lage der Förderbrunnen, klassifiziert nach genehmigender Behörde und Grundwasserleiter dargestellt.

Die Wasserrechte sind sehr unregelmäßig über die Grundwasserkörper verteilt und variieren von rd. 77.000 m³/a (*Werre-Bega-Else-Talung, WBE*) bis rd. 10,7 Mio. m³/a (*Mittlere Triasgebiete 1, MTG1*). Im Mittel dürfen je Grundwasserkörper rd. 4,2 Mio. m³/a entnommen werden. Mit einem Anteil von 79 % wurde überwiegend eine Grundwasserentnahme aus dem ersten Grundwasserleiter genehmigt. 21 % der Wassermengen dürfen aus dem zweiten Grundwasserleiter entnommen werden, wobei der überwiegende Anteil (97 %) davon in den Grundwasserkörpern *Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge* (*KSW*) und *Talaue der Weser südl. Wiehengebirge* (*TWW*) lokalisiert ist.

Die tatsächlichen mittleren Grundwasserentnahmen der letzten 5 Jahre (2019-2024) liegen deutlich niedriger und betragen rd. 38,0 Mio. m³/a, also etwa 64 % der genehmigten Mengen. Diese variieren von rd. 13.000 m³/a (*WBE*) bis rd. 7,3 Mio. m³/a (*WLL*). Davon werden rd. 87 % aus dem ersten Grundwasserleiter entnommen. Die Grundwasserentnahmen liegen dabei zwischen rd. 11.000 m³/a (*WBE*) und rd. 7,2 Mio. m³/a (*WLL*). 13 % der Grundwasserentnahmemengen stammen aus dem zweiten Grundwasserleiter, wobei hier mit rd. 4,4 Mio. m³/a am meisten (93 %) im Grundwasserkörper *Talaue der Weser südl. Wiehengebirge* (*TWW*) entnommen wird. Für den Zeitraum von 2019-2024 liegt somit tendenziell eine Überbevorratung von ca. 35% vor.

Grundwasserkörper	**Wasserrecht GWL1 [m³/a]**	**Wasserrecht GWL2 [m³/a]**	**Wasserrecht gesamt [m³/a]**	**Tats. GW-Entnahme GWL1 [m³/a]**	**Tats. GW-Entnahme GWL2 [m³/a]**	**Tats. GW-Entnahme gesamt [m³/a]**
GALL	335.441	34.640	370.081	114.589	2.049	116.638
GALR	1.792.070	0	1.792.070	1.275.099	0	1.275.099
GALS	7.239.135	0	7.239.135	6.122.788	0	6.122.788
HRL	1.553.204	5.013	1.558.217	1.310.807	0	1.310.807
KSP	1.074.240	3.240	1.077.480	915.632	0	915.632
KSW	25.016	5.645.040	5.670.056	14.781	77.034	91.815
MTG1	10.592.600	114.530	10.707.130	6.612.921	94.974	6.707.895
NHM	2.469.237	0	2.469.237	1.790.913	0	1.790.913
NTG1	2.519.814	0	2.519.814	1.731.055	0	1.731.055
TWW	2.018.165	6.100.000	8.118.165	1.354.591	4.411.561	5.766.152
WBE	73.975	3.280	77.255	10.646	2.543	13.189
WG	832.518	110.000	942.518	302.003	117.699	419.702
WLL	9.865.300	118.407	9.983.707	7.209.544	63.289	7.272.833
WLR	6.368.181	0	6.368.181	4.407.599	0	4.407.599
Summe	46.758.896	12.134.150	58.893.046	33.172.967	4.769.149	37.942.116
Anteil	79%	21%		87%	13%	

Tab. 3.3: Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen im Untersuchungsgebiet je Grundwasserkörper

4 Analyse vorhandener Konzepte zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots

Zunächst wurden die Methoden bzw. Verfahrensweisen zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes anderer Bundesländer analysiert, um einen aktuellen Überblick über bestehenden Methoden zu gewinnen und daraus geeignete Ansätze für NRW abzuleiten. Dafür wurde eine Online-Literaturrecherche durchgeführt, um die in den einzelnen Bundesländern erarbeiteten und angewandten Vorgehensweisen zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes in den Grundwasserkörpern zu identifizieren. In einigen Fällen war die Online-Recherche bereits ausreichend und lieferte hinreichende Beschreibungen der in den Ländern angewandten Konzepte. In anderen Fällen war diese Form der Recherche nicht zielführend, so dass über telefonische Nachfragen bei den zuständigen Behörden der Länder (i.d.R. Umweltministerium und Staatlicher Geologischer Dienst) weiterrecherchiert wurde.

Für die nachfolgend aufgelisteten Bundesländer liegt ebenso wie in Nordrhein-Westfalen bisher kein Konzept zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve vor: Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Bremen, Hamburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Schleswig-Holstein. In den übrigen sechs Ländern sind die angewandten Konzepte zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots im nachfolgenden Kapitel dargelegt.

Die Kapitel für die sechs Bundesländer mit Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots sind in der Regel untergliedert in die jeweiligen landespezifischen Besonderheiten gefolgt von der textlichen Beschreibung sowie grafischen Darstellung der Verfahrensweise zur Ermittlung des Grundwasserdargebots und falls vorhanden Angaben zum Umgang mit künftigen klimatischen Änderungen.

4.1 Brandenburg

Landesspezifische Situation

In den Jahren 2020 und 2021 wurde unter Beauftragung des Landesamtes für Umwelt Brandenburg ein aktueller Gesamtüberblick zum vorhandenen nutzbaren Grundwasserdargebot erarbeitet (HGN 2021). Hierbei wurden umfangreiche Recherchearbeiten zu bestehenden Grundwasservorratsprognosen (GWVP) für Ostbrandenburg (HYDROGEOLOGIE BERLIN-BRANDENBURG GmbH, 1993), Potsdam (VEB HYDROGEOLOGIE NORDHAUSEN 1989) und den Südteil Brandenburgs (HYDROGEOLOGIE BERLIN-BRANDENBURG GMBH, 1994) vorgenommen, sodass konkrete Vorratsangaben zum erschließbaren Grundwasser in Kubikmetern pro Tag vorlagen.

Die Grundlage zur Ermittlung der Grundwasserdargebotsreserve bildet die in den ostdeutschen Bundesländern in den 1980er-Jahren entwickelte und „angewandte Methodik der Grundwasservorratsprognose zur einheitlichen Bilanzierung von Grund- und Oberflächenwasser durch Verknüpfung natürlicher, hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Bilanzglieder des Wasserkreislaufs“ nach WEDER & MEINERT (1988). Hierbei wird von einer naturgegebenen Einheit von Grund- und Oberflächenwasserressourcen ausgegangen. Jeder Grundwasserdargebotsnachweis soll auf lokal kontrollfähige Wasserbilanzen zurückgeführt werden können. Dazu kann eine Kontrolle anhand der mittleren gemessenen Abflüsse an einem Kontrollpegel am Bilanzgebietsauslass erfolgen und so den Gesamtabfluss und vorhandene Nutzungen umfassen. Dabei wird das jeweils betrachtete Gebiet durch das oberirdische Einzugsgebiet begrenzt und hydrologisch durch Informationen aus dem gemessenen langjährigen mittleren Abfluss geprägt. Zur Plausibilisierung und Qualitätsprüfung der getätigten Berechnungen wird ein Gütekriterium eingeführt. Dieses ergibt sich aus dem Quotienten aus dem berechneten theoretischen Oberflächenabfluss und dem gemessenen mittleren Abfluss. Als zulässiger Toleranzbereich gilt ein Fehler von 25 % zwischen berechnetem und gemessenem Abfluss. Eine ausreichende Prognosesicherheit der Grundwasserbilanzierungen ist also bei einem Gütekriterium zwischen 125 % und 75 % gegeben.

Anschließend wurde eine einzugsgebietsbezogene Bilanzierung durchgeführt. Diese fußt auch auf Daten zum Oberflächenabfluss, einem Hydroisohypsenplan aus dem Jahr 2015 (UMWELTPLAN et al 2019) sowie dem ökologischen Mindestabfluss.

Zudem wurde eine Konzeption für ein WEB-GIS-Werkzeug entwickelt. Dieses soll den Unteren Wasserbehörden sowie der Oberen Wasserbehörde ein Hilfsmittel an die Hand geben, welches überblicksmäßig eine Bilanzierung für einen betrachteten Raum ermöglicht (i.d.R. ein unterirdisches Einzugsgebiet) (LFU, 2022).

Vorgehensweise

Die konkrete Vorgehensweise zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Brandenburg wird nachfolgend beschrieben. In der Abb. 4.1 ist sie zudem in einem Fließschema dargestellt.

Zunächst werden die Gesamtwasserbilanzen der oberirdisch ausgegrenzten Einzugsgebiete auf Basis des mittleren Abflusses am Abflusspegel unter Berücksichtigung des für die Pegel ermittelten ökohydrologisch begründeten Mindestabflusses berechnet. Der Ansatz des ökologischen Mindestabflusses betrachtet die aus ökologischer Sicht benötigten Mindestwassermengen, um die Zielsetzung eines guten ökologischen Zustands beziehungsweise Potenzials für die berichtspflichtigen natürlichen oder erheblich veränderten Fließgewässer entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Zudem gehen perspektivische Nutzungsverluste in die Gesamtwasserbilanz mit ein wie zum Beispiel durch Kraftwerke oder durch die Getränkeindustrie (LFU, 2022).

Im nächsten Schritt werden die Grundwasserbilanzen als Bestandteil der Gesamtwasserbilanzen unter Einbeziehung des Gesamtwasserabflusses nach dem Wasserhaushaltsmodell BAGLUVA sowie den Zu- und den Abflüssen ermittelt. Zur Datenerhebung wurden vorliegende Daten zur Grundwasserneubildung aus dem Modell BAGLUVA (LFU 2019) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Wasserhaushaltsverfahren nach BAGROV und GLUGLA zur Bestimmung vieljähriger Mittelwerte von tatsächlicher Verdunstungs- und Abflusshöhe (BFG, 2003). Ergebnis dieses Schrittes ist das **natürliche Grundwasserdargebot**.

Anschließend werden die so berechneten Abflüsse mit den an den Bilanzpegeln gemessenen Abflüssen ins Verhältnis gesetzt, d. h., das oben beschriebene 25 %-Gütekriterium kommt zum Einsatz, um das jeweilige Bilanzgebiet hinreichend fachlich zu bewerten. Die Ausgrenzung der Bilanzgebiete wurde durch das 25 %-Gütekriterium überprüft. Die Mehrzahl der Bilanzgebiete erfüllt dieses. Für die übrigen werden die Ursachen hoher Bilanzfehler beispielsweise in Unklarheiten bei Überleitungen, im Bergbau und noch nicht vollständig erfassten Wasserrechten vermutet. Aufgrund fehlender Bilanzpegel konnte in einigen Bilanzgebieten kein Gütekriterium ausgewiesen werden. Hier wird geprüft, ob entsprechende Pegel eingerichtet werden können.

Von dem **natürlichen Grundwasserdargebot** werden nachfolgend die genehmigten Grundwasserentnahmemengen zu einem bestimmten Zeitpunkt x (hier: Projektzeitraum 2017) abgezogen.

Schließlich wird das **verfügbare Grundwasserdargebot** ermittelt, in dem Bereiche mit Grundwasseranreicherung, Uferfiltrat und das **nicht nutzbare Grundwasserdargebot** berücksichtigt werden. Zu letzterem zählen versalzene quartäre Grundwasserleiter (>1.000 mg/l NaCl oberhalb von 0 m NHN), bekannte Fehlstellen (Flächen ohne Grundwasserleiter) sowie grundwasserabhängige Landökosysteme mit einem Flurabstand von weniger als 2 m. Das verfügbare Grundwasserdargebot entspricht somit dem **nutzbaren Grundwasserdargebot**. Das bedeutet, dass zum Beispiel in Bereichen mit einem hohen Anteil an nicht nutzbarem Grundwasserdargebot aufgrund von salinaren Einflüssen das verfügbare Grundwasserdargebot deutlich kleiner als das natürliche Grundwasserdargebot sein kann (LFU, 2022).



Abb. 4.1: Fließschema der Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Brandenburg

In einem weiteren nachgelagerten, nicht in der Abb. 4.1 berücksichtigten, Schritt wird schließlich der Auslastungsgrad prozentual auf das genutzte Grundwasserdargebot des jeweiligen Bilanzgebietes berechnet. Das Ergebnis ist zum einen der Anteil des nicht nutzbaren Grundwasserdargebotes am verfügbaren Grundwasserdargebot und zum anderen der Anteil des genutzten Grundwasserdargebots am verfügbaren Grundwasserdargebot. Die Ergebnisse der Berechnungen werden zur Übersicht für jedes Bilanzgebiet in Steckbriefen zusammengefasst (LFU, 2022).

Berücksichtigung klimatischer Änderungen

Zur Berücksichtigung der sich ändernden klimatischen Bedingungen auf das Wasserdargebot wurde zusätzlich eine Grundwasserbilanzierung für das Klimaszenario 2031 bis 2060 durchgeführt. Hierzu wurden die Wasserhaushaltsgrößen zum Gesamtabfluss mittels BAGLUVA neu berechnet unter Ansatz des Emissionsszenarios RCP8.5 nach SCHWALM et al (2020) mit den darin enthaltenen Niederschlagsdaten und der potenziellen Verdunstung für das Klimaszenario. Es wurde das 15. Perzentil für den Niederschlag und das 85. Perzentil für die Grasreferenzverdunstung angesetzt, da dies dem Vorsorgeprinzip gemäß Klimawirkungs- und Risikoanalyse entspricht (LFU, 2022).

Die Schritte der Berechnungen für die Gesamtwasserbilanz, das natürliche und das verfügbare Grundwasserdargebot für das Klimaszenario entsprechen dabei der oben beschriebenen Vorgehensweise. Zusätzlich wurde für jedes Bilanzgebiet ein Klimafaktor abgeleitet. Dieser ergibt sich aus dem Quotienten des Gesamtabflusses für den Zeitraum 2031 bis 2060 und dem Gesamtabfluss für den Zeitraum 1986 bis 2015 und spiegelt so die Reduzierung des Gesamtabflusses wider. Die Spannbreite dieses Klimafaktors für die Bilanzgebiete liegt zwischen 0,4 und 2,1. Dies bedeutet, dass sich voraussichtlich der Gesamtabfluss hauptsächlich reduziert und damit weniger Grundwasserdargebot zur Verfügung steht. Die Ergebnisse des gerechneten Klimaszenarios zeigen zudem, dass der Anteil des Auslastungsgrades vom natürlichen Grundwasserdargebot steigen wird. Weitere Auswertungen und Betrachtungen zu den Klimaszenarien sollen künftig noch durchgeführt werden (LFU, 2022).

4.2 Mecklenburg-Vorpommern

Landesspezifische Situation

In Mecklenburg-Vorpommern wurde im Rahmen eines Pilotprojektes anhand des Pilotgebietes Insel Usedom eine Methodik entwickelt, mit der die verfügbaren Grundwasserressourcen ermittelt und bewertet werden können (UMWELTPLAN GMBH, 2011). Im Anschluss daran wurde eine landesweite Bearbeitung vorgenommen. Die Ergebnisse sollen als Planungsinstrument für die Behörden genutzt werden, um den Schutz der Grundwasserressourcen bei wasserwirtschaftlichen und regionalplanerischen Entscheidungen zu berücksichtigen.

Dabei konnte auf umfassende Erkundungsberichte auch aus Zeiten der DDR zurückgegriffen werden, in denen erneuerbare Grundwasservorräte bereits systematisch erkundet und klassifiziert worden waren.

Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Mecklenburg-Vorpommern wird nachfolgend beschrieben. In der Abb. 4.2 ist sie zudem in einem Fließschema dargestellt.

Erfassung der derzeit genutzten Grundwasserressourcen

In einem ersten Schritt wurden die derzeit genutzten Grundwasserressourcen ermittelt. Dazu wurden Daten bei den Unteren Wasserbehörden und Wasserversorgern erhoben. Hierbei wurde eine Erhebungsgrenze in Höhe von 10.000 m³/a festgesetzt, damit eine aufwendigere Erhebung aller Kleinstentnahmen vermieden werden kann und dennoch alle bilanzrelevanten Grundwasserentnahmen erfasst werden.

Für viele Wasserfassungen sind aktuelle hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt worden auch in Hinblick auf Informationen zum Grundwasserdargebot. Diese Ergebnisse liegen den wasserwirtschaftlichen Behörden nicht unbedingt vor, so dass zusätzlich eine Unterlagenrecherche bei den öffentlichen Wasserversorgern durchgeführt wurde. Ermittelt wurden dabei Angaben zum genutzten Grundwasserstockwerk, zu aktuellen Grundwasserdargebotsuntersuchungen, den hydrochemischen Verhältnissen und zugehörigen unterirdischen Einzugsgebieten.

Abgleich der recherchierten Grundwasserdargebote mit den Ergebnissen der Neubildungsberechnungen

Nachfolgend wurde das in den recherchierten Unterlagen ausgewiesene Grundwasserdargebot je Wasserfassung bewertet und mit den Ergebnissen der aktuellen landesweiten Grundwasserneubildungsberechnung nach dem Verfahren BAGLUVA durch FUGRO-HGN (2009) verglichen. Dazu musste die jeweilige Berechnungsmethode zur Ermittlung des Grundwasserdargebotes erfasst werden. In Mecklenburg-Vorpommern kamen im Laufe der Zeit verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Grundwasserneubildung zum Einsatz (Verfahren nach Schlinker (JORDAN & WEDER, 1995), BAGROV-GLUGLA-Verfahren (ATV-DVWK-M_504), BAGLUVA + HENNING & HILGERT, 2007).

Die unterirdischen Einzugsgebiete können mit drei verschiedenen Verfahren ermittelt worden sein: Ortsdiskretes Grundwasserströmungsmodell, analytische Grundwasserströmungsberechnung oder näherungsweise Abgrenzung der Einzugsgebiete.

Weiterhin wurden die hydrochemischen Verhältnisse ausgewertet und Grenzwerte für Nitrat, Sulfat und Chlorid festgelegt zur Unterscheidung des natürlichen Hintergrunds und der anthropogenen Überprägung und zusätzlich Trendentwicklungen berücksichtigt. Im Ergebnis steht eine kurze verbale Einschätzung. Dies ist erforderlich, da die ermittelten Grundwasserdargebote im letzten Schritt sowohl hinsichtlich der geohydraulischen als auch der hydrochemischen Gesichtspunkte klassifiziert werden.

Im nächsten Schritt (siehe Abb. 4.2) steht die Anpassung der Einzugsgebiete an den im Jahr 2010 landesweit überarbeiteten Grundwassergleichenplan (HYDOR 2010). Die ausgewiesenen Einzugsgebiete der Wasserfassungen passen mitunter nicht zu den Grundwassergleichen, so dass lokale Anpassungen der Einzugsgebiete an den aktuellen Grundwassergleichenplan des Landes vorgenommen werden mussten, wenn es fachlich erforderlich war.

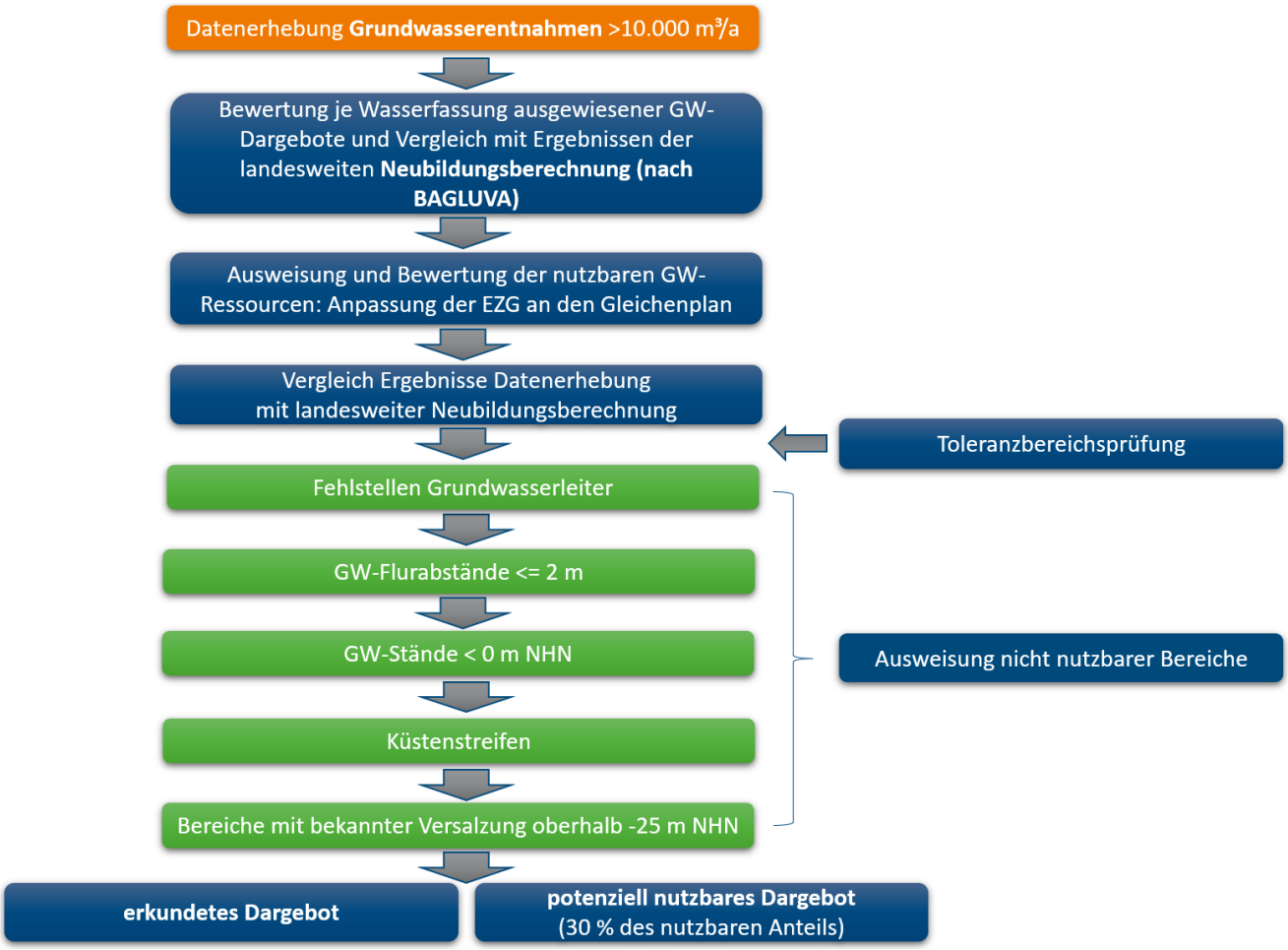


Abb. 4.2: Fließschema der Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Mecklenburg-Vorpommern

Fachliche Bewertung des für die Wasserfassungen ausgewiesenen Grundwasserdargebotes

Im Anschluss an die Anpassung der Einzugsgebiete an den Grundwassergleichenplan steht der Vergleich der Ergebnisse der Datenerhebung mit der landesweiten Neubildungsberechnung. Der Ermittlung des Grundwasserdargebotes der Wasserfassungen und der zugehörigen unterirdischen Einzugsgebiete können unterschiedliche Berechnungsansätze zugrunde liegen (siehe oben). Daher müssen die Ergebnisse der Datenerhebung mit der landesweiten Berechnung nach dem Ansatz BAGLUVA und HENNING & HILGERT (2007) verglichen und bewertet werden. Hierbei wird das jeweilige Grundwasserdargebot (GWDar) für alle Einzugsgebiete der Wasserfassungen entsprechend der landesweiten Grundwasserneubildungsberechnung ermittelt und zu der ausgewiesenen mittleren Grundwasserentnahme (Q_{365}) ins Verhältnis gesetzt ($GWDar/Q_{365}$), wobei ein Toleranzbereich als Unterschreitung (10 %) und Überschreitung (50 %) festgesetzt wird. Außerhalb des Toleranzbereichs ist eine Prüfung der Ursache der Abweichungen erforderlich.

Als Prüfergebnisse sind die folgenden Optionen denkbar:

+ Die Abweichung ist fachlich begründbar

  → die Grundwasserentnahme und die Einzugsgebietsgröße werden bestätigt

+ Das Grundwasserdargebot wurde in den bisherigen Unterlagen überschätzt

  → wenn geohydraulisch möglich Vergrößerung des Einzugsgebietes, so dass GWDar/Q_{365} 100 %, sonst

  → Reduzierung der ausgewiesenen Grundwasserentnahme

+ Das Grundwasserdargebot wurde in den bisherigen Unterlagen unterschätzt

  → Verkleinerung des Einzugsgebietes, so dass GWDar/Q_{365} < 150 %

Ermittlung der Einzugsgebiete für Wasserentnahmen ohne ausgewiesenes Einzugsgebiet

Für kleinere Grundwasserentnahmen (Wasserfassungen mit geringen Grundwasserentnahmeraten, sprich Einzelbrunnen zur Wasserversorgung von Zeltplätzen oder landwirtschaftlichen Hofbetrieben) liegen teils keine hydrogeologischen Untersuchungen zum Grundwasserdargebot und zum unterirdischen Einzugsgebiet vor, so dass hier näherungsweise unterirdischen Einzugsgebiete z. B. nach HÖLTING & COLDEWEY (2005) ausgewiesen werden müssen. Dies erfolgte anhand der erforderlichen Neubildungsfläche unter Beachtung der geohydraulischen Randbedingungen (natürliche Grundwasserströmung, erforderliche Anstrombreite, untere Kulmination). Dies ist notwendig, damit diese Grundwasserentnahmen (sofern sie 10.000 m³/a überschreiten, siehe oben) bei der Ressourcenermittlung berücksichtigt werden können.

Ausweisung nicht nutzbarer Bereiche

Im nächsten Schritt werden die Bereiche bestimmt, für die kein nutzbares Grundwasserdargebot zu erwarten ist. Dazu gehören: Fehlstellen des Grundwasserleiters, Grundwasserflurabstände <= 2 m, Grundwasserstände < 0 m NHN, Küstenstreifen und Bereiche mit bekannter Grundwasserversalzung oberhalb -25 m NHN.

Bei flurnahen Grundwasserständen ist kein Eigendargebot der Fläche zu erwarten. Die Verdunstung ist hier höher, da sie auch bei mangelndem Niederschlag durch kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser stattfindet. Oft findet eine Grundwasserzehrung statt. Bereiche mit geringen Flurabständen treten vor allem in den Niederungen im Randbereich von Vorflutern auf, sodass selbst bei einer positiven Neubildung das Grundwasser nach nur kurzem Fließweg in die Vorflut fließt und keine nutzbare Grundwasserressource bildet.

Bei Flächen mit Grundwasserständen unterhalb von 0 m NHN ist mit einer Intrusion von Brackwasser zu rechnen, so dass diese Bereiche für eine Wassergewinnung nicht nutzbar sind.

Um eine Brackwasserintrusion in der Nähe der Küsten zu vermeiden, darf das Grundwasser nicht unter Meeresniveau abgesenkt werden. Es wird eine Mindestbreite von 300 m zu Küsten, im Fall einer Steilküste von 100 m festgesetzt, in der eine ungenutzte Grundwasserdargebotsfläche erhalten bleiben muss.

Untergliederung der potenziell nutzbaren Bereiche

Die verbleibenden, bisher ungenutzten Bereiche werden unter geohydraulischen und hydrochemischen Gesichtspunkten weiter unterteilt, so dass die entstehenden Flächengrößen kleiner als 50 km² groß sind, und zusammenhängende Einheiten mit ähnlichen hydrogeologischen und hydrochemischen Eigenschaften entstehen. Dabei werden vorhandene Erkundungsgebiete berücksichtigt.

Berechnung und Klassifizierung des nutzbaren Grundwasserdargebotes

Für die ermittelten Flächen mit potenziellem Grundwasserdargebot (d.h. alle Flächen abzüglich der ausgewiesenen nicht nutzbaren Bereiche), sogenannte Ressourcenflächen, wird das Grundwasserdargebot als Summe der Grundwasserneubildung berechnet. Gebiete, die kleiner als 1 km² sind oder deren Grundwasserdargebot 300 m³/d unterschreitet, werden nicht ausgewiesen.

Bei der Klassifizierung der derzeit ungenutzten Grundwasserressourcen werden zwei Hauptklassen unterschieden: das erkundete und das potenziell nutzbare Grundwasserdargebot. Um ein **erkundetes Grundwasserdargebot** auszuweisen, müssen sowohl aktuelle Erkundungsergebnisse vorliegen oder in der Vergangenheit entsprechend eingestuft worden sein als auch Brunnen existieren, denen ein Einzugsgebiet zugeordnet werden kann. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, so wird ein **potenziell nutzbares Grundwasserdargebot** ausgewiesen. Dieses bezieht sich auf einen natürlichen Grundwasserabschnitt und nicht auf ein Brunneneinzugsgebiet. Da es nicht möglich ist, das Grundwasserdargebot natürlicher Grundwasserabschnitte vollständig auszunutzen (notwendiger Abfluss in die Vorflut oder Vermeidung der Aktivierung von Salinarwässern) wird der nutzbare Anteil des Grundwasserdargebotes auf 30 % festgelegt. Dies entspricht auch der in der EU-WRRL festgelegten Grenze, ab der ein Grundwasserkörper als beeinträchtigt gilt (UMWELTPLAN GMBH, 2011).

Die beiden Hauptklassen, erkundetes Grundwasserdargebot und potenziell nutzbares Grundwasserdargebot werden anschließend unter geohydraulischen und hydrochemischen Gesichtspunkten bewertet und klassifiziert:

+ Gute Gewinnbarkeit und Qualität

  → flächenhaft verbreiteter Grundwasserleiter; keine bekannten Qualitätsprobleme

+ Hydraulische Einschränkungen

  → starke Mächtigkeitsschwankungen, hohe Gefahr von Fehlbohrungen, teilweise schluffige Ausbildung des Grundwasserleiters

+ Chemische Einschränkungen

  → Stoffbelastungen, die die Nutzung als Trinkwasser einschränken können

+ hydraulische und chemische Einschränkungen

Das potenziell nutzbare Grundwasserdargebot wurde nach dieser beschriebenen Methodik für Mecklenburg-Vorpommern ermittelt und zur Planungsgrundlage in einer Karte der Grundwasserressourcen dargestellt, wobei der nutzbare Anteil auf 30 % festgelegt wurde (siehe oben). Diese Karte gibt einen Überblick über das derzeit genutzte/wasserrechtlich vergebene Grundwasserdargebot, das potenziell nutzbare Grundwasserdargebot und die Bereiche, in denen eine Grundwassernutzung nicht möglich ist. Hierbei wurde das potenziell nutzbare Grundwasserdargebot hinsichtlich seiner Gewinnbarkeit (geohydraulische Voraussetzungen) und seiner Nutzbarkeit (hydrochemische Qualität) bewertet (UMWELTPLAN GMBH, 2014).

4.3 Niedersachsen

In Niedersachsen liegt die Sondersituation vor, dass während der Projektlaufzeit ein neuer Mengenerlass in Kraft getreten ist. Im Folgenden wird zunächst der ehemalige (MU, 2018, gültig bis 30. April 2024) und anschließend der aktuelle (MU, 2024, gültig ab 1. Mai 2024) Mengenerlass beschrieben.

4.3.1 Ehemaliger Mengenerlass

Landesspezifische Situation

In Niedersachsen wurde bisher gemäß Mengenerlass (MU, 2018) das nutzbare Grundwasserdargebot zur Sicherung der Wasserversorgung in mehrjährigen Trockenwetterperioden sowie zur Sicherung und Erhaltung grundwasserabhängiger Landökosysteme und Oberflächengewässer wie nachfolgend beschrieben abgeschätzt. Das nutzbare Grundwasserdargebot wurde dabei auf Ebene der Grundwasserkörper ermittelt und anschließend flächenproportional auf die Verwaltungseinheiten der Unteren Wasserbehörden übertragen. Ab Mai 2024 wurde dieser Mengenerlass (MU, 2018) durch einen neuen (MU, 2024) abgelöst. Die in dem neuen Mengenerlass beschriebene Vorgehensweise wird im Kapitel 4.3.2 beschrieben.

Vorgehensweise

Die bisherige Vorgehensweise zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Niedersachsen wird nachfolgend beschrieben. In der Abb. 4.3 ist sie zudem in einem Fließschema dargestellt.

Die Basis zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots bildet das **Grundwasserdargebot**, d.h. die Grundwasserneubildung berechnet mit dem Modell GROWA06_v2 als 30-jähriges Mittel. Weiterhin dient das **Trockenwetterdargebot** als Ausgangsgröße zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebots. Als Trockenwetterdargebot wird das mittlere Grundwasserdargebot bezeichnet, welches aufgrund eines Klimaszenarios der fünf trockensten Jahre (20 Perzentil) des verwendeten 30-jährigen Zeitraums ebenfalls mit dem Verfahren GROWA06_V2 berechnet wurde.

Vom Trockenwetterdargebot wird bei hydraulisch ungünstigen Verhältnissen per Konvention ein Ergiebigkeitsabschlag in Höhe von 20 % des Trockenwetterdargebots abgezogen. Dies berücksichtigt die Anteile hydraulisch ungünstiger Verhältnisse im Grundwasserkörper. Zusätzlich geht noch ein Versalzungsabschlag vom Trockenwetterdargebot ab. Vollständig versalzte Bereiche erhalten per Konvention einen Abschlag in Höhe von 100 % auf das Trockenwetterdargebot und Bereiche, in denen nur der untere Teil des Grundwassers versalzt ist, erhalten einen Abschlag in Höhe von 50 %. Aus den Abschlägen Ergiebigkeit und Versalzung resultiert das **Gewinnbare Trockenwetterdargebot**. Dies entspricht der Menge Grundwasser, die zukünftig unter technischen und qualitativen Aspekten für zusätzliche Grundwasserentnahmen im Grundwasserkörper zur Verfügung steht.

Schließlich werden die bereits genehmigten Grundwasserentnahmemengen von dem gewinnbaren Trockenwetterdargebot abgezogen, (siehe Abb. 4.3) um die **gewinnbare Grundwasserdargebotsreserve** zu erhalten.

Die gewinnbare Grundwasserdargebotsreserve wird weiterhin um einen Öko-Abschlag reduziert. Dieser soll ein Indikator für die Empfindlichkeit grundwasserabhängiger Landökosysteme gegenüber zusätzlichen Grundwasserentnahmen sein. Er resultiert aus der Kombination des Anteils vom kapillaren Aufstieg des Grundwassers am Grundwasserdargebot und des Flächenanteils von grundwassernahen Böden am Grundwasserkörper.

Falls die genehmigte Grundwasserentnahmemenge bereits vorher das abgeschätzte gewinnbare Trockenwetterdargebot übersteigt, wird die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve mit 1 % des Trockenwetterdargebotes festgesetzt und der Grundwasserkörper erhält die Einstufung „Grundwasserkörper unter Beobachtung, 1 %-Regelung des Trockenwetterdargebots“. Dies dient der Sicherstellung eines Genehmigungsspielraumes für die Untere Wasserbehörde.

Aus dem Öko-Abschlag auf die gewinnbare Grundwasserdargebotsreserve folgt die **nutzbare Grundwasserdargebotsreserve**. Diese entspricht der Menge Grundwasser, die künftig zusätzlich zu den bereits genehmigten Grundwasserentnahmen für weitere Grundwasserentnahmen zur Verfügung steht, wobei sichergestellt ist, dass die Zielvorgaben des WHG (2009) und der GRWV (2010) eingehalten werden.

Das **nutzbare Grundwasserdargebot** ergibt sich schließlich aus dem Trockenwetterdargebot, welches durch den Ergiebigkeits-, Versalzungs- und Ökoabschlag reduziert wurde (LBEG, 2014).



Abb. 4.3: Fließschema zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve im Land Niedersachsen nach ehemaligem Mengenerlass

4.3.2 Aktueller Mengenerlass

Seit 1. Mai 2024 ist der neue Mengenerlass rechtskräftig (MU, 2024). Dieser sieht eine geänderte Vorgehensweise gegenüber dem ehemaligen Erlass vor, die nachfolgend näher beschrieben wird.

Vorgehensweise

Die aktuelle Vorgehensweise zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebotes im Land Niedersachsen wird nachfolgend beschrieben. In der Abb. 4.4 ist sie zudem in einem Fließschema dargestellt.

Die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve wird künftig sowohl für **mittlere** als auch für **trockene** Verhältnisse (entspricht dem 15-Perzentil des verwendeten vieljährigen Zeitabschnitts) für den **Projektionszeitraum 2031-2060** angegeben. Die Basis bildet die Grundwasserneubildungsberechnung mit dem Modell **mGROWA22** (MU, 2024). Das **Grundwasserdargebot** für mittlere oder trockene Verhältnisse ergibt sich aus der Berechnung der Grundwasserneubildung nach mGROWA22 für die nahe Zukunft nach dem Szenario RCP8.5 (siehe Kap. 6.2.1) unter Nutzung der mittleren Verhältnisse oder dem 15-Perzentil. Für die Berechnung der Grundwasserneubildung wird das Szenario RCP8.5 von 11 Klimamodellen angetrieben und aus diesen 11 Ergebnissen der Mittelwert verwendet. Dies ergibt die mittlere Grundwasserneubildung und somit das **mittlere Grundwasserdargebot**. Weiterhin wird das Trockenwetterdargebot ermittelt. Hierfür wird das 15-Perzentil der Trockenjahre aus der Zeitreihe ausgewählt. Das entspricht ca. den 5 trockensten Jahren der berechneten 30-jährigen Periode. Hierfür wird je Klimamodell der Mittelwert der trockensten ca. 5 Jahre gebildet. Die 11 Mittelwerte der 11 Klimamodelle werden wiederum gemittelt. Das Ergebnis ist das **trockene Grundwasserdargebot.**

Vom mittleren bzw. trockenen Grundwasserdargebot werden die bereits genehmigten Grundwasserentnahmen abgezogen, wodurch sich die **Grundwasserdargebotsreserve** für mittlere oder trockene Verhältnisse ergibt (siehe Abb. 4.4).

Nach einem Abzug für ungünstige Entnahmebedingungen in Höhe von 20 % und einem Versalzungsabschlag (vollständig versalzt: 90 %, unterer Teil versalzt: 50 %) ergibt sich die **gewinnbare Grundwasserdargebotsreserve** für mittlere oder trockene Verhältnisse.

Die **nutzbare Grundwasserdargebotsreserve** für mittlere oder trockene Verhältnisse wird aus dem Minimum

+ der gewinnbaren Grundwasserdargebotsreserve für mittlere oder trockene Verhältnisse,

+ der Bewirtschaftungslamelle und

+ der Beschränkung der Verminderung des Basisabflusses in Oberflächengewässern

ermittelt.

Die Bewirtschaftungslamelle sieht vor, dass die grundwasserkörperweite Grundwasserabsenkung auf 0,15 m beschränkt bleibt. Da dieser Wert in die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve eingeht, bezieht sich dieses Verfahren nur auf neue Grundwasserentnahmen und geht somit vom Istzustand aus. Die Verminderung des Basisabflusses in Oberflächengewässern soll 7,5 % nicht überschreiten. Auch dieses Verfahren geht von der Grundwasserdargebotsreserve, also dem Istzustand aus.

In einem weiteren Schritt wird die **maßgebliche nutzbare Grundwasserdargebotsreserve** für mittlere Verhältnisse berechnet. Hierzu wird zunächst für jede Zelle festgestellt, ob eine trockene und/oder mittlere nutzbare Grundwasserdargebotsreserve existiert und diese Daten auf Grundwasserkörperebene aggregiert. Auf Basis dieser Klassifizierung wird in drei Klassen eingestuft, inwieweit eine nutzbare Grundwasserdargebotsreserve im Grundwasserkörper existiert:

+ überwiegend nutzbare Grundwasserdargebotsreserve für mittlere Verhältnisse vorhanden,

+ überwiegend keine nutzbare Grundwasserdargebotsreserve für mittlere Verhältnisse vorhanden,

+ nutzbare Grundwasserdargebotsreserve für mittlere Verhältnisse fast vollständig ausgeschöpft.

Erhält der Grundwasserkörper die letztgenannte Klassifizierung, so wird dem Grundwasserkörper keine maßgebliche Grundwasserdargebotsreserve zugewiesen, da bereits ein sehr hoher Nutzungsdruck vorliegt.

Weiterhin wird eine Trendanalyse der modellierten Grundwasserneubildungen zwischen 1961 und 2020 berechnet. Ergibt sich hier ein signifikant fallender Trend, und ist die zukünftig prognostizierte Grundwasserneubildung größer als die aktuelle, so wird ein Abschlag auf die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve von 50 % erteilt (MU, 2024).

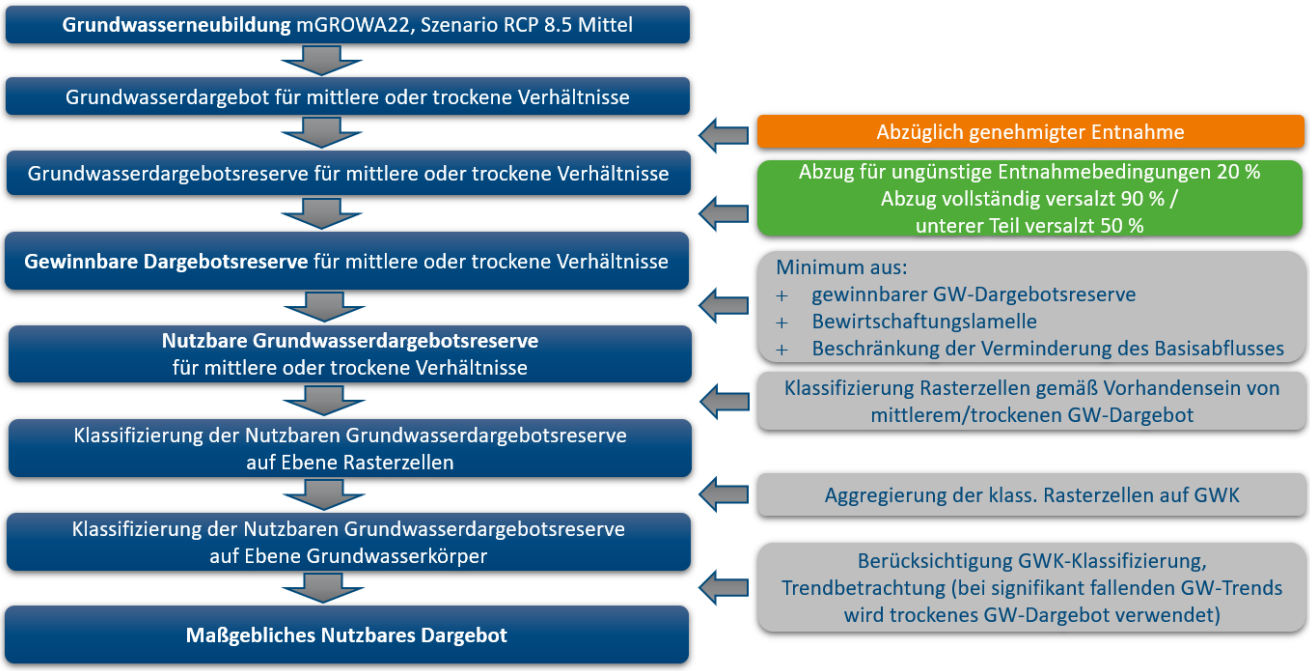


Abb. 4.4: Ablaufschema zur Ermittlung des maßgeblichen nutzbaren Grundwasserdargebots im Land Niedersachsen gemäß aktuellem Mengenerlass

4.4 Sachsen

Landesspezifische Situation

Die Grundwasserbewirtschaftung erfolgt in Sachsen anhand des am 20. Mai 2022 in Kraft getretenen Erlasses zur Grundwasserbewirtschaftung (SMEKUL, 2022).

Vorgehensweise

Im Jahr 2022 wurde das nutzbare Grundwasserdargebot für Sachsen anhand landesweit simulierter Wasserhaushaltsdaten für den Bewirtschaftungszeitraum 2021 bis 2027 nach dem nachfolgend erläuterten und in Abb. 4.5 schematisch dargestellten Verfahren auf der räumlichen Ebene der Grundwasserkörper berechnet (SMEKUL, 2022).

Vorab wurden das **potenzielle**, das **gewinnbare** und das **nutzbare Grundwasserdargebot** definiert.

Das **potenzielle Grundwasserdargebot** entspricht der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung aus Niederschlag, für die landesweite Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO vorliegen (Zeitraum 1988-2010). Für den Niederschlag und die Grundwasserneubildung wurden jeweils die jährlichen Gebietsmittelwerte je Grundwasserkörper verwendet. Laterale Zuflüsse und Infiltration aus Oberflächengewässern konnten aufgrund unzureichender Datenlage auf Grundwasserkörper-Ebene nicht berücksichtig werden.

Das **gewinnbare Grundwasserdargebot** ist der Teil, der mit technischen Mitteln gewonnen werden kann. In diesem Fall wurde es mit dem potenziellen Grundwasserdargebot gleichgesetzt, da die technische Gewinnbarkeit als anlagenbezogen und damit nicht ableitbar für einen Grundwasserkörper angesehen wird.

Das **nutzbare Grundwasserdargebot** ist der Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebotes, der unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann. Als maßgebliche Randbedingung wurden hier **prognostizierte klimatische Veränderungen** der nächsten Jahrzehnte berücksichtigt. Dabei wurde für jeden Grundwasserkörper eine lineare Niederschlags-Grundwasserneubildungs-Beziehung aus den auf Grundlage eines Klimaszenarios mit dem Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO für den Zeitraum 2021-2050 berechneten Werten abgeleitet. Die **Niederschlags-Grundwasserneubildungs-Beziehung** eines Grundwasserkörpers wurde für den Zeitraum 2021-2050 aus den im Projekt KLiWES 1.0 mit dem Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO für die Klimaprojektion WETTREG2010_A1B_66 (WETTREG 66) bzw. im Großraum Leipzig für acht Grundwasserkörper mit ArcEGMO-PCGEOFIM für die Klimaprojektion WEREXV_HC3C_L1_A1B_22 (WEREX 55) berechneten Jahreswerten (projizierter Niederschlag, projizierte Grundwasserneubildung) ermittelt.

WETTREG (Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode) ist eine statistische Regionalisierungsmethode. Die Version WETTREG2010 ist eine aktuelle Version des Globalmodells ECHAM5/MPIOM, die für Deutschland regionalisiert wurde (CEC, 2015). ArcEGMO ist ein hydrologisches Modellierungssystem zur räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Modellierung von Einzugsgebieten unterschiedlicher Größe (BÜRO FÜR ANGEWANDTE HYDROLOGIE, 2024). Das hier verwendete Emissions-Szenario A1B beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum sowie einer ausgewogenen Nutzung aller Energiequellen (IPCC, 2007).

Die Berechnungsergebnisse wurden anhand von Beobachtungswerten plausibilisiert. Die berechneten Niederschlagswerte lagen im Bereich des 0- bis 75-Perzentil der gemessenen Niederschläge. Somit findet im Interesse einer sicheren Wasserversorgung vor allem der trockene Bereich Berücksichtigung. Die berechneten Werte der potenziellen Verdunstung liegen auf dem Niveau der Jahre 2014-2021 und entsprechen damit den Werten für den gegenwärtigen Ist-Zustand.

Der Modellzeitraum von 2021 bis 2050 wurde als wasserwirtschaftlich angemessener Planungszeitraum angesehen. Es wird bei der Wasserhaushaltmodellierung von einem Szenario konstanter Landnutzung ausgegangen.

Als Bemessungsniederschlag wird das 50-Perzentil des Gebietsmittelwertes des beobachteten Niederschlages des RaKLiDa-Referenzdatensatzes für die Zeitreihe 1981-2010 verwendet, da das 50-Perzentil (Median) gegenüber einzelnen Extremjahren robuster ist als das arithmetische Mittel.

Das **nutzbare Grundwasserdargebot** entspricht derjenigen Grundwasserneubildung, die sich nach der Beziehung für einen aus Beobachtungswerten grundwasserkörperspezifisch abgeleiteten Bemessungsniederschlag ergibt (SMEKUL, 2022).

Das Ergebnis ist das nutzbare Grundwasserdargebot je Grundwasserkörper. Die **nutzbare Grundwasserdargebotsreserve** ergibt sich anschließend aus der Differenz des berechneten nutzbaren Grundwasserdargebotes und den genehmigten Grundwasserentnahmen je Grundwasserkörper.

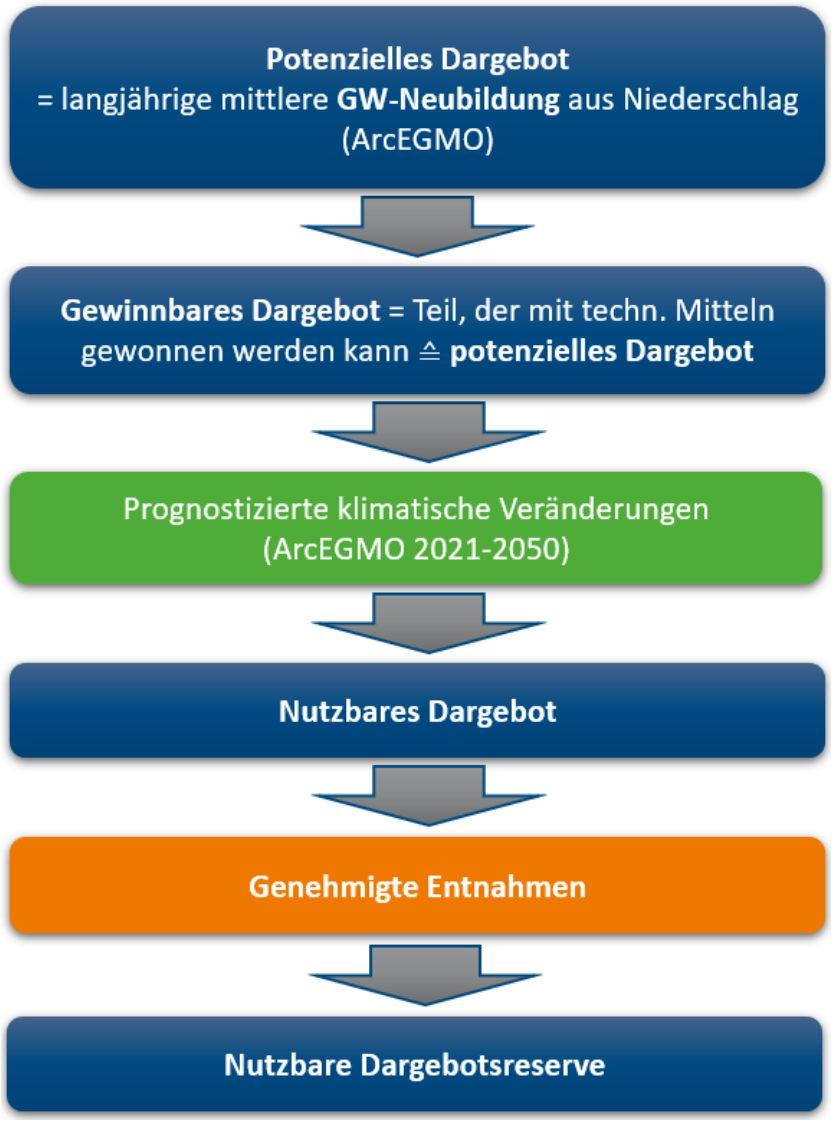


Abb. 4.5: Ablaufschema zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve im Land Sachsen

Im Nachgang an die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots wird die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve nach administrativen Grenzen aufgeteilt.

Aufteilung des nutzbaren Grundwasserdargebotes nach administrativen Grenzen

Das für einen Grundwasserkörper ermittelte nutzbare Grundwasserdargebot wurde je nach Datenlage entweder proportional der Grundwasserneubildungsanteile der Teileinzugsgebiete oder der Flächenanteile am Grundwasserkörper aufgeteilt.

Aufteilung nach Grundwasserneubildungsanteilen zugehöriger Teileinzugsgebiete

Die Grundlage bildet die mit dem Wasserhaushaltmodell ArcEGMO für den Zeitraum 1988-2010 berechnete mittlere Grundwasserneubildung (GWN88-10) für die Raumeinheit der Teileinzugsgebiete (TEZG). Die so für die TEZG modellierte mittlere Grundwasserneubildung GWN88-10 wurde für jede anteilige Fläche einer Unteren Wasserbehörde in einem Grundwasserkörper berechnet. Anschließend wurde diese zur GWN88-10 des jeweiligen gesamten Grundwasserkörpers ins Verhältnis gesetzt und ein Aufteilungsfaktor bestimmt.

Aufteilung nach Flächenanteilen

Für den Fall, dass die TEZG und Modelldaten nicht für die gesamte Fläche eines Grundwasserkörpers vorlagen, erfolgte die Aufteilung entsprechend der zum räumlichen Zuständigkeitsbereich einer Unteren Wasserbehörde zugehörigen Flächenanteile am jeweiligen Grundwasserkörper (SMEKUL, 2022).

4.5 Sachsen-Anhalt

Landesspezifische Situation

In Sachsen-Anhalt liefert das Grundwasserkataster des Landes die Grundlagen für Aussagen zum Grundwasserdargebot und zur Grundwasserbilanz. Die Erarbeitung des Katasters erfolgte gebietsbezogen in den Jahren 1998 bis 2005. In den Jahren 2014/2015 wurde eine Aktualisierung vorgenommen (WEILAND, o.D.). Das Grundwasserkataster stellt die landeseinheitliche Bewertungsgrundlage der qualitativen und quantitativen Grundwasserverhältnisse dar. Es ist nach Einzugsgebieten gegliedert und nutzt Erkenntnisse aus Erkundungsarbeiten und Informationen aus den vom Gewässerkundlichen Landesmessnetz betriebenen staatlichen Messnetzen.

Es enthält die Berechnung des Basisabflusses als nutzbaren Anteil am unterirdischen Abfluss aus dem Gesamtabfluss („Grundwasserneubildung“) sowie Bilanzgebiete mit Angaben zum Gesamtdargebot = flächengewichteter Mittelwert (Basisabfluss) und zum eingeschränkt nutzbaren Grundwasserdargebot = Gesamtdargebot reduziert um landschaftlich notwendigen Mindestabfluss.

Die Grundwasserneubildung wurde dabei im Jahr 2013 mit dem Wasserhaushaltsmodell ArcEGMO modelliert und im Jahr 2018 neu modelliert. Die Wasserhaushaltsgrößen wurden dabei in Tageszeitschritten über 30 Jahre (1981-2010) berechnet (LHW, 2022).

Vorgehensweise

Die Basis zur Ermittlung des **Grundwasserdargebots** bildet demnach die mit dem Modell ArcEGMO ermittelte Grundwasserneubildung. Das Gesamtdargebot wird als flächengewichteter Mittelwert für jedes Bilanzgebiet berechnet. Anschließend wird der landschaftlich notwendige Mindestabfluss abgezogen, um das **eingeschränkt nutzbare Grundwasserdargebot** zu erhalten. Das nutzbare Grundwasserdargebot ist notwendig zur Bestimmung der maximal zulässigen Grundwasserentnahmen, bei denen noch nachhaltige Entwicklung der Gesamtwasserbilanz bei Einhaltung ökologisch erforderlicher Abflüsse erhalten bleibt (WEILAND, o.D.). Die Vorgehensweise in Sachsen-Anhalt ist in der Abb. 4.6 dargestellt.

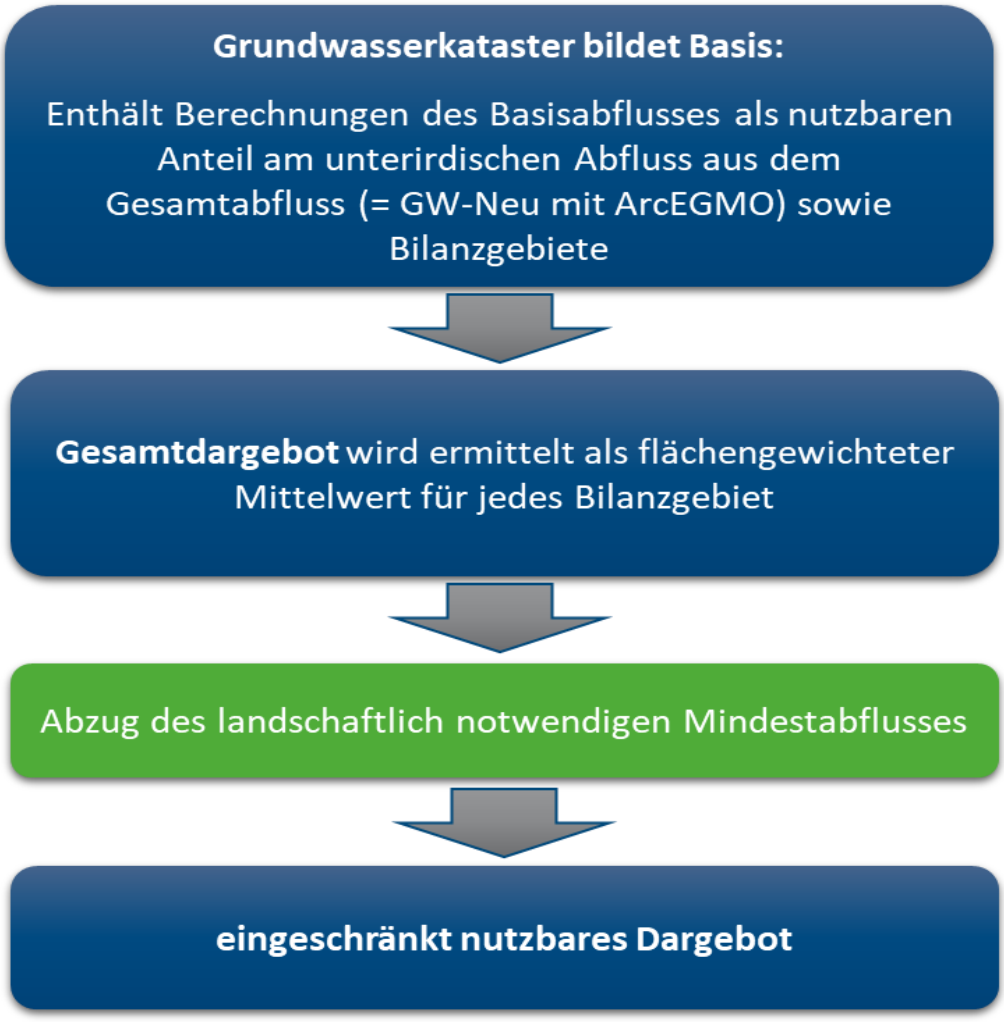


Abb. 4.6: Ablaufschema zur Ermittlung des eingeschränkt nutzbaren Grundwasserdargebots im Land Sachsen-Anhalt

4.6 Thüringen

Landesspezifische Situation

In Thüringen wurde die Niedrigwasserstrategie entwickelt, die die Planungsgrundlage für die zukünftige Umsetzung von trockenheitsbezogenen, wasserwirtschaftlichen Klimaanpassungsmaßnahmen in Thüringen bildet. Ein Bestandteil der Niedrigwasserstrategie ist die Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots, um die Grundwasserbewirtschaftung durch die Behörden zu erleichtern.

Die bisherige Grundwasservorratsberechnung in Thüringen basierte auf hydrogeologischen Erkundungsarbeiten aus den Jahren 1963-1993. Im Jahr 2012 hat das Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUG) diese zusammenfassend ausgewertet und mit gemittelten Grundwasserneubildungswerten aus den Jahren 1971 bis 2010 neu berechnet, so dass die Unteren Wasserbehörden über ein Werkzeug zur Ermittlung der noch verfügbaren Grundwasservorräte verfügen. Die veränderten Grundwasserneubildungsbedingungen vor allem in den extrem trockenen Jahren 2018 bis 2020 erforderten eine weitere Aktualisierung der Berechnung der langjährig verfügbaren Grundwasservorräte. Im Jahr 2020 wurde daher auf der Basis **instationärer Grundwasserneubildungsberechnungen** der ständig verfügbare Grundwasservorrat der hydrogeologischen Bilanzgebiete für die 30-jährige Zeitreihe von 1981 bis 2010 sowie für die Einzeljahre 2015 bis 2019 berechnet (TMUEN, 2022).

Vorgehensweise

Die Vorgehensweise zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots wird nachfolgend wiedergegeben und ist schematisch in der Abb. 4.7 dargestellt.

Die **Grundwasserneubildung** wurde mit der Methode RUBINFLUX berechnet. Unter RUBINFLUX wird eine Methodik zur flächendifferenzierten Berechnung der instationären Grundwasserneubildung verstanden. Diese ist in das Strömungsmodell SPRING integriert (ZEPP et al, 2017). Durch den Einsatz von zeitlich hoch aufgelösten Grundwasserneubildungsdaten auf Monats- und Jahresbasis können so Gebiete, die besonders sensibel auf klimatische Änderungen reagieren, identifiziert werden (PETERS, 2022).

Anschließend werden die folgenden Abschläge/Aufschläge berücksichtigt. Trockenwetterphasen werden durch einen gebietsspezifischen Reduktionsfaktor angerechnet. Zusätzlich wird in Abhängigkeit von der Grundwasserneubildung ein gebietsspezifischer landschaftlich notwendiger Mindestabfluss ermittelt, der von dem ständig nutzbaren Grundwasserdargebot abgezogen wird. Grundwasserzu- und -abflüsse aus/in die benachbarten Teileinzugsgebiete werden anhand der hydrogeologischen Verhältnisse abgeschätzt (TMUEN, 2022).

Im Ergebnis steht das **verfügbare Grundwasserdargebot**, siehe Abb. 4.7.



Abb. 4.7: Ablaufschema zur Ermittlung des verfügbaren Grundwasserdargebots im Land Thüringen

Berücksichtigung klimatischer Änderungen

Geplant ist, die künftigen klimatischen Auswirkungen auf das Grundwasser mittelfristig mit Klimaprojektionen zu analysieren. Dazu soll das gekoppelte Wasserhaushalts- und Grundwassermodell mit verschiedenen Klimamodelldatensätzen angetrieben werden und eine Prognose bis zum Jahr 2100 erstellt werden (TMUEN, 2022). Berücksichtigt werden dabei die beiden Klimaszenarien RCP2.6 „Klimaschutzszenario“ und RCP8.5 „Weiter-wie-bisher“-Szenario. Die Ergebnisse der Klimaprojektionsberechnungen sollen Abschätzungen für die nahe (2021-2050), die mittlere (2051-2070) und die ferne Zukunft (2071-2100) liefern (PETERS, 2022).

4.7 Fazit

Die Auswertung der zusammengestellten Literaturrecherche zeigt deutlich, dass die Bundesländer bei der Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots sehr unterschiedliche methodische Ansätze verfolgen. Diese Unterschiede spiegeln sowohl die heterogenen hydrogeologischen Rahmenbedingungen als auch die jeweiligen administrativen und fachlichen Traditionen wider. Gemeinsam ist den Konzepten jedoch, dass sie stets eine Kombination aus hydrologischen, hydrogeologischen und ökologischen Aspekten heranziehen, um ein belastbares Bild der nachhaltig verfügbaren Grundwasserressourcen zu gewinnen. In Tab. 4.1 sind die wesentlichen Unterschiede der verschiedenen Länderkonzepte zusammengefasst.

Bundesland	**Brandenburg**	**Mecklenburg-Vorp.**	**Niedersachsen alt**	**Niedersachsen neu**	**Sachsen**	**Sachsen-Anhalt**	**Thüringen**
Bilanzmaßstab	Einzugsgebiete, 25%-Gütekriterium	Einzugsgebiete, Ressourcenflächen	GW-Körper	GW-Körper	GW-Körper	Bilanzgebiete	Bilanzgebiete
Datengrundlage	BAGLUVA	BAGLUVA u.a.	GROWA06_v2	mGROWA22	ArcEGMO	ArcEGMO	RUBINFLUX/ SPRING
Dargebotsbasis	natürliches GWDar minus nicht nutzbare Bereiche	erkundet vs. potenziell nutzb. GWDar (30%)	Trockenwetterdargebot	mittleres/trockenes GWDar	pot./gewinnb. GWDar	Gesamtdargebot	instationär – Mindestabfluss
Ökologische Randbedingungen	ökologischer Mindestabfluss/ Flurabstand-Kriterium in gwaLÖS	Flurabstand (gwaLÖS), Küste, Versalzung	Öko-Abschlag	Basisabfluss ≤7.5%/ Bewirtschaftungslamelle	indirekt	Landschaftlich notwendiger Mindestabfluss	Trockenfaktoren/Mindestabfluss
Techn./qual. Abschläge	Versalzung	Qualität/Gewinnbarkeit-Klassen	Ergiebigkeit/Versalzung	Trend/Versalzung	–	–	Zu-/Abflüsse in benachbarte TEZG
Klimaberücksichtigung	RCP8.5-Faktor	-	indirekt	RCP8.5 Ensemble	WETTREG A1B-Szen.	-	RCP2.6 und 8.5 geplant
Administrative Umsetzung	WEB-GIS	Karte der Grundwasserressourcen	flächenproportional	flächenproportional	Proportional nach Fläche oder GWN-Anteil	Kataster	Werkzeug UWB

Tab. 4.1: Vergleichende Übersichtstabelle der wesentlichen Unterschiede der Länderkonzepte

Während beispielsweise Brandenburg und Sachsen-Anhalt stark abflussorientierte Verfahren nutzen, in denen der Mindestwasserabfluss und die Kontrolle über Einzugsgebietsgrößen eine zentrale Rolle spielen, setzen Länder wie Niedersachsen, Sachsen oder Thüringen zunehmend auf modellbasierte Ansätze. Diese berücksichtigen neben der Grundwasserneubildung auch Abschläge aufgrund technischer oder ökologischer Einschränkungen sowie – je nach Bundesland – zukünftige klimatische Veränderungen. Besonders hervorzuheben ist, dass viele Konzepte auf konventionalisierten Annahmen oder pauschalen Abschlägen beruhen, deren Übertragbarkeit auf andere Regionen begrenzt ist. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Integration von Klimaprojektionen an Bedeutung gewinnt, auch wenn die zugrunde liegenden Szenarien, Modelle und Bewertungskriterien deutliche Unterschiede aufweisen.

Für die Entwicklung eines tragfähigen Konzepts in Nordrhein-Westfalen lässt sich aus der Literaturrecherche ableiten, dass kein einzelner Landesansatz direkt übertragbar ist. Stattdessen bietet die Vielfalt der Vorgehensweisen einen wertvollen methodischen Werkzeugkasten, aus dem geeignete Elemente ausgewählt und an die spezifischen Rahmenbedingungen in NRW angepasst werden können. Dazu gehören insbesondere eine moderne, flächendeckend verfügbare Datengrundlage zur Grundwasserneubildung, eine differenzierte Berücksichtigung ökologischer Anforderungen wie Mindestwasserabflüsse und grundwasserabhängiger Landökosysteme sowie ein transparenter Umgang mit Unsicherheiten, beispielsweise im Zusammenhang mit Versalzung oder klimatischen Änderungen.

Insgesamt bildet die Literaturrecherche somit eine zentrale Grundlage für die Konzeptentwicklung, indem sie vorhandene Bilanzierungsansätze vergleichbar macht, ihre Übertragbarkeit bewertet und fachlich begründete Auswahlentscheidungen ermöglicht. Sie verdeutlicht zugleich, dass eine nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers nur durch die Kombination verschiedener methodischer Bausteine und deren Anpassung an regionale Gegebenheiten erreicht werden kann. Die im weiteren Verlauf der Studie vorgenommenen Prüfungen einzelner Bilanzkomponenten sowie die Entwicklung des eigenen Konzeptansatzes bauen unmittelbar auf diesen Erkenntnissen auf und führen zu einer fachlich konsistenten, für NRW geeigneten Verfahrensweise.

In Kap. 6. werden die für das Grundwasserdargebot relevanten Bilanzgrößen betrachtet. Dazu gehört unter anderem die Frage, ob die Dargebotsberechnung auf dem langjährigen Mittel der vergangenen 30 Jahre oder auf klimawandelbedingt veränderten zukünftigen Bedingungen basieren sollte. Ebenso wird untersucht, in welchem Umfang eine mögliche Infiltration aus Oberflächengewässern als zusätzliche Größe in die Bilanz einbezogen werden kann.

Kap. 7 befasst sich anschließend mit den möglichen Minderungen und Einflussfaktoren, die das nutzbare Grundwasserdargebot reduzieren können. Dazu zählen insbesondere der ökologische Mindestwasserabfluss, der Schutz grundwasserabhängiger Landökosysteme, Aspekte der technischen Gewinnbarkeit sowie potenzielle Auswirkungen von Versalzung.

5 Analyse und Prüfung der Basisdaten

Um belastbare Ergebnisse zu ermitteln, werden die Basisdaten zu den Grundwasserkörpergrenzen, den Grundwasserstandszeitreihen, der Grundwasserneubildung und den Drainageflächen, die zum Teil im Hinblick auf andere Fragestellungen entwickelt worden sind, zunächst auf Plausibilität geprüft. Ein Teil der Grundwasserstandszeitreihen wird darüber hinaus hinsichtlich Grundwasserstandstrends analysiert.

5.1 Plausibilitätsprüfung der Grundwasserkörpergrenzen

Die bestehenden Grundwasserkörpergrenzen im Kreis Minden-Lübbecke wurden ursprünglich durch den Geologischen Dienst NRW für die Anwendung der WRRL entwickelt. Ziel ist es zu klären, ob diese Grenzen auch für die nachhaltige mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers geeignet sind. Die Prüfung erfolgt auf Basis der modellierten Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse im Zeitraum 2006-2015, die im Projekt „Grundwasserbilanzmodell NRW“ (DELTA-H INGENIEURGESELLSCHAFT, 2022) entwickelt wurde (siehe **Anhang 1, Kap. 1.1**). Inzwischen wurde das Modell überarbeitet und verbessert, die Ergebnisse wurden aber noch nicht geprüft und freigegeben, so dass hier die ursprüngliche Version verwendet wurde.

Für die Plausibilitätsprüfung wurden zunächst alle Grundwassermessstellen mit Zeitreihen von über 30 Jahren identifiziert. Diese wurden auf Ausreißer untersucht. Dabei wurden 90 fehlerhafte Werte identifiziert, wovon 66 entfernt und 24 korrigiert wurden. Zusätzlich wurden 48 Messstellen ausgeschlossen, deren Ganglinien unplausibel waren, etwa durch unerklärliche Sprünge oder Wasserstände oberhalb der Geländeoberkante (siehe **Anhang 1, Kap. 1.1.1**). Nach dieser Bereinigung verblieben 1.025 Messstellen.

Im nächsten Schritt wurden die langjährigen Mittelwerte dieser Messstellen mit der modellierten Grundwasseroberfläche verglichen. Dabei ergaben sich Differenzen zwischen -49 m und +37 m. Bei Abweichungen von mehr als 10 m wurden die Ganglinien erneut auf Plausibilität geprüft. Weitere Messstellen wurden ausgeschlossen, etwa weil sie außerhalb des Untersuchungsgebiets lagen oder die Zeitreihen zu kurz waren. Insgesamt blieben 1.012 Messstellen für die finale Bewertung erhalten. Die Analyse zeigte eine insgesamt gute Übereinstimmung zwischen Modell und Messdaten. Nur im östlichen Stadtgebiet von Porta Westfalica traten systematische Abweichungen auf, die jedoch geologisch erklärbar sind und die Fließrichtung des Grundwassers nicht wesentlich beeinflussen. Somit ist die mittlere modellierte Grundwasseroberfläche mit Bezug auf das Grundwassergefälle plausibel und kann in der vorliegenden Form für die Abgrenzung der Grundwasserkörper genutzt werden (siehe **Anhang 1, Kap. 1.1.2**).

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Kohärenzprüfung der Grundwasseroberfläche an der Landesgrenze zu Niedersachsen (siehe **Anhang 1, Kap. 1.2**). Dazu wurden Grundwassergleichen und geologische Verhältnisse (Fest-/Lockergestein) anhand der Hydrogeologischen Karten HK50 verglichen. Die Daten stammen aus unterschiedlichen Quellen: NRW nutzte modellierte Werte von 2006-2015, Niedersachsen Stichtagsmessungen von 1993. Die größten Inkohärenzen treten dort auf, wo in Niedersachsen keine Grundwassergleichen vorliegen. Geringfügige Differenzen lassen sich auf unterschiedliche Datengrundlagen und Berechnungsmethoden zurückführen. Insgesamt zeigen sich jedoch weitgehend vergleichbare Grundwasserstände und eine durchgehend kohärente Fließrichtung.

Abschließend wurden die bestehenden Grundwasserkörpergrenzen auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse überprüft (siehe **Anhang 1, Kap. 1.3**). Die ursprüngliche Einteilung der Grundwasserkörper im Kreis Minden-Lübbecke erfolgte durch den Geologischen Dienst NRW anhand hydrogeologischer und hydraulischer Kriterien sowie der Einzugsgebiete oberirdischer Gewässer. 2021 wurden sie durch das LANUV NRW weiter unterteilt, um nitratbelastete Gebiete gemäß der Verwaltungsvorschrift AVV GeA besser darzustellen. Für die nachhaltige Bewirtschaftung wurden die bestehenden Grenzen unter Berücksichtigung des Untergrunds (HK100), des Grundwassergefälles und des Verlaufs großer Flüsse wie Weser und Werre überprüft.

Aus den ursprünglich 19 Grundwasserkörpern mit insgesamt 2.110 km² Fläche wurden durch Anpassungen 48 Bilanzräume gebildet. Dabei erfolgten Trennungen räumlich getrennter Teilgebiete, Zuweisungen schmaler Streifen zu benachbarten Körpern sowie Grenzverschiebungen entlang geologischer Trennlinien und Wasserscheiden. In bestimmten Bereichen mit hydraulisch isolierten Schichten im Festgestein wurden zusätzliche Unterteilungen vorgenommen. Darüber hinaus wurde in dem Zuge auch die Aufteilung nach administrativen Grenzen vorgenommen.

Vier Bilanzräume liegen vollständig außerhalb des Kreisgebiets und wurden ausgeschlossen. Es verbleiben 44 Bilanzräume mit einer Gesamtfläche von 1.568 km². In Anhang 2 von **Anhang 1** sind in Kap. 18 die erarbeiteten Bilanzräume samt zugehöriger Kreise, Kürzel und Flächengrößen zusammengestellt. Für die landesweite Anwendung wird empfohlen, Bilanzraumgrenzen entlang von Fließgewässern und Wasserscheiden zu ziehen, zusammenhängende und nicht zu kleinteilige Räume zu bilden und Schutzgebiete bei der Grenzziehung zu berücksichtigen.

5.2 Trendanalyse

Ziel der Trendanalyse ist es, langfristige Entwicklungen im Grundwasserstand zu erkennen und daraus Rückschlüsse auf die nachhaltige Nutzung des Grundwassers zu ziehen sowie zu prüfen, ob aus den Ergebnissen Rückschlüsse für die Bewirtschaftung der Bilanzräume gezogen werden können. Grundlage der Analyse sind die vom LANUV NRW bereitgestellten Stammdaten und Zeitreihen von insgesamt 2.057 Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet. Die Messstellen werden sowohl vom Land NRW als auch von Wasserwerksbetreibern und Firmen betrieben (siehe **Anhang 1, Kap. 2**).

Für eine belastbare Trendanalyse müssen die Zeitreihen bestimmte Anforderungen erfüllen (siehe **Anhang 1, Kap. 2.1**). Idealerweise sollten sie eine Länge von mindestens 30 Jahren aufweisen, um natürliche klimatische Schwankungen auszugleichen. Kürzere Reihen ab 15 Jahren wurden nur in begründeten Ausnahmefällen berücksichtigt. Zudem sollte der Messturnus mindestens monatlich, besser wöchentlich sein. Auch die Einflüsse durch Luftdruck und saisonale Schwankungen wurden berücksichtigt, ebenso wie mögliche klimatische Trends, die parallel zur Grundwasserentwicklung analysiert werden sollten.

Die Aufbereitung der Zeitreihen erfolgte in mehreren Schritten (siehe **Anhang 1, Kap. 2.2**). Zunächst wurden alle Messstellen mit unzureichendem Turnus (halbjährlich, zweimonatlich) sowie solche mit Einzelwerten ausgeschlossen. Auch Messstellen, deren letzte Messung vor dem 01.01.2020 lag, wurden nicht weiter berücksichtigt. Von den ursprünglich 2.109 Messstellen blieben nach Anwendung dieser Filter 1.051 übrig. Um eine ausreichende Datenbasis zu gewährleisten, wurde zudem eine Mindestanzahl von 1.000 Messwerten pro Messstelle festgelegt. Dies entspricht etwa einem wöchentlichen Turnus über 30 Jahre. Nach Anwendung dieses Kriteriums verblieben 84 Messstellen, die das Untersuchungsgebiet insgesamt gut abdecken, wenngleich nicht alle Bilanzräume vollständig repräsentiert sind. Daher wurden anhand einer optischen Überprüfung der Ganglinien zusätzliche Messstellen für die Trendanalyse ausgewählt. Insgesamt wurden somit 127 Trendmessstellen ausgewählt.

Im nächsten Schritt erfolgte eine Plausibilitätsprüfung der Zeitreihen (siehe **Anhang 1, Kap. 2.3**). Dabei wurden Ausreißer identifiziert und entfernt, insbesondere wenn sie auf offensichtliche Eingabefehler oder technische Probleme zurückzuführen waren. Die Prüfung erfolgte sowohl visuell anhand der Ganglinien als auch statistisch. In Zweifelsfällen wurden die betroffenen Messstellen von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Für die eigentliche Trendanalyse wurden drei methodische Ansätze verwendet (siehe **Anhang 1, Kap. 2.4**): Erstens die Berechnung der Steigung der Regressionsgeraden, zweitens die Prüfung der statistischen Signifikanz mittels Students t-Test und drittens die Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele.

Die Ergebnisse der Trendanalyse über den 30-jährigen Zeitraum zeigen, dass in vielen Bilanzräumen ein leichter bis mäßiger Rückgang der Grundwasserstände zu verzeichnen ist (siehe **Anhang 1, Kap. 2.5**). Die Bewertung der Regressionsgeraden ergab, dass in vielen Bilanzräumen negative Steigungen dominieren. Die statistische Signifikanzprüfung war für den vorliegenden Anwendungsfall nicht geeignet, da sich danach bei keiner Messstelle ein signifikanter Trend ergab. Die Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele, die zusätzlich zur Steigung der Regressionsgeraden die Schwankungsbandbreite der Zeitreihen berücksichtigt, zeigte in den meisten Bilanzräumen fallende Trends.

In einem weiteren Schritt wurde eine abschnittsweise Trendanalyse durchgeführt (siehe **Anhang 1, Kap. 2.6**), bei der die Zeitreihen in drei Dekaden unterteilt wurden: 1991-2000, 2001-2010 und 2011-2020. Diese Analyse zeigte, dass sich die Trends im Zeitverlauf teilweise verändert haben. Insgesamt ist mit Ausnahme weniger Abweichungen ein Zunehmen von negativen Trends festzustellen.

Die Trendanalyse hat gezeigt, dass die Anforderungen an die Qualität und Länge der Grundwasserstandszeitreihen sehr hoch sind, um belastbare Aussagen treffen zu können. Zwar existieren im Untersuchungsgebiet zahlreiche Messstellen, jedoch erfüllen nur wenige die Kriterien für eine aussagekräftige Trendbewertung über einen ausreichend langen Zeitraum. Dadurch ist es nicht möglich, für alle Bilanzräume verlässliche Trends zu berechnen (siehe **Anhang 1, Kap. 2.7**).

Aus diesem Grund wird auf eine direkte Ableitung einer Minderung des Grundwasserdargebots anhand der Trenddaten verzichtet. Stattdessen wird die qualitative Bewertung des Trends nach Grimm-Strele als ergänzende Hinweise in das Bilanzierungswerkzeug integriert. Es liegt in der Verantwortung der Genehmigungsbehörden, diese Informationen bei der Bewertung neuer Anträge individuell zu berücksichtigen.

5.3 Plausibilität der Grundwasserneubildung nach mGROWA

Ziel ist es, die vom LANUV NRW bereitgestellten Daten zur Grundwasserneubildung auf ihre fachliche Nachvollziehbarkeit und Konsistenz mit anderen hydrologischen Kenngrößen zu prüfen. Die Grundwasserneubildung wurde mithilfe des Modells mGROWA berechnet, das auf landesweit einheitlichen Eingangsdaten basiert. Diese Modellierung liefert flächendifferenzierte Werte der jährlichen Grundwasserneubildung, die für die Bilanzierung des nutzbaren Grundwasserdargebots eine zentrale Rolle spielen. Um die Plausibilität dieser Werte zu bewerten, wurde ein Vergleich mit dem sogenannten MoMNQ (monatlicher mittlerer Niedrigwasserabfluss) nach WUNDT (1958) durchgeführt. Der MoMNQ stellt eine etablierte Referenzgröße dar, die auf langjährigen Abflussmessungen basiert und als konservativer Schätzwert für die nachhaltige Grundwasserneubildung gilt.

Die Analyse zeigt, dass die mGROWA-Werte in den meisten Bilanzräumen plausibel sind und in einem realistischen Verhältnis zum MoMNQ stehen. In einzelnen Fällen wurden jedoch Abweichungen festgestellt. Diese lassen sich häufig durch lokale Besonderheiten wie Bodenart, Landnutzung oder klimatische Bedingungen erklären. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass die mGROWA-Modellierung eine geeignete Grundlage für die weitere Bilanzierung darstellt, sofern die Werte im Einzelfall kritisch geprüft und gegebenenfalls angepasst werden.

Zusätzlich wurde die Verteilung der Oberflächenwasserpegel im Projektgebiet betrachtet, um die hydrologische Gesamtsituation besser einordnen zu können. Die Ergebnisse dieser Prüfung sind in **Anhang 1, Kap. 3** dokumentiert.

Insgesamt ist die Plausibilität der modellierten Grundwasserneubildung als gut zu bewerten. Die Grundwasserneubildung nach mGROWA kann für die Studie verwendet werden.

5.4 Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen

Die in mGROWA ausgewiesenen Drainageflächen wurden bilanzraumweise geprüft. Die Analyse basiert auf einer Kombination aus geohydrologischen Karten, Fließgewässerdaten und Informationen zur Flächennutzung. Dabei wurden die einzelnen Bilanzräume hinsichtlich ihrer flächenmäßigen Ausdehnung, der Länge der Fließgewässer und der potenziell drainierten Mengen untersucht. Die Ergebnisse sind in **Anhang 1, Kap. 4** zusammengefasst.

Die Prüfung ergab, dass Drainageflächen in mehreren Bilanzräumen eine relevante Rolle spielen. Besonders in Gebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung und dichter Fließgewässerstruktur ist der Einfluss der Drainage auf das Grundwasserdargebot gegeben.

Der überwiegende Teil der ausgewiesenen Drainageflächen ist plausibel. Einige Drainageflächen sind nicht erklärbar und daher nicht plausibel. Da der überwiegende Anteil plausibel ist und die kleine, unplausible Drainagemenge in einer vernachlässigbaren Größenordnung liegt, wird der Drainageabfluss von mGROWA unverändert übernommen.

6 Grundwasserdargebot

Die Ausgangsgröße bzw. die Basis zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots ist das Grundwasserdargebot, das insgesamt natürlicherweise zur Verfügung steht. Nach DIN 4049-3 (1994) wird das Grundwasserdargebot definiert als *"Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz […] für einen Grundwasserabschnitt […]"*. Im Rahmen dieser Studie wird zunächst diskutiert, welches Grundwasserdargebot, das aktuelle langjährige Grundwasserdargebot, ein Trockenwetterdargebot oder vor dem Hintergrund des Klimawandels ein prognostiziertes zukünftiges Grundwasserdargebot als Basis herangezogen werden soll. Weiterhin kann das Grundwasserdargebot durch verschiedene natürliche oder anthropogene Einflüsse, wie z. B. die Infiltration aus Oberflächengewässern, Kleinkläranlagen oder Niederschlagsversickerungsanlagen erhöht werden. Andere anthropogene Einflüsse, wie z. B. ein durchgehend vorhandener zusätzlicher Abfluss durch Kläranlagen oder Kleinkläranlagen können den Mindestwasserabfluss in den Oberflächengewässern stützen, was sich ebenfalls positiv auf das Grundwasserdargebot auswirken kann. Alle diese Einflüsse werden im Folgenden beschrieben und diskutiert.

6.1 Aktuelles Grundwasserdargebot

Die Ausgangsgröße des Grundwasserdargebots ist die mittlere Grundwasserneubildung nach mGROWA. Das Modellkonzept von mGROWA in der Version für NRW wird in Herrmann & Wendland (2021) genauer erläutert (siehe auch Abb. 6.1). Zusammenfassend erfolgt die mGROWA-Simulation rasterbasiert in zwei Stufen: Zunächst wird täglich die Evapotranspiration und der Gesamtabfluss berechnet, anschließend wird der Gesamtabfluss monatlich in Sickerwasser, Grundwasserneubildung und Direktabfluss aufgeteilt. Grundlage ist die Wasserhaushaltsgleichung mit klimatischen Eingabedaten wie Niederschlag und potenzieller Verdunstung.

Das Modell unterscheidet drei Oberflächentypen: Boden mit Vegetation, versiegelte Flächen und Wasserflächen. Für Böden mit Vegetation wird die Bodenfeuchte mit dem Modell BOWAB simuliert. Nicht speicherbares Wasser wird als Gesamtabfluss bilanziert, das Feuchtedefizit dient auch der Dürreanalyse.

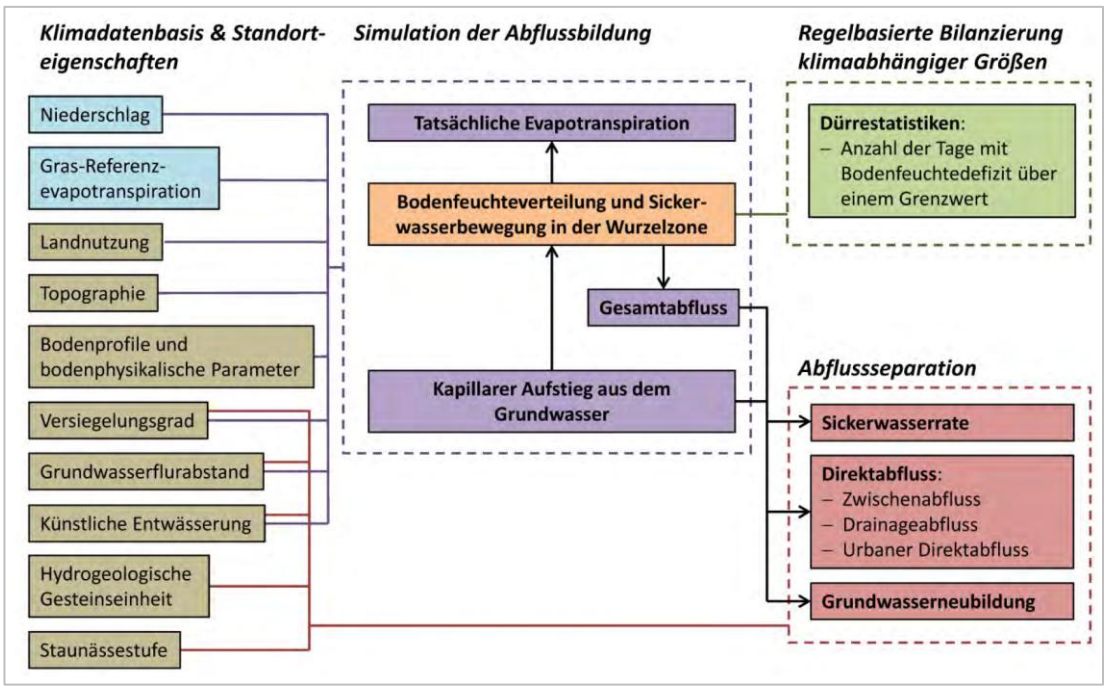


Abb. 6.1: Modellkonzept des Wasserhaushaltsmodells mGROWA in der Implementierung für Nordrhein-Westfalen (Quelle: LANUV-Fachbericht 110, Teil IIa, S. 14)

Der Versiegelungsgrad wird rasterbasiert berücksichtigt. Jede Rasterzelle wird anteilig für versiegelte und unversiegelte Flächen berechnet. Mit SSPI-Werten (engl. surface sealing percolation index) wird der Abfluss auf versiegelten Flächen in urbanen Direktabfluss und unterirdische Komponenten getrennt. So wird berücksichtigt, dass nicht alle versiegelten Flächen vollständig abflusswirksam sind.

Die Abflussseparation erfolgt über einen Entscheidungsbaum mit standortbezogenen Methoden. BFI-Werte (Base-Flow-Indizes) geben den Anteil der Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss an. Bei Grundwassereinfluss wird die Netto-Neubildung monatlich bilanziert. Drainageabflüsse werden nur berücksichtigt, wenn Grundwasserstand und Drainageniveau übereinstimmen. Staunässedrainagen führen zu festem Direktabflussanteil.

In Festgesteinsbereichen ohne Grundwassereinfluss erfolgt die Bilanzierung mit klassischen BFI-Werten. Bei Staunässe wird der Abfluss in Drainage- und Zwischenabfluss getrennt. In Lockergestein überwiegt die Grundwasserneubildung, bei Staunässeeinfluss erfolgt eine Aufteilung, bei Entwässerung wird der Zwischenabfluss als Drainageabfluss bilanziert. So wird eine korrekte Erfassung potenzieller Drainageflächen gewährleistet.

Im Rahmen der Pilotstudie wird zunächst die mittlere Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet im Zeitraum 1991 bis 2020 nach Grundwasserkörpern und Bilanzräumen ausgewertet. Da für die Aufstellung des Konzepts zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots auch die Kenntnis der Grundwasserneubildung auf Flächen mit grundwasserabhängigen Landökosystemen notwendig ist, wird auch diese ermittelt. Dabei werden die Flächen mit einem 50 m breiten Saum umgeben (siehe Kap. 3.7.1 und 7.30).

In **Anlage 14** ist die Grundwasserneubildungsverteilung dargestellt. In **Anhang 2** sind die Grundwasserneubildungsraten und -mengen aller im Untersuchungsgebiet vorkommenden Grundwasserkörper aufgeführt. Es handelt sich dabei um 17 Grundwasserkörper mit einer flächengewichteten mittleren Grundwasserneubildungsrate von 75,4 mm/a. In Kap. 3.7.1 sind die aktuellen Grundwasserneubildungsraten und -mengen genauer erläutert. Des Weiteren werden dort auch auf die Grundwasserneubildungsraten der Flächen mit grundwasserabhängigen Landökosysteme beschrieben. Innerhalb dieser Flächen liegt die flächengewichtete mittlere Grundwasserneubildung bei 21,7 mm/a.

In **Anhang 3** sind die mittleren Grundwasserneubildungsraten der Bilanzräume und grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraum des Untersuchungsgebiets aufgeführt. Je Bilanzraum bewegen sich die mittleren Grundwasserneubildungsraten zwischen -9,5 und 217,5 mm/a mit Spannweiten von 12,3 bis 821,5 mm/a. Im flächengewichteten Mittel sind es 75,4 mm/a (siehe auch Tab. 6.1).

Die flächengewichtete mittlere Grundwasserneubildung der grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraum liegt bei +20,8 mm/a. Die grundwasserabhängigen Landökosysteme der Bilanzräume *Große Aue Lockergestein links*, *Große Aue Lockergestein rechts*, *Große Aue Lockergestein im Süden 1*, *Große Aue Lockergestein im Süden 2, Hunte rechts Lockergestein 1, Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 1 und 2*, *Petershäger Kreide* und *Weser Lockergestein links 3* weisen eine Zehrung von -2,6 (HRL1_ML) bis -69,5 mm/a (GALR_ML) auf. Die übrigen Bilanzräume zeigen Grundwasserneubildungsraten zwischen +2,5 (KSW1_ML) und +160,4 mm/a (NTG1_H) in den grundwasserabhängigen Landökosystemen. Die Spannweiten liegen dabei zwischen 0,0 und 542,9 mm/a (siehe Tab. 6.1).

Neben dem mittleren 30-jährigen Grundwasserdargebot (Zeitraum 1991 bis 2020) wird gesondert die Trockenwetterdekade von 2011 bis 2020 als Trockenwetterdargebot berücksichtigt. Es ist zu prüfen, ob die Nutzung der Trockenwetterdekade als Basis für die Grundwasserdargebotsermittlung des Konzepts sinnvoll ist. Die Grundwasserneubildungsraten und -mengen der Trockenwetterdekade je Bilanzraum sowie der grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraum sind in **Anhang 4** aufgeführt. Die Grundwasserneubildungsverteilung ist in **Anlage 18** dargestellt. In diesem Zeitraum sind die Grundwasserneubildungsraten deutlich geringer als im Zeitraum 1991-2020 und bewegen sich im Mittel zwischen -84,0 und 140,4 mm/a je Bilanzraum. Das flächengewichtete Mittel beträgt 29,9 mm/a und ist damit etwa 45,5 mm/a bzw. um etwa 60 % geringer als die mittlere flächengewichtete Neubildungsrate im 30-jährigen Mittel. Die Grundwasserneubildungsraten innerhalb der grundwasserabhängigen Landökosysteme sind ebenfalls deutlich niedriger als im 30-jährigen Mittel und liegen zwischen -141,6 und 80,8 mm/a, im flächengewichteten Mittel bei -56,3 mm/a (siehe Tab. 6.1).

	GWNB 1991-2020 [mm/a]	**GWNB 1991-2020 in gwaLÖS [mm/a]**	**GWNB 2011-2020 [mm/a]**	**GWNB 2011-2020 in gwaLÖS [mm/a]**
Minimum	-9,5	-69,5	-84,0	-141,6
Mittelwert	86,0	49,8	43,7	-24,7
flächengewichteter Mittelwert	75,4	20,8	29,9	-56,3
Maximum	217,5	160,4	140,4	80,8
Spannweite	12,3 bis 821,5	0,0 bis 542,9	10,2 bis 797,5	0,0 bis 566,5

Tab. 6.1: Statistische Werte je Bilanzraum zur Grundwasserneubildung im 30-jährigen Mittel sowie in der Trockenwetterdekade

Die Trockenwetterdekade im Zeitraum 2011 bis 2020 ist damit außerordentlich trocken im Vergleich zum langjährigen mittleren Grundwasserdargebot. Ein um rd. 46 mm/a geringeres Grundwasserdargebot bedeutet bei einer Porosität von 20 % ein um 23 cm/a geringerer Grundwasserstand. Ein gut gefüllter Grundwasserspeicher kann solche trockenen Jahre daher einige Zeit abpuffern. Die klimatische Entwicklung in den Jahren nach der Trockenwetterdekade hat gezeigt, dass die mittleren Grundwasserstandsniveaus wieder erreicht bzw. insbesondere in 2024/2025 in Teilbereichen sogar überschritten wurden. Dies zeigt, dass selbst lange Trockenwetterperioden im langjährigen Mittel immer wieder durch vergleichsweise nasse Jahre ausgeglichen werden.

Es wird daher davon abgesehen, als Basis für das Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots das Trockenwetterdargebot zu verwenden. Stattdessen wird das langjährige mittlere Grundwasserdargebot als Maßstab gesetzt. Das langjährige mittlere Grundwasserdargebot sollte in regelmäßigen Abständen von höchstens 5 Jahren aktualisiert werden, um so durch den Einbezug von aktuellen Klimadaten die Dargebotsberechnung aktuell zu halten. Zur Entscheidungsfindung der Genehmigungsbehörden wird das Trockenwetterdargebot mit in das Bilanzierungswerkzeug (siehe Kap. 10) integriert.

6.2 Zukünftige Entwicklung des Grundwasserdargebots

Zur Ermittlung des Grundwasserdargebots als Basis für eine nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung ist es erforderlich, die zukünftige Entwicklung des Grundwasserdargebots zu betrachten. Jetzt neu vergebene Wasserrechte haben eine Laufzeit von bis zu 30 Jahren. Daher ist der Zeitraum bis ca. 2060 zu berücksichtigen. Aufgrund des Klimawandels können sich die aktuellen Verhältnisse stark verändern, so dass explizit auch durch den Klimawandel veränderte Verhältnisse betrachtet werden müssen. Hierzu werden bereits berechnete Klimawandelszenarien verwendet, die im Folgenden beschrieben und ausgewertet werden.

6.2.1 Klimawandelszenarien

Als Klimaszenarien werden von der Klimawissenschaft mögliche Entwicklungspfade des künftigen Klimas sowie der antreibenden Kräfte beschrieben. Diese basieren auf unterschiedlichen Annahmen möglicher Entwicklungen von Gesellschaft, Technologie und Ressourcennutzung. Auf deren Basis können künftige Emissionen von Treibhausgasen und weiteren klimarelevanten Substanzen abgeschätzt werden (KREIENKAMP et al, 2022).

Es werden dabei Szenariendefinitionen genutzt, welche aus den zwei Komponenten SSP (Shared Socioeconomic Pathways) und RCP (Representative Concentration Pathways) bestehen. Die SSPs beschreiben mögliche zukünftige sozioökonomische Entwicklungen und die RCPs mögliche Konzentrationspfade atmosphärischer Treibhausgase und damit mögliche zukünftige Entwicklungen des Klimas. RCPs bestimmen wesentlich das Ausmaß der zukünftigen Erwärmung. Aus einer großen Anzahl an Konzentrationspfaden wurden von der Klimawissenschaft repräsentative Pfade selektiert. Im sechsten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (AR6) sind dies die Pfade RCP1.9, RCP2.6, RCP4.5, RCP7.0 und RCP8.5 (IPCC, 2023). Die Zahl beschreibt hierbei den durch den menschengemachten Anstieg der Treibhausgase zusätzlich verursachten Strahlungsantrieb in W/m² gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Ein Klimaszenario besteht aus einer Kombination eines SSPs und eines RCPs (KREIENKAMP et al, 2022). In Tab. 6.2 sind die Kernaussagen und wesentlichen Merkmale der Klimaszenarien zusammengestellt.

Szenario	Bezeichnung	Kernaussage / Zukunftsbild	Wesentliche Merkmale
SSP1-2.6	„Der 2-Grad-Weg“	Internationale Kooperation ermöglicht aktiven Klimaschutz im Sinne des Pariser Abkommens → Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2 °C gegenüber vorindustrieller Zeit.	- Stark koordinierter globaler Klimaschutz - Nachhaltige Entwicklung - Reduzierte Emissionen
SSP2-4.5	„Der Mittelweg“	Klimaschutz und wirtschaftliche Entwicklung halten sich die Waage, wobei fossile Energien weiterhin bedeutend bleiben.	- Moderate Emissionsentwicklung - Weiterhin Nutzung fossiler Rohstoffe - Steigender Anpassungsbedarf v. a. in vulnerablen Regionen
SSP5-8.5	„Der fossile Weg“	Fokus auf fossile Brennstoffe und energieintensiven Lebensstil → starke klimatische Veränderungen bis Ende des 21. Jahrhunderts.	- Dominanz fossiler Energien - Hohe Emissionen - Internationale Anpassungsunterstützung - Globale Kompensationsmechanismen

Tab. 6.2: Klimaszenarien (KREIENKAMP et al, 2022)

6.2.2 Auswahl der Klimawandelszenarien

Im Rahmen der Pilotstudie wird das nutzbare Grundwasserdargebot und die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve jedes Grundwasserkörpers bzw. Bilanzraumes nach der entwickelten Verfahrensweise für die folgenden Szenarien ermittelt:

+ Für die aktuelle Grundwasserdargebotsmenge, die sich aus den derzeit noch herrschenden hydrologischen Bedingungen der letzten 30 Jahre von 1991-2020 ergibt (Ist-Zustand),

+ Aus dem Trockenwetterdargebot, das als mittleres Grundwasserdargebot in Trockenwetterperioden aufgrund der Berücksichtigung eines Klimaszenarios trockener Jahre, z. B. Minimumdekade 2011-2020, abzuschätzen ist und

+ für die zukünftig projizierte Grundwasserdargebotsmenge, welche aus zukünftig möglichen hydrologischen Bedingungen abzuleiten ist (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland – ReKliEs-De).

Um eine mögliche Bandbreite der künftigen Grundwasserneubildungen abzubilden und damit eine Entscheidungsgrundlage für die Genehmigung von Wasserrechten zu ermitteln, wurde festgelegt, dass die Grundwasserneubildungen als Eingangsgröße für die Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve aus den folgenden Klimaszenarien verwendet werden sollen:

+ RCP2.6 („der 2 Grad Weg“ oder „Klimaschutz-Szenario“) best-case
+ RCP4.5 („Stabilisierungs-Szenario“) middle case
+ RCP8.5 („der fossile Weg“ oder „weiter-wie-bisher”) worst-case

Die nachfolgende Abb. 6.2 fasst die oben beschriebenen Festlegungen zusammen. Sie zeigt beispielhaft die mögliche Bandbreite der Oberflächentemperaturen der nahen Zukunft (roter Kasten) in den drei gewählten RCP-Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5.

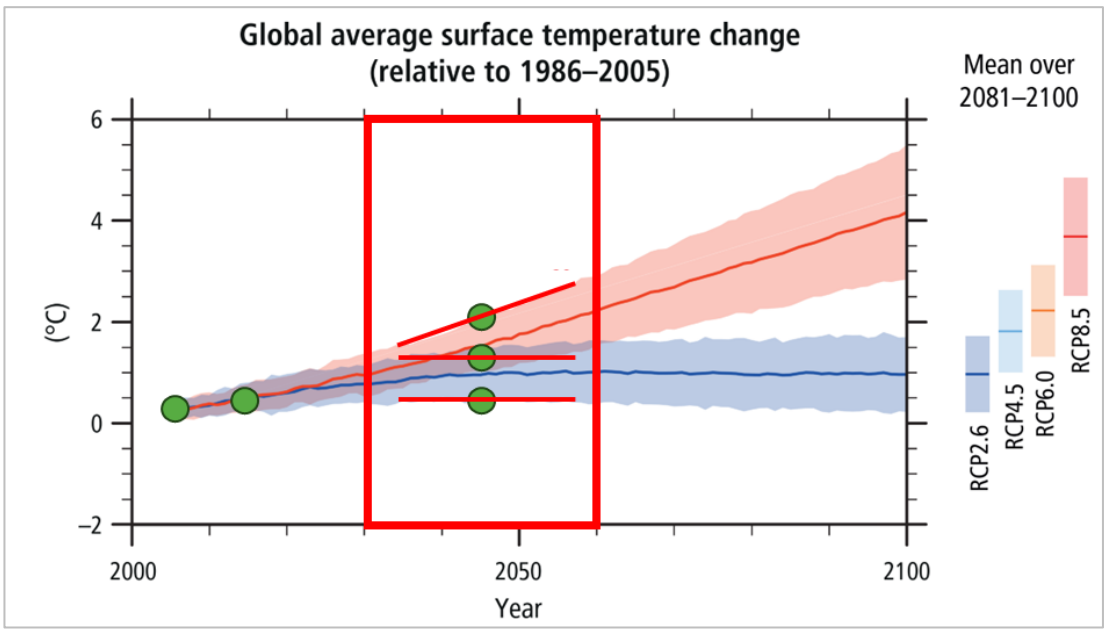


Abb. 6.2: Bandbreiten der globalen mittleren Temperaturänderung je nach RCP-Szenario, rot umrandet: die zu betrachtende nahe Zukunft, grüne Punkte: zu ermittelnde Grundwasserdargebote für den Ist-Zustand, das Trockenwetterdargebot und die drei RCP-Szenarien, verändert nach IPCC, 2014

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der best-case Projektion für das „Klimaschutz-Szenario“ und des worst-case für das „weiter-wie-bisher“-Szenario wird im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

6.2.3 Vorgehensweise zur Auswahl der Klimaprojektionen

Im Folgenden wird beschrieben, auf welcher Datengrundlage die Klimawandeldatensätze beruhen und wie diese erstellt wurden. Weiterhin wird erläutert, wie die Datensätze ausgewertet wurden und auf welcher Basis die Datensätze, die in der Pilotstudie verwendet wurden, ausgewählt wurden.

Für Nordrhein-Westfalen wurden mögliche zukünftige Veränderungen der räumlichen und zeitlichen Muster der Grundwasserneubildung in einer Studie untersucht (LANUV, 2021). Hierzu wurden Projektionen mit einem Multi-Modell-Ensemble sowie statistische Analysen der projizierten Änderungssignale der Grundwasserneubildung durchgeführt. Als hydrogeologisches Modell kam das auf Landesebene etablierte Wasserhaushaltmodell mGROWA zum Einsatz. Mit mGROWA kann u. a. die Grundwasserneubildung in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung berechnet werden (Tagesschritte, 100 m Raster). Als historisches Referenzniveau wird die mit dem Modell berechnete räumliche Verteilung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung (1971-2000) verwendet. Zu diesem Referenzniveau werden die projizierten Veränderungen in Bezug gesetzt (HERMANN et al, 2021a).

6.2.3.1 Modellkette

Für die Projektion der zukünftig möglich erscheinenden Grundwasserneubildungsmengen wurde ein Multi-Modell-Ensemble etabliert. Dieses besteht aus insgesamt 37 Mitgliedern der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA (LANUV, 2021). Hierbei bezeichnet RCP wie oben beschrieben die repräsentativen Konzentrationspfade, GCM (General Circulation Model) das verwendete Globalmodell, RCM (Regional Climate Model) das regionale Klimamodell und mGROWA das Wasserhaushaltsmodell. Die RCP-Szenarien liefern die Randbedingungen für die globalen Klimamodelle (Gitterweite von 200 km). Diese wiederum stellen die Randbedingungen für räumlich höher auflösende regionale Klimamodelle (ca. 12 km). Durch die Europäische Initiative EURO-CORDEX (JACOB et al, 2014) wurde ein Ensemble aus GCM-RCM-Kombinationen geschaffen. Dieses wurde im Verbundprojekt Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland (ReKliEs-De) (HUEBNER et al, 2017) erweitert und dient dem Antrieb des Wasserhaushaltsmodells mGROWA zur Ermittlung der Grundwasserneubildung. Aufgrund von Empfehlungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD), o. J., wurde das Ensemble reduziert (LANUV, 2021). Für das Szenario RCP2.6 ergeben sich neun RCP-GCM-RCM-Kombinationen, für RCP4.5 elf Kombinationen und für RCP8.5 sind es siebzehn RCP-GCM-RCM-Kombinationen (HERMANN et al, 2021a).

6.2.3.2 Regionsspezifische Analyse

Die Ergebnisse der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA wurden im Rahmen der Studie auf die hydrogeologischen Großlandschaften in Nordrhein-Westfalen aggregiert (gemittelt). Die Eigenschaften dieser Großlandschaften sind in AD-HOC-AG_HYDROGEOLOGIE (2016) beschrieben.

Die berechneten Änderungssignale der Grundwasserneubildung basieren auf den projizierten Klimaänderungen von jeweils ca. 20 bis 50 Knoten der RCMs. In Abb. 6.3 sind die hydrogeologischen Großlandschaften sowie die Gitterpunkte der RCMs dargestellt, für die eine regionsspezifische Analyse der Ensembleergebnisse vorgenommen wurde. Der Kreis Minden-Lübbecke ist überwiegend in der Großlandschaft Westfälisches Tiefland gelegen. Der südliche Teil des Kreises liegt in der Großlandschaft Weserbergland (HERMANN et al, 2021a).

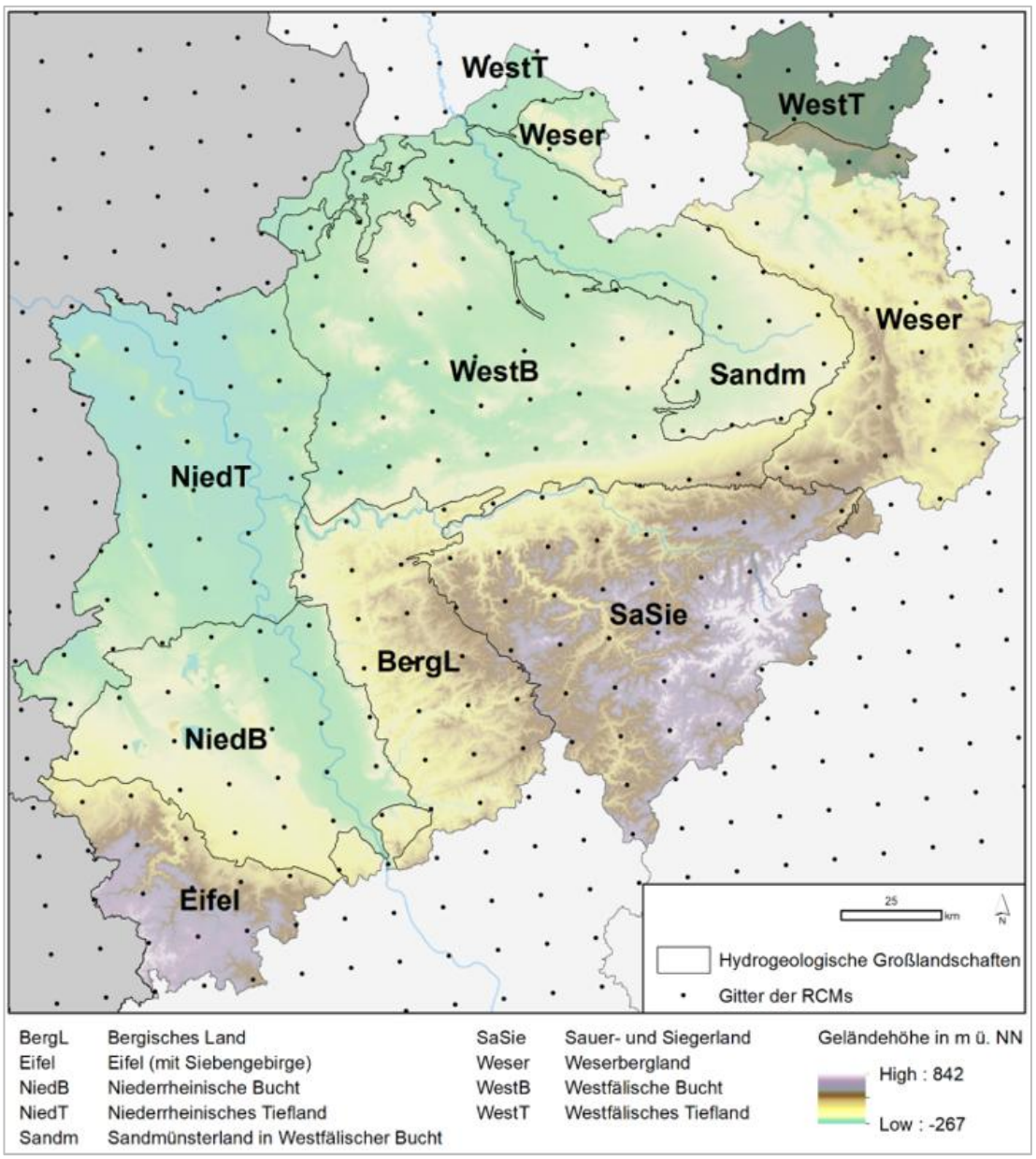


Abb. 6.3: Darstellung der hydrogeologischen Großlandschaften sowie der Gitterpunkte der RCMs für die regionsspezifische Analyse der Ensembleergebnisse in NRW, grau hinterlegt: Lage des Kreises Minden-Lübbecke (nach HERMANN et al, 2021a)

6.2.3.3 Trendanalyse und Tests auf Robustheit

Neben der Referenzperiode 1971-2000 werden die Zeitperioden 2011-2040, 2041-2070 und 2071–2100 abgedeckt. Hierbei stellt sich die Frage, wie die Robustheit der Ensembleprojektionen analysiert und bewertet werden kann. Ein Ziel der Analysen ist also, festzustellen und nachzuweisen, ob in einzelnen Projektionen (Entwicklungspfaden) künftig mit einem signifikant veränderten Neubildungsregime zu rechnen ist und ob diese Entwicklung eher zu einem geringeren oder höheren langjährigen mittleren Niveau führt. Ebenso ist von Interesse, ob das gesamte Ensemble eine einheitliche Richtung der Veränderung zeigt oder ob keine einheitliche Tendenz erkennbar ist.

Robustheit wird in PFEIFER et al (2015) definiert als Kombination aus Übereinstimmung im Vorzeichen der projizierten Änderungssignale im gesamten Ensemble (Test A) und der statistischen Signifikanz der Änderungen in individuellen Projektionen (Test B). Die Bewertung auf Robustheit erfolgt demnach anhand von zwei zu erfüllenden Kriterien. Der Test A, auf Übereinstimmung im Vorzeichen der Änderungssignale, ist erfüllt, wenn jeweils mindestens zwei Drittel der Mitglieder in den RCP-Teilensembles eine Zu- oder Abnahme der 30-jährigen Mittelwerte der Grundwasserneubildung für die drei künftigen Zeitperioden gegenüber der historischen Referenzperiode projizieren. Der Test B, auf Signifikanz der Änderungssignale, ist erfüllt, wenn jeweils mindesten zwei Drittel der Mitglieder in den RCP-Teilensembles signifikante Änderungen in der Verteilung der Jahreswerte aufweisen (HERMANN et al, 2021b).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass keines der RCP-Teilensembles für keine der Perioden eine robuste Zu- oder Abnahme projiziert. Für Nordrhein-Westfalen wird aus statistischer Perspektive demzufolge keine robuste Veränderung projiziert und daher wird langfristig eher eine Grundwasserneubildung auf dem historischen Referenzniveau (am Ende des 21. Jahrhundert) stattfinden (HERMANN et al, 2021b).

6.2.3.4 Ergebnisse der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA

Die aggregierten Änderungen der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung in den drei zukünftigen 30-Jahre-Perioden sind aufgeteilt nach RCP-Teilensembles in Boxplots dargestellt. Die einzelnen Kombinationen aus Global- und Regionalmodell unterscheiden sich je nach RCP-Szenario, hydrogeologischem Raum und gewählter 30-Jahre-Periode. Die Grundwasserneubildungsänderungen liegen dabei maximal zwischen +80 mm/a und -100 mm/a, wobei die Mediane und das Gros der Modellketten nah um 0 mm/a streuen (HERMANN et al, 2021a).

Im Begleitdokument zum LANUV-Fachbericht 110 Teil IX wird unter anderem konstatiert, dass „aus statistischer Perspektive für NRW die Schlussfolgerung gezogen werden kann, dass das Ensemble keine robuste Veränderung projiziert und deshalb langfristig eine Grundwasserneubildung auf dem historischen Niveau (am Ende des 21. Jahrhunderts) stattfinden wird“. Allerdings wird auch dazu geraten, in weitergehende Betrachtungen „immer extreme Entwicklungspfade einzubeziehen, weil für einzelne Entwicklungspfade derzeit keine verlässlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden können“. Dementsprechend und den oben beschriebenen Diskussionen mit der Arbeitsgruppe zufolge wurden die extremen Modellkombinationen (best-case und worst-case) für die Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 ermittelt.

Die Abb. 6.4 zeigt die Boxplots für die Veränderung der Grundwasserneubildung für den „2 Grad Weg“, RCP2.6, die roten Kästen umrahmen die Daten für das Weserbergland (linker Kasten) und das Westfälische Tiefland (rechter Kasten). Mit einem roten Pfeil markiert ist jeweils das **best-case**-Szenario, also das Szenario mit dem höchsten Anstieg der Grundwasserneubildung.

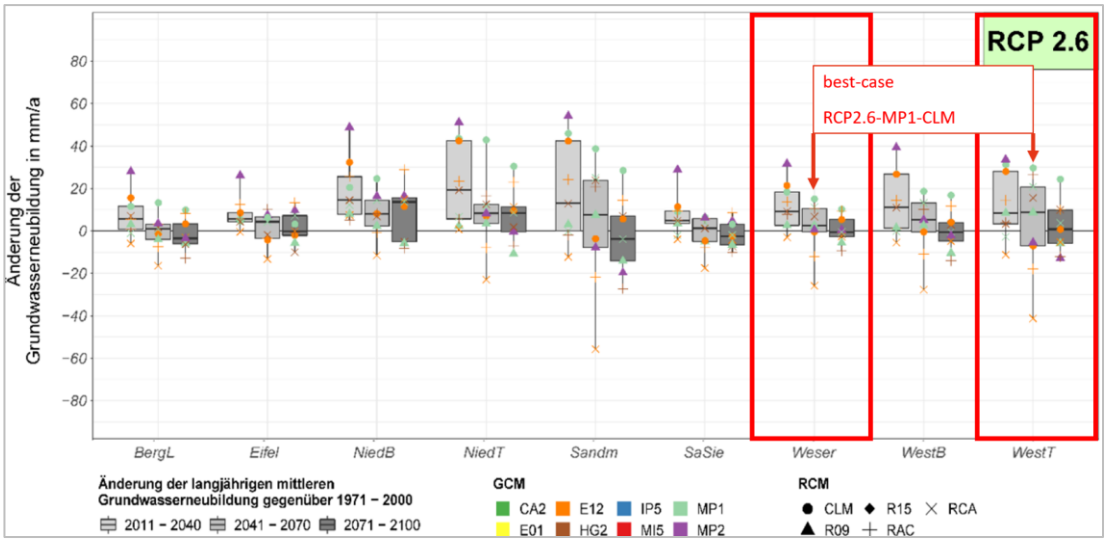


Abb. 6.4: Boxplots der Änderungssignale der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung im RCP Teilensemble RCP2.6 („2 Grad Weg“) und den drei zukünftigen 30-Jahre-Perioden in den hydrogeologischen Großlandschaften. Fette Linien in den Boxen kennzeichnen die Mediane, die Boxen begrenzen den Interquartilsabstand, d. h. 50 % der Werte, aus HERMANN et al, 2021a

Wie oben erwähnt, soll in der Pilotstudie die Grundwasserneubildung als Eingangsgröße zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots für die nahe Zukunft (2031-2060) ermittelt werden. Entsprechend wurde die diesem Zeitraum am nächsten kommende 30-Jahre-Periode 2041-2070 aus der Boxplot-Abbildung betrachtet.

Der best-case im Westfälischen Tiefland im Zeitraum 2041-2070 wird der Abb. 6.4 zufolge durch das Szenario RCP2.6-MP1-CLM (Szenario RCP2.6, Globalmodell MPI-M-MPI-ESM-LR, Lauf 2, Regionalmodell CCLM 4-8-17; türkisfarbener Kreis) abgedeckt. Dieses liefert eine Änderung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung von +30 mm/a. Der best-case für den südlichen Teil des Kreises Minden-Lübbecke, der im Weserbergland gelegen ist, wird der Boxplot-Abbildung zufolge ebenfalls durch dieses Szenario abgedeckt. Die Änderung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung beträgt hier +15 mm/a.

Die Auswahl, der anhand der Boxplots gewählten Szenarien, wird in Kapitel 6.2.3.5 anhand der Steckbriefe der Projektionen näher diskutiert.

Analog sind die Änderungen der Grundwasserneubildung als Boxplots für den „fossilen Weg, RCP8.5, in der Abb. 6.5 dargestellt. Die roten Kästen umrahmen die Daten für das Weserbergland (links) und das Westfälische Tiefland (rechts). Mit rotem Pfeil markiert ist jeweils das gewählte **worst-case**-Szenario, also das Szenario mit der höchsten Verringerung der Grundwasserneubildung.

Der worst-case wird in den relevanten hydrogeologischen Großlandschaften, Westfälischen Tiefland und Weserbergland, im Zeitraum 2041-2070 mit dem Szenario R85-MI5-CLM (Szenario RCP8.5, Globalmodell MIROC-MIROC5, Lauf 1, Regionalmodell CCLM 4-8-17; roter Kreis) abgebildet. Die Änderung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung beträgt im Westfälischen Tiefland -45 mm/a und im Weserbergland -25 mm/a (HERMANN et al, 2021a).

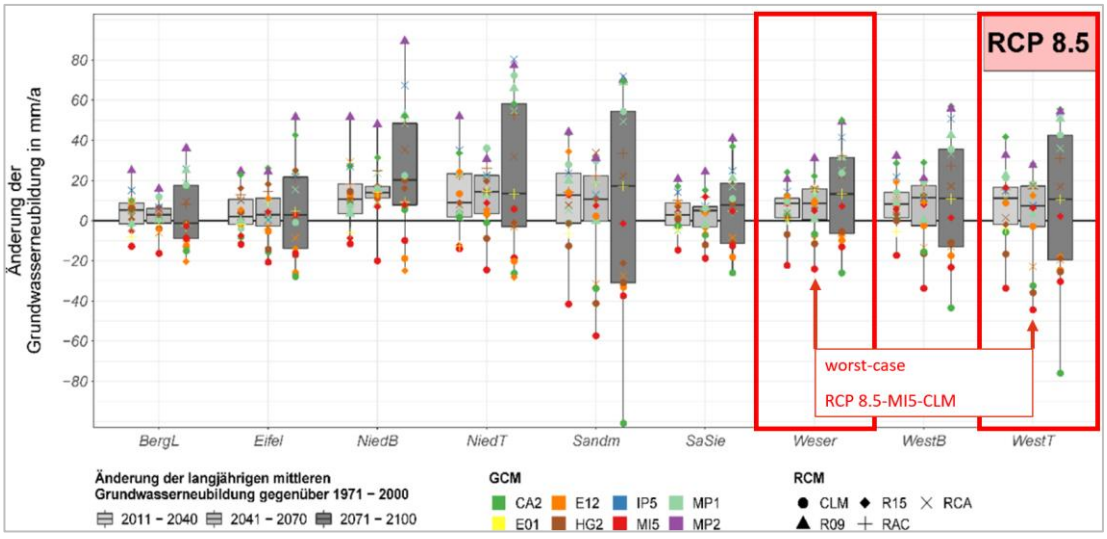


Abb. 6.5: Boxplots der Änderungssignale der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung im RCP Teilensemble RCP8.5 („der fossile Weg“) und den drei zukünftigen 30-Jahre-Perioden in den hydrogeologischen Großlandschaften. Fette Linien in den Boxen kennzeichnen die Mediane, die Boxen begrenzen den Interquartilsabstand, d. h. 50 % der Werte, aus HERMANN et al, 2021a

In der Abb. 6.6 sind die projizierten Änderungssignale der Teilensemble räumlich verteilt für die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens und die nahe Zukunft, 2041-2070, gegenüber der historischen Referenzperiode abgebildet. Die anhand der Boxplots zur Abdeckung der Bandbreite der künftigen Neubildung gewählten Projektionen für den best- und den worst-case sind rot umrandet. Unter den einzelnen Projektionen sind die Änderungssignale für den Bereich des Kreises Minden-Lübbecke im Westfälischen Tiefland (Zahl vor der Klammer) und den Bereich im Weserbergland (Zahl in der Klammer) aus Abb. 6.4 und Abb. 6.5 angegeben.

Hier wird deutlich, dass die Projektion RC26-MP1-CLM für das Szenario RCP2.6 und die nahe Zukunft im Vergleich zu den anderen Projektionen dieses Szenarios die größte positive Änderung der Grundwasserneubildung mit sich bringt. Dies gilt für den Großteil der Fläche des Kreises Minden-Lübbecke.

Andere Projektionen, wie R26-E12-RCA (in blau umrandet), führen zu flächenhaft deutlich negativen Änderungssignalen der Neubildung und zeigen damit, dass es sich bei der gewählten Projektion um das positive Extremum handelt und dass auch dazu konträre Änderungen der Grundwasserneubildungsmengen oder auch gleichbleibende Grundwasserneubildungen möglich sind.

Ebenso ist in der Abb. 6.6 die ermittelte worst-case Projektion R85-MI5-CLM rot umrandet. Diese zeigt deutlich die flächenhafte Absenkung der künftigen Neubildung für Nordrhein-Westfalen und damit auch den Kreis Minden-Lübbecke. Völlig gegenteilig zeigt sich beispielsweise die blau umrandete Projektion R85-MP2-R09, die flächenhaft eine Zunahme der Grundwasserneubildung projiziert. Diese Zunahme liegt im Weserbergland sogar deutlich über der Zunahme des best-case-Szenarios R26-MP1-CLM. Die Änderungssignale der übrigen Projektionen des Szenarios RCP8.5 liegen zwischen diesen zwei Extrema.

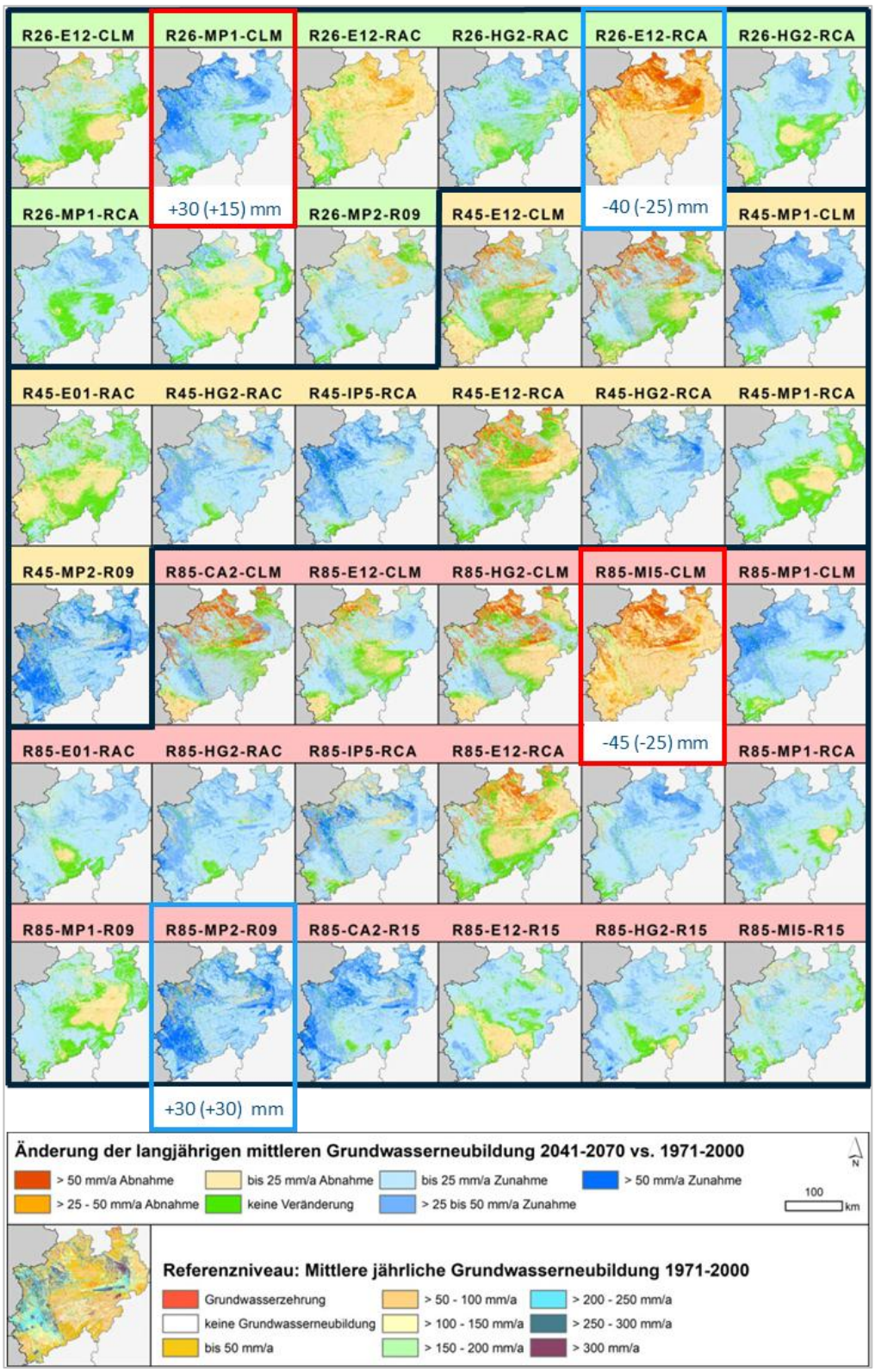


Abb. 6.6: Räumlich verteilte Änderungssignale der projizierten Grundwasserneubildung (2041-2070 vs. 1971-2000). Das RCP2.6-Teilensemble ist grün hinterlegt und das RCP8.5-Teilensemble ist rot hinterlegt. Rot umrandet: die gewählten Projektionspfade zur Begrenzung der Bandbreite; blau umrandet: Projektionspfade gegenteiliger Änderungssignale. Aus LANUV, 2021

Bei einer möglichen Übertragung auf die gesamte Landesfläche Nordrhein-Westfalens im Nachgang dieses Pilotprojekts wäre die getroffene Auswahl der RCP-GCM-RCM-Kombinationen für die ganze Fläche, d.h. überwiegend alle anderen hydrogeologischen Großlandschaften, die jeweils günstigste bzw. ungünstigste Modellkette für die nahe Zukunft. Dies wird sowohl in den Boxplot-Abbildungen Abb. 6.4 und Abb. 6.5 deutlich, als auch in der Übersicht der räumlich verteilten Änderungssignale in Abb. 6.6.

6.2.3.5 Steckbriefe

Aus den Ergebnissen der Ensembleprojektionen wurden Steckbriefe erstellt. Diese zeigen für die jeweils neun hydrogeologischen Großlandschaften in Nordrhein-Westfalen Ergebnisse und Statistiken zu jeweils einem potenziellen Entwicklungspfad der Grundwasserneubildung von 1971 bis 2100. Die Steckbriefe zu den drei oben gewählten Projektionen sind diesem Bericht in **Anhang 5** (RCP2.6-MP1-CLM / Westfälisches Tiefland), **Anhang 6** (RCP8.5-MP2-R09/ Weserbergland), **Anhang 7** (RCP8.5-MI5-CLM / Westfälisches Tiefland) und **Anhang 8** (RCP8.5-MI5-CLM / Weserbergland) beigefügt. Dargestellt sind Zeitreihen der jährlichen Grundwasserneubildung, Kartendarstellungen der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung in den 30-Jahre-Perioden und die jeweiligen ermittelten Änderungssignale der Neubildung. Weiterhin finden sich in den Steckbriefen Dauerlinien, die sich durch Sortierung und Nummerierung der Jahressummen der Grundwasserneubildung ergeben. Daraus lässt sich ablesen, in wie vielen Jahren ein bestimmtes Niveau der Grundwasserneubildung über- oder unterschritten wird. In der je untersten Zeile der Steckbriefe sind farbcodierte Darstellungen der aggregierten Änderungssignale dargestellt, die aussagen, ob eine signifikante Änderung in der Zeitreihe nachgewiesen wurde.

Der in **Anhang 5** (RCP2.6-MP1-CLM) beigefügte Steckbrief zeigt u. a., dass der langjährige Mittelwert der gewählten 30-Jahre-Periode (2041-2070) über dem Referenzmittelwert liegt. Die Veränderungen der langjährigen Mittelwerte von 1971-2000 zu 2041-2070 sind im Westfälischen Tiefland durchweg positiv und liegen im Bereich von 0 bis 75 mm/a. Die Betrachtung aller Steckbriefe für das RCP2.6-Szenario zeigt, dass die gewählte Projektion RCP2.6-MP1-CLM für den Großteil der Fläche des Kreises Minden-Lübbecke das feuchteste Szenario zeigt. Für den südlichen Randstreifen des Kreises bzw. den nördlichen Bereich des Weserberglandes zeigt jedoch die Projektion R85-MP2-R09 noch eine etwas größere Zunahme der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung in der nahen Zukunft. Daher wird für diesen Teil des Kreises die Projektion R85-MP2-R09 (Szenario RCP8.5, Globalmodell MPI-M-MPI-ESM-LR, Lauf 2, Regionalmodell REMO2009) als best-case gewählt. Der entsprechende Steckbrief ist in **Anhang 6** beigefügt.

Eine signifikante Änderung liegt in der Projektion RCP2.6-MP1-CLM in der nahen Zukunft in fünf hydrogeologischen Großräumen vor, wobei in vier eine Zunahme der Grundwasserneubildung erwartet wird und in einem eine Abnahme. Für die anderen vier Großräume wurde keine signifikante Änderung in der Zeitreihe nachgewiesen. In der Projektion R85-MP2-R09 liegt eine signifikante Änderung in der nahen Zukunft in acht hydrogeologischen Großlandschaften vor, wobei in sieben Großlandschaften eine Zunahme um 15 bis 45 mm/a erwartet wird, in einer eine Zunahme von >45 mm/a. Wie in Kap. 6.2.3.4 beschrieben, ist jedoch keine der Projektionen robust, d.h. die Trends im Ensemble zeigen nicht mehrheitlich in dieselbe Richtung.

Der Steckbrief für die Projektion RCP8.5-MI5-CLM im Westfälischen Tiefland, **Anhang 7** zeigt, dass der langjährige Mittelwert in der nahen Zukunft (2041-2070) unter dem Referenzmittelwert liegt. Die Veränderungen der langjährigen Mittelwerte von 1971-2000 zu 2041-2070 sind durchgehend negativ und liegen im Bereich von 0 bis -125 mm/a. Die übrigen Steckbriefe für das RCP8.5-Szenario wurden ebenfalls geprüft in Hinblick auf den worst-case für die gesamte Fläche des Kreises Minden-Lübbecke. Der worst-case der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung in der nahen Zukunft wird im südlichen Teil des Kreises, der in der Großlandschaft Weserbergland gelegen ist, ebenfalls durch die Projektion RCP8.5-MI5-CLM beschrieben. Der Steckbrief hierzu ist in **Anhang 8** beigefügt.

Signifikante Änderungen der Zeitreihen wurden in dieser Projektion in der nahen Zukunft in sieben Großlandschaften nachgewiesen. Aber auch hier gilt, dass keine der Projektionen im Ensemble robust ist.

6.2.3.6 Fazit

Zur Abdeckung der möglichen Bandbreite der künftigen langjährigen mittleren Grundwasserneubildung wurde aus den mittels der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA projizierten Entwicklungspfaden der **best-case** für das Szenario RCP2.6 („Klimaschutz-Szenario“ bzw. „der 2 Grad Weg“) für das Westfälische Tiefland und für das Szenario RCP8.5 („der fossile Weg“ bzw. „weiter-wie-bisher“) für das Weserbergland ermittelt. Der **worst-case** wurde sowohl für das Westfälische Tiefland als auch für das Weserbergland für das Szenario RCP8.5 („der fossile Weg“ bzw. „weiter-wie-bisher“) ermittelt.

Die ermittelten Projektionen R26-MP1-CLM und R85-MP2-R09 führen zu Änderungen der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung von +30 mm/a für das Westfälische Tiefland sowie auch für das Weserbergland und die Projektion R85-MI5-CLM zu einer Änderung von -45 mm/a für das Westfälische Tiefland und -25 mm/a für das Weserbergland.

Die Gesamtheit der Projektionen je Klimaszenario wurde anhand von Trendauswertungen und statistischer Signifikanzprüfungen für Nordrhein-Westfalen als nicht robust deklariert (LANUV, 2021), da die Trends der Ensembles nicht mehrheitlich in dieselbe Richtung zeigen. Die Gegenüberstellung der Projektionen der drei Szenarien aus Kap. 6.2.3.4 macht dies aufgrund der Streuung der Ergebnisse besonders deutlich. Bei den herausgesuchten Entwicklungspfaden handelt es sich je um Extrema. Andere Projektionen zeigen gegenteilige Entwicklungen und das Groß der jeweiligen Projektionen zeigt eine geringfügige Änderung der Grundwasserneubildung nahe um 0 mm/a.

Somit wird langfristig eher eine Grundwasserneubildung auf historischem Niveau prognostiziert. Es wird aber auch dazu geraten, extreme Entwicklungspfade einzubeziehen. Daher sollten Klimawandelszenarien nicht für die Festlegung des nutzbaren Grundwasserdargebots verwendet werden. Im Konzept werden die drei detailliert betrachteten Szenarien zum best-case und worst-case sowie der Median des Klimaszenariums RCP4.5 (middle-case) als Vergleichswerte zum aktuellen Grundwasserdargebot angegeben und können so Hinweise über eine mögliche zukünftige Ausnutzung des Grundwasserdargebots geben.

6.3 Infiltration aus Oberflächengewässern

In der Regel nehmen Vorfluter Wasser aus dem Grundwasser auf und wirken somit exfiltrierend auf das Grundwasser. Es kann allerdings sein, dass der Wasserstand im Vorfluter höher ist als im Grundwasser und somit Wasser aus dem Vorfluter in das Grundwasser infiltriert. Mögliche Ursachen dafür sind

+ die Art des Höhenverlauf des Gewässerbettes,
+ Hochwasserereignisse nach Starkregen (temporär),
+ aufgestaute Bereiche im Oberwasser von Stauanlagen,
+ Gebiete, in denen das Grundwasserdargebot nicht allein aus Grundwasserneubildung gedeckt werden kann oder
+ Bereiche mit größeren Grundwasserentnahmen im Nahbereich von Oberflächengewässern, in denen dann Uferfiltrat entnommen wird.

Aus Vorflutern in das Grundwasser infiltrierendes Wasser kann ggf. dem Grundwasserdargebot zugerechnet werden. Es gilt Bereiche zu identifizieren, in denen dies möglicherweise auftritt und die Infiltration zu quantifizieren.

Im Untersuchungsgebiet gibt es große Bereiche mit negativer Grundwasserneubildung, in denen also der Anteil an Grundwasserzehrung größer ist als der Anteil der Grundwasserneubildung. Oft sind dies Bereiche, in denen das Grundwasser vergleichsweise oberflächennah ansteht und zahlreiche Oberflächengewässer vorhanden sind, z. B. in den Bilanzräumen *Große Aue Lockergestein links und rechts*, *Große Aue Lockergestein im Süden 1 und 2* sowie in den Niederungen des Großen Torfmoors und der Bastauwiesen im Bilanzraum *Weser Lockergestein links 3.* Weitere Bereiche mit hoher Grundwasserzehrung befinden sich im Nordosten des Untersuchungsgebiets im Bereich der Weserniederung sowie entlang der Else und einiger weiterer Oberflächengewässer im Bilanzraum *Nördliche Herforder Mulde 3.*

Oft befinden sich in den Gebieten mit Grundwasserzehrung auch vermehrt Stauanlagen. Bereiche mit Grundwasserentnahmen aus Uferfiltrat befinden sich im Nahbereich der Weser bei Minden, Bad Oeynhausen und Vlotho, im Nahbereich der Else bei Kirchlengern und Bünde sowie an der Werre bei Herford. Die Bereiche mit Grundwasserzehrung, Uferfiltrat und die Standorte von regelbaren Stauanlagen im Untersuchungsgebiet sind in **Anlage 19** dargestellt. In allen diesen Bereichen ist eine Infiltration von Oberflächenwasser in das Grundwasser möglich.

Exemplarisch wird einer dieser Bereiche, nämlich der Bereich der Großen Aue (Bilanzräume *Große Aue Lockergestein links* und *rechts*) genauer geprüft. In Abb. 6.7 ist dieser Bereich mit den relevanten Fließgewässern sowie der Grundwasserneubildung im Istzustand dargestellt. Rote und braune Flächen zeigen dabei die großflächig vorhandene Grundwasserzehrung in diesen Bilanzräumen. Im Jahresmittel beträgt die Grundwasserneubildung im Bilanzraum *Große Aue Lockergestein rechts* 20,0 mm/a mm und im Bilanzraum *Große Aue Lockergestein links* 5,2 mm.

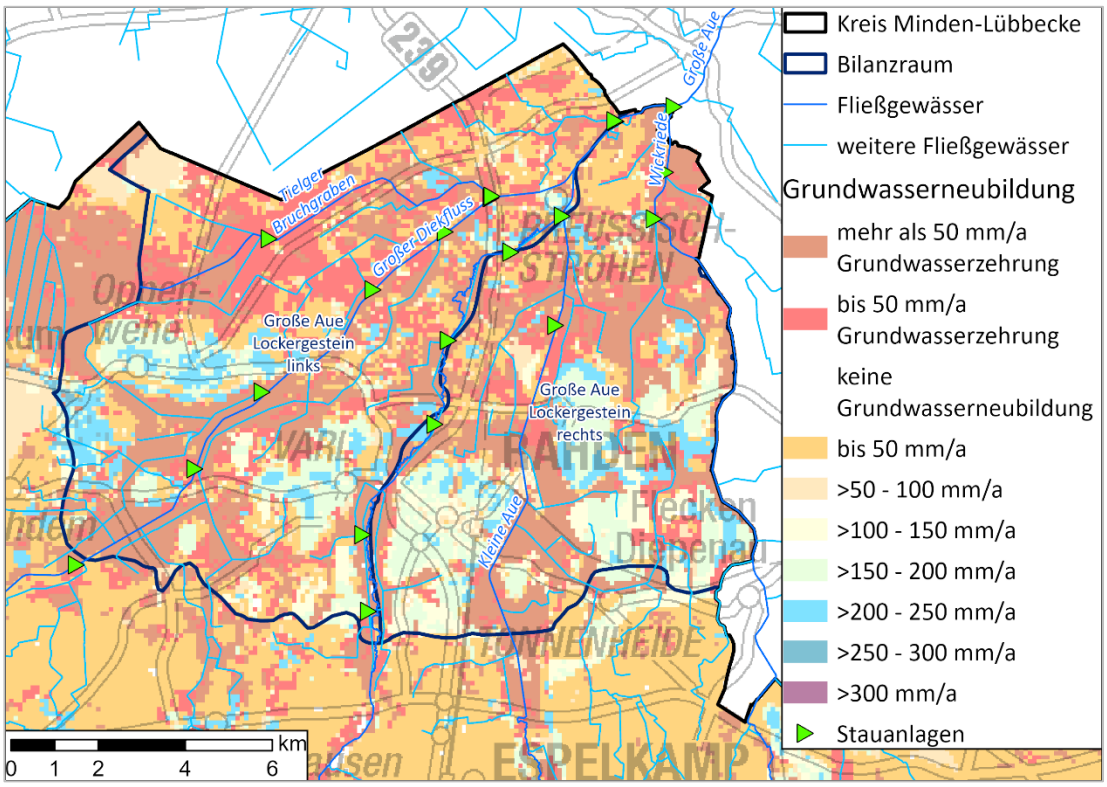


Abb. 6.7: Bilanzräume Große Aue Lockergestein links und rechts mit relevanten Fließgewässern und Grundwasserneubildung im Istzustand.

Eine Auswertung der langjährigen Monatsmittel der Grundwasserneubildung in den beiden Bilanzräumen zeigt, dass in beiden Bilanzräumen über den Sommer für einen Zeitraum von insgesamt fünf Monaten von Mai bis September die Grundwasserzehrung überwiegt, so dass die Gesamtbilanz in den Bilanzräumen in diesen Monaten negativ ist. Nur in den Wintermonaten von Oktober bis April überwiegt die Grundwasserneubildung und die Gesamtbilanz ist positiv (siehe Abb. 6.8).

Da die Grundwasserneubildung in den Bilanzräumen im Jahresmittel vergleichsweise gering ist, wird geprüft, ob hier ggf. eine Infiltration aus Oberflächengewässern vorliegt, um das Defizit auszugleichen. Zur Bestimmung der Infiltration aus Oberflächengewässern ist die Kenntnis der Oberflächenwasserstände und der Grundwasserstände in dem zu untersuchenden Gebiet sowie von Bauwerken, die den Wasserstand beeinflussen, erforderlich.

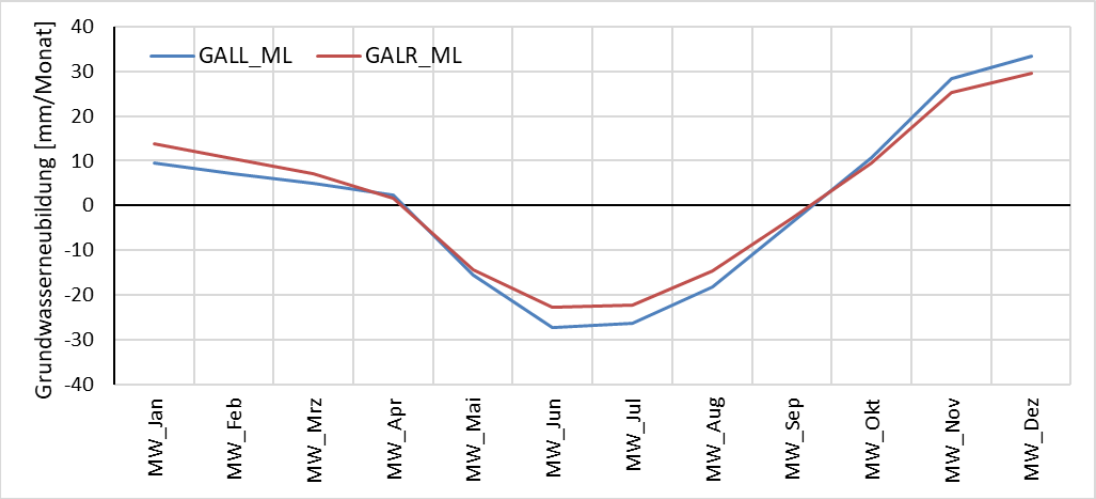


Abb. 6.8: Zeitreihe der langjährigen Monatsmittelwerte der Grundwasserneubildung in den Bilanzräumen Große Aue Lockergestein links und rechts

Das Gebiet Große Aue mit den Oberflächengewässern Große Aue, Kleine Aue, Großer Diekfluss, Wickriede und einigen Nebengewässern ist in den 70er Jahren systematisch entwässert worden. Es sollte aber trotzdem die Möglichkeit bestehen, im Bedarfsfall auch Wasser zurückhalten zu können. Daher sind insgesamt 21 Kulturstaue errichtet worden, die zum Großteil als regelbare Staue mit Segmentschützen eingerichtet worden sind (siehe **Anlage 20**).

An Stau 1 wurden zusätzlich Pegel im Ober- und Unterwasser eingerichtet, so dass der Wasserstand der Großen Aue oberhalb und unterhalb des Kulturstaus 1 gemessen werden kann. Die Daten dazu werden vom Wasserverband Große Aue online für die jeweils letzten 3 Jahre verwaltet. Weitere Oberflächenwasserpegel liegen in dem Gebiet nicht vor. Es wurden lediglich an 15 der 21 Staue Stauziele festgelegt, die möglicherweise als Hinweis für den Oberflächenwasserstand herangezogen werden können. Die Staue werden im Jahresverlauf nicht immer überströmt und sind zudem regelbar. Ob und wenn ja wie diese Staue geregelt werden, ist nicht bekannt. Daher ist die Verwendung der Stauziele als Oberflächenwasserstände mit Unsicherheiten behaftet.

Insgesamt sind 61 Grundwassermessstellen in den beiden Bilanzräumen lokalisiert. Von diesen liegen acht in der Nähe von Oberflächengewässern und Staustandorten, so dass sie als Vergleichsmessstellen herangezogen werden können. Weiterhin liegt flächendeckend die modellierte mittlere Grundwasseroberfläche vor (siehe Kap. 5.1). Das Modell wurde inzwischen überarbeitet und verbessert, die Ergebnisse aber noch nicht geprüft und freigegeben, so dass hier die ursprüngliche Version der Grundwasseroberfläche verwendet wurde.

In Tab. 6.3 sind die Kulturstaue mit deren Stauzielen und zum Vergleich mit der mittleren Grundwasseroberfläche, dem mittleren Grundwasserstand der jeweils nächstgelegenen Grundwassermessstelle(n) im Zeitraum 2005-2016 und der umliegenden Geländehöhe aufgeführt. Für den Stau 13 liegen keine mittlere Grundwasseroberfläche und Geländehöhen vor, da dieser Stau nördlich des Kreises Minden-Lübbecke bereits auf niedersächsischem Gebiet liegt. Den Stauen 16 bis 21 sind keine Stauziele zugewiesen worden, obwohl auch sie mit Ausnahme von Stau 20 regelbar sind.

Die Spalte „Differenz Stauziel / Grundwasseroberfläche“ zeigt, dass mit Ausnahme von Standort 1 an allen Standorten die mittlere modellierte Grundwasseroberfläche niedriger bis deutlich niedriger liegt als die Stauziele. Die Differenzen variieren von 0,44 m bis 2,34 m. An Standort 1 liegt sie mit einer Differenz von 0,1 m geringfügig höher. Wenn Oberflächengewässer mit dem Grundwasser interagieren, ist eine geringe Differenz zwischen dem Oberflächenwasserstand und dem Grundwasserstand zu erwarten.

Ist der Grundwasserstand höher als der Wasserstand im Oberflächengewässer, wird das Grundwasser in das Oberflächengewässer exfiltrieren, ist der Grundwasserstand geringer, infiltriert das Oberflächengewässer in das Grundwasser. Dabei können Differenzen von 0 bis 0,5 m im Tiefland als plausibel eingestuft werden. Größere Differenzen sind unplausibel bzw. deuten, wenn der Grundwasserstand geringer ist als der Oberflächenwasserstand, darauf hin, dass das Oberflächengewässer keinen Grundwasserkontakt hat.

Im Gebiet Große Aue wurden Staue ursprünglich eingerichtet, um die umliegenden Flächen zu entwässern und die Entwässerung steuern zu können. Es ist daher anzunehmen, dass die Stauziele keine Hochwasserstände repräsentieren, sondern eher mittlere Wasserstände. Zudem ist aufgrund der Anwesenheit der Staue davon auszugehen, dass alle Oberflächengewässer Grundwasserkontakt aufweisen. Daher ist an den meisten Standorten die modellierte mittlere Grundwasseroberfläche als unplausibel einzustufen.

Nr	Gewässer / nahegelegene GWMS (wenn vorhanden)	Stauziel [m NHN]	Mittlere GWO (2006-2015) [m NHN]	Mittlerer Gwsp (2006-2015) [m NHN]	Differenz Stauziel / GWO [m]	umliegende Geländehöhe [m NHN]	Differenz Geländehöhe / Stauziel [m]
1	Große Aue / AU 103T STROEHEN	36,00	36,10	37,22	-0,10	37,11	1,11
2	Große Aue / AU 214T LEDERBUR	37,70	36,48	37,68	1,22	38,27	0,57
3	Große Aue	38,45	37,19		1,26	39,02	0,57
4	Große Aue	39,20	38,31		0,89	39,50	0,30
5	Große Aue	40,00	39,31		0,69	40,20	0,20
6	Große Aue	40,50	40,06		0,44	41,09	0,59
7	Kleine Aue / AU 203A Hoyererort	37,90	36,06	38,22	1,84	37,49	-0,41
8	Kleine Aue / WE 19 WEHE WE 21 WEHE	38,95	36,61	38,28 38,12	2,34	39,00	0,05
9	Großer Diekfluss / AU212 HARTLAGE	38,00	36,10	37,17	1,90	37,99	-0,01
10	Großer Diekfluss / AU 324 SIELHORST	39,00	36,94	37,87	2,06	39,04	0,04
11	Großer Diekfluss / AU512 SATLAGE	39,63	38,25	39,40	1,38	40,00	0,37
12	Großer Diekfluss	40,80	38,86		1,94	40,60	-0,20
13	Wickriede	36,46	%			%	
14	Wickriede	37,44	36,22		1,22	38,41	0,97
15	Wickriede	38,00	36,68		1,32	38,40	0,40
16	Tielger Bruchgraben	%					
17	NG Großer Diekfluss	%					
18	NG Großer Diekfluss	%					
19	NG Große Aue	%					
20	Großer Diekfluss	%					
21	Tielger Bruchgraben	%					

Tab. 6.3: Kulturstaue im Bereich Große Aue

Da an Stau 1 zwei Oberflächenwasserstandsmessungen vorliegen, wird dieser Standort detailliert betrachtet. In Abb. 6.9 sind die Ganglinien der Großen Aue im Ober- und Unterwasser von Stau 1 sowie der nächstgelegenen Grundwassermessstelle AU 103T STROEHEN, die sich etwa 200 m nördlich des Staustandortes befindet, dargestellt. Zusätzlich sind die Höhen des umliegenden Geländes, der mittleren Grundwasseroberfläche im Zeitraum 2006-2015 und das Stauziel eingezeichnet. Da Daten von der Großen Aue und der Grundwassermessstelle nur im Zeitraum 01.08.2022 bis 31.12.2023 zeitgleich vorliegen, ist nur dieser Zeitraum dargestellt.

Zwischen Ober- und Unterwasser an Stau 1 liegt in diesem Zeitraum im Mittel eine Differenz von 0,89 m vor. Die Differenz liegt zwischen 0,00 und 1,26 m. Das Stauziel wird im Oberwasser an 207 Tagen in diesem 515 Tage langen Zeitraum unterschritten, im Unterwasser an 493 Tagen. Der Grundwasserstand am Standort AU 103T STROEHEN liegt im dargestellten Zeitraum im Mittel bei 37,01 m NHN und damit etwa 1,6 m höher als die mittlere Grundwasseroberfläche.

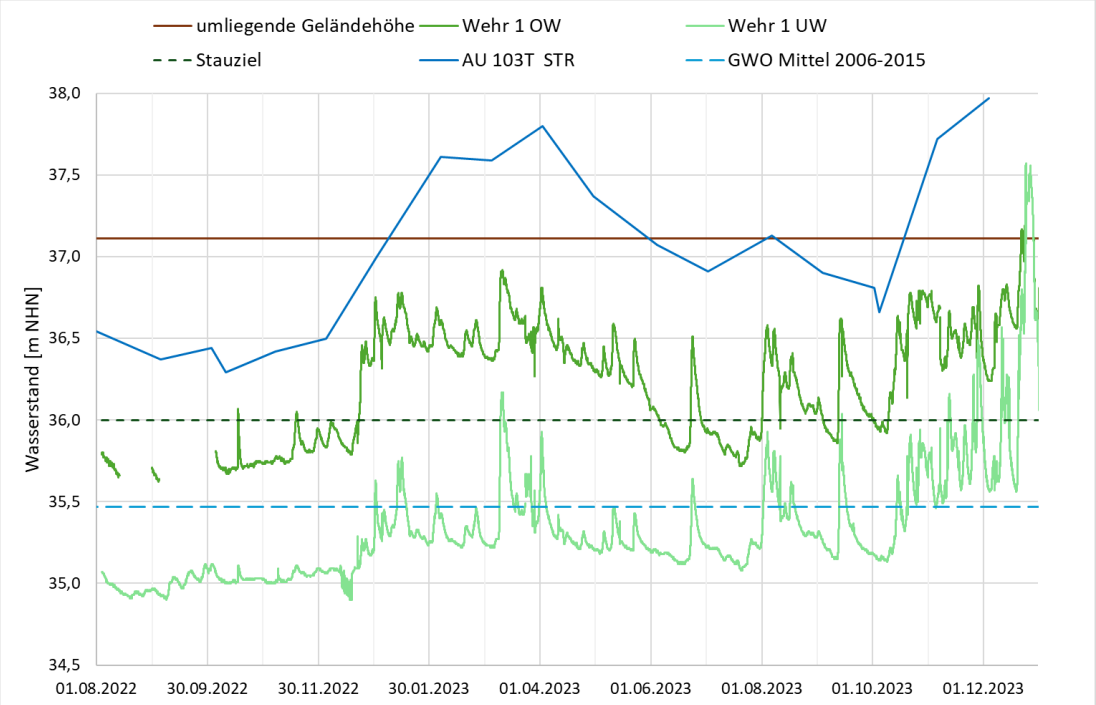


Abb. 6.9: Ganglinien des Oberflächenwasserstands im Ober- und Unterwasser von Stau 1 sowie der nächstgelegenen Grundwassermessstelle AU 103T Ströhen

Ähnlich verhält es sich auch an den Grundwassermessstellenstandorten AU 214T LEDEBUR, AU 203A Hoyererort, WE 19 WEHE und WE 21 WEHE, die einen um 1,06 bis 2,19 m höheren mittleren Grundwasserstand im Zeitraum 2006-2015 aufweisen, als die modellierte mittlere Grundwasseroberfläche (siehe Tab. 6.3 und **Anlage 20**). Die Standorte AU 212 HARTLAGE, AU 324 SIELHORST und AU 512 SATLAGE, die in der Nähe von Stauanlagen am Großen Diekfluss lokalisiert sind, weisen mit Differenzen von -0,05 bis -0,02 m einen mittleren Grundwasserstand ähnlich der modellierten mittleren Grundwasseroberfläche auf.

Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die modellierte mittlere Grundwasseroberfläche im Zeitraum 2006-2015 für die Bestimmung der genauen Grundwasserstände sowie auch die Stauziele als Ersatz für Oberflächenwasserstandsmessungen nicht verlässlich sind. Die Anzahl der vorhandenen Oberflächenwassermessstellen sowie auch der Grundwassermessstellen reichen im Großteil des zu untersuchenden Bereichs nicht aus, um verlässliche Aussagen zur Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser zu treffen. Insbesondere eine Quantifizierung der Menge ist mit der vorhandenen Datenlage nicht möglich. Hierfür wären an jedem Staustandort Messungen des Ober- und Unterwassers sowie des Grundwasserstands im Nahbereich des durch den Stau aufgestauten Oberflächengewässers erforderlich. Zudem müssten die Betriebsdaten der Staue bekannt sein.

Es ist wahrscheinlich, dass in anderen Bereichen des Untersuchungsgebiets die Datenbasis ähnlich ist wie die im Bereich der Großen Aue. Daher kann eine Infiltration aus Oberflächengewässern in das Grundwasser im Konzept zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve aufgrund der vorliegenden Datenbasis nicht berücksichtigt werden.

Mit dem Modell, mit dem die Grundwasseroberfläche bestimmt wurde, könnte eine Quantifizierung der möglichen Infiltration vorgenommen werden. Aufgrund der festgestellten Abweichungen der gemessenen Grundwasserstandsdaten zur modellierten Grundwasseroberfläche ist aber eine Überarbeitung des Modells und Verdichtung der Details in dem zu untersuchenden Gebiet erforderlich. Nach Auskunft des LANUK NRW wurde das Modell zwischenzeitlich überarbeitet. Allerdings konnten die Ergebnisse noch nicht abschließend geprüft werden, so dass sie noch nicht veröffentlich wurden. Da die Pegeldichte allerdings vermutlich ähnlich ist, wie in der veröffentlichen Version, sind hinsichtlich der Bewertung der Infiltration aus Oberflächengewässern vermutlich keine aussagekräftigeren Ergebnisse zu erwarten.

6.4 Direktabflusskomponenten

Für die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots werden verschiedene Komponenten des Wasserhaushalts berücksichtigt. Zum einen werden diese als Grundwasserdargebot betrachtet und zum anderen als Minderungen und Beeinflussungen des nutzbaren Grundwasserdargebots, um z. B. naturschutzfachliche Belange zu berücksichtigen. So wird das Grundwasserdargebot über die Grundwasserneubildung bestimmt, die mit dem Modell mGROWA (siehe Kap. 6.1) berechnet wurde. Weiterhin wird das Grundwasserdargebot gemindert, um den Mindestabfluss in den Oberflächengewässern decken zu können (siehe Kap. 7.2).

Die verschiedenen Wasserhaushaltskomponenten stehen teilweise in Abhängigkeit voneinander oder beeinflussen sich gegenseitig. So wird bei der Berechnung der Grundwasserneubildung auch ein Teil Oberflächenwasserabfluss generiert. Dieser könnte ggf. einen Teil des Mindestwasserabflusses decken und somit die Minderung des nutzbaren Grundwasserdargebots verringern. Im Folgenden werden anhand der Direktabflusskomponenten im Kreis Minden-Lübbecke die Zusammenhänge erläutert und erörtert, ob diese Verringerung der Minderung vorgenommen werden kann.

In mGROWA wird der Gesamtabfluss aus der ungesättigten Bodenzone bestimmt. Von diesem Gesamtabfluss wird ein Teil über den kapillaren Aufstieg wieder in die ungesättigte Bodenzone transportiert. Für den verbleibenden Teil wird eine Abflussseparation vorgenommen. Hier wird das Wasser in Grundwasserneubildung, welche dem Grundwasser zugeführt wird, und Direktabfluss, welcher dem Oberflächenwasser zugeführt wird, aufgeteilt. Das bedeutet, dass bereits bei der Berechnung der Grundwasserneubildung ein Teil des Wassers in das Oberflächenwasser abgegeben wird. Es gilt auszuwerten, ob dieses Wasser zur Deckung des Mindestwasserabflusses geeignet ist.

Der Mindestwasserabfluss stellt den Abfluss dar, der die Zielerreichung der Wasserrahmenrichtlinie hinsichtlich Verschlechterungsverbot und Verbesserungsgebot ermöglichen soll. Für den Mindestwasserabfluss wird das langjährige Mittel der niedrigsten Jahresabflüsse zugrunde gelegt. Daher ist davon auszugehen, dass dieser auch natürlicherweise in einzelnen Jahren unterschritten wird. Somit ist für einen Ersatz des Mindestwasserabflusses sicherzustellen, dass dieser Ersatz ganzjährig zur Verfügung steht und auch in den Niedrigwasserperioden in den Vorflutern ansteht.

Der Direktabfluss wird in mGROWA in drei Komponenten unterteilt. Diese sind der Urbane Direktabfluss, der Zwischenabfluss und der Drainageabfluss.

+ Der Urbane Direktabfluss entsteht in der Regel nach Niederschlagsereignissen. Das Niederschlagswasser gelangt direkt oder über Niederschlagswasserkanalisation in die Vorfluter. Die Verzögerung zwischen Niederschlag und Eintritt in den Vorfluter ist in der Regel gering. Ebenso gering ist die Verzögerung nach Ende des Niederschlages, nach der kein Wasser mehr in den Vorfluter eingeleitet wird. Da der Urbane Direktabfluss somit nicht zeitlich unabhängig ganzjährig zur Verfügung steht, scheint er eher ungeeignet, um den Mindestwasserabfluss teilweise zu ersetzen.

+ Der Zwischenabfluss ist ein nach Niederschlagsereignissen erhöhter Abfluss in den Vorflutern. Die Abflussbildung ist langsamer als beim Urbanen Direktabfluss, so dass es zu einer Verzögerung zwischen Niederschlagsbeginn und -ende sowie Abflussbeginn und -ende kommt. Auch der Zwischenabfluss ist an den Niederschlag gekoppelt und liegt somit vermutlich nicht zeitlich unabhängig und ganzjährig vor.

+ Der Drainageabfluss kann durch Entwässerung von Gebieten ggf. grundwassergespeist sein und somit kontinuierlich vorliegen. Damit ist er potenziell geeignet, den Mindestwasserabfluss teilweise zu ersetzen.

Im Folgenden wird eine 30-jährige Zeitreihe mit Monatswerten der Direktabflusskomponenten aus mGROWA für Nordrhein-Westfalen ausgewertet. Die Zeitreihe umfasst die Jahre 1991-2020 und somit insgesamt 360 Raster mit Monatswerten in einer Auflösung von 100x100 m. Ziel der Auswertung war es, zu ermitteln, ob es signifikante Bereiche gibt, in denen über einen großen Zeitraum der langjährigen Datenreihe Direktabfluss entsteht.

Urbaner Direktabfluss

Für den Urbanen Direktabfluss wurde die Anzahl der Monate ermittelt, in denen in der 30-jährigen Zeitreihe Urbaner Direktabfluss vorlag. Die prozentuale Darstellung ist in Abb. 6.10 zu sehen. In ca. 16 % der Zellen bzw. der Kreisfläche liegt in jedem Monat der Zeitreihe Urbaner Direktabfluss vor. In einem weiteren Teil der Zellen liegt in über 95 % der Monate Urbaner Direktabfluss vor. Geringere Werte sind nicht vertreten. Die Verteilung deckt sich gut mit der Siedlungsfläche aus **Anlage 6**.

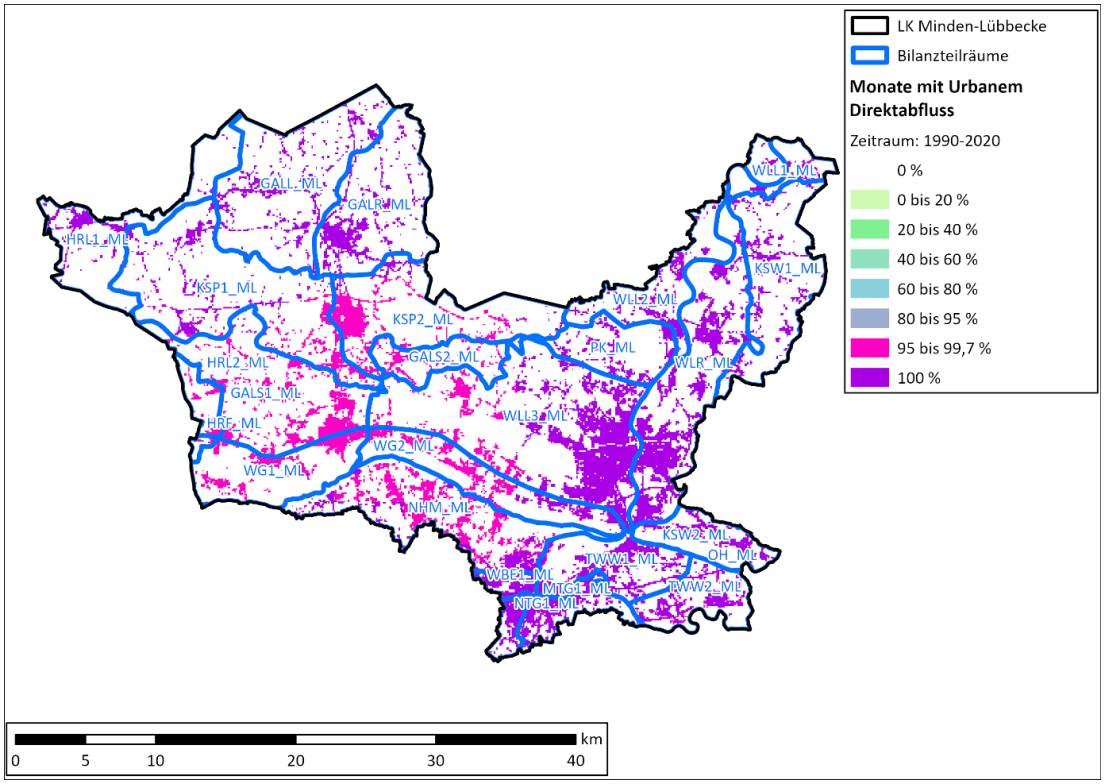


Abb. 6.10: Anteil der Monate mit urbanem Direktabfluss

Zwischenabfluss

Für den Zwischenabfluss ist die prozentuale Darstellung der Monate mit Zwischenabfluss in Abb. 6.11 zu sehen. In ca. 5 % der Zellen bzw. der Kreisfläche liegt in jedem Monat der Zeitreihe Zwischenabfluss vor. In einem weiteren Teil der Zellen liegt in über 95 % der Monate Zwischenabfluss vor. Geringere Werte sind mit 40 bis 95 % ebenfalls vertreten. Die Verteilung deckt sich, mit Ausnahmen, gut mit der Verbreitung von Kluftgrundwasserleitern aus **Anlage 10**.

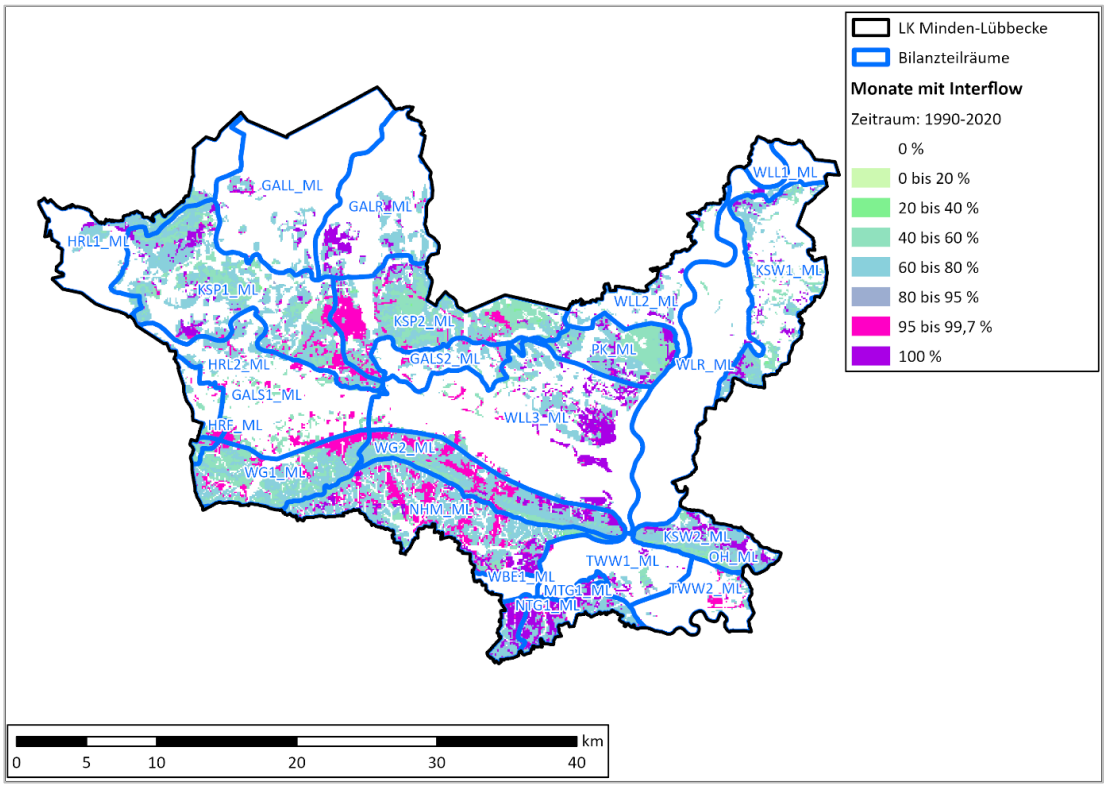


Abb. 6.11: Anteil der Monate mit Zwischenabfluss

Drainageabfluss

Der Drainageabfluss wird in mGROWA immer dann in den Gebieten aktiviert, in denen Drainagen vorhanden sind, wenn der Grundwasserstand oberhalb des Niveaus der Drainagen liegt. Für den Drainageabfluss ist die prozentuale Darstellung der Monate mit Drainageabfluss in Abb. 6.12 zu sehen. In ca. 0,7 % der Zellen bzw. der Kreisfläche liegt in jedem Monat der Zeitreihe Drainageabfluss vor. In einem weiteren sehr geringen Teil der Zellen liegt in über 95 % der Monate Zwischenabfluss vor. Geringere Werte sind mit 40 bis 95 % ebenfalls vertreten.

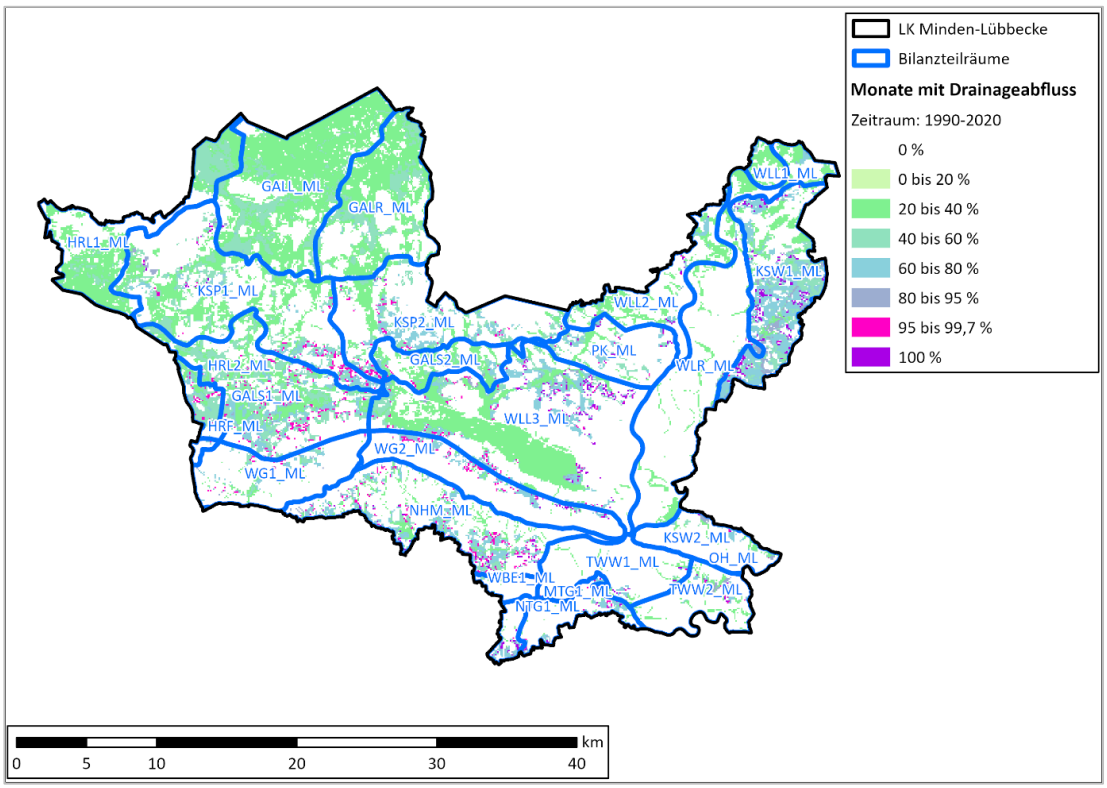


Abb. 6.12: Anteil der Monate mit Drainageabfluss

Zusammenfassung

Für die drei Direktabflusskomponenten wurde anhand der mGROWA-Daten ermittelt, ob sie zeitlich unabhängig und ganzjährig vorliegen und somit für einen teilweisen Ersatz des Mindestwasserabflusses geeignet sind. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass je kontinuierlicher und träger und somit geeigneter für einen Ersatz, der Abfluss ist, desto kleiner sind die Flächenanteile, auf denen in jedem Monat der 30-jährigen Zeitreihe Abfluss auftritt. So sind die Flächenanteile des schnellen Urbanen Direktabflusses größer als die des etwas trägeren Zwischenabflusses. Die Flächenanteile des trägen und vermutlich am kontinuierlichsten anstehenden Drainageabflusses sind mit unter 1 % der Kreisfläche sehr gering.

Im Rahmen des Konzepts werden Urbaner Direktabfluss und Zwischenabfluss aufgrund ihrer hohen zeitlichen Abhängigkeit von Niederschlagsereignissen nicht zum Ersatz des Mindestwasserabflusses verwendet. Der Drainageabfluss wird aufgrund der geringen Flächenanteile nicht zum Ersatz des Mindestwasserabflusses verwendet.

6.5 Kläranlagen und Schmutzwasserdirekteinleiter

Im Kreis Minden-Lübbecke gibt es zehn kommunale Kläranlagen, die geklärtes Abwasser und 13 Standorte, an denen Firmen gereinigtes Abwasser in Oberflächengewässer einleiten (**Anlage 21**). Insbesondere die kommunalen Kläranlagen besitzen dabei nennenswerte Wasserrechte zur Einleitung, die zwischen 2,2 und 43,8 Mio. m³/a liegen. Die Wasserrechte der gewerblichen Schmutzwasserdirekteinleiter betragen zwischen 155 m³/a und 2,0 Mio. m³/a.

Da diese Mengen die Abflusssituation in den Oberflächengewässern erheblich beeinflussen können, wird geprüft, inwiefern diese in das Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots mit aufgenommen werden sollten. Sie könnten z. B. genutzt werden, um die Minderung für den ökologisch begründeten Mindestabfluss zu verringern. Damit die mögliche Substitution des Mindestwasserabflusses nicht überschätzt wird, sind dabei die tatsächlichen mittleren Einleitmengen zu nutzen und nicht die Wasserrechte. Da diese Daten nur für die Kläranlagen vorliegen, werden nur diese im Folgenden berücksichtigt.

Im Rahmen der Pilotstudie sind vier Varianten betrachtet worden, um verschiedene Herangehensweisen an dieses komplexe Thema zu untersuchen. Diese vier Varianten werden im Nachfolgenden kurz anhand eines Beispiels dargestellt. Als Beispiel wird der Bilanzraum „Große Aue Lockergestein rechts / Minden-Lübbecke“ (GALR_ML) verwendet, in den Kläranlageneinleitungen der Kläranlagen Espelkamp und Rahden ein- bzw. durchleiten. Kurz vor der Bundeslandgrenze kommen ggf. auch noch Durchleitungsmengen der Kläranlage Stemwede hinzu, die in ein Nebengewässer des Großen Diekflusses einleitet, der wiederum auch in die Große Aue entwässert. Diese Mengen werden für die Beispielrechnungen des Bilanzraumes GALR_ML nicht berücksichtigt, da dazu zusätzlich die vollständigen Berechnungen des Bilanzraumes „Große Aue Lockergestein links / Minden-Lübbecke“ (GALL_ML) notwendig wären und dies das Ergebnis nur geringfügig verändern würde. In Abb. 6.13 ist die Lage der Kläranlageneinleitungsstandorte, der betroffenen Fließgewässer und Fließgewässereinzugsgebiete dargestellt.

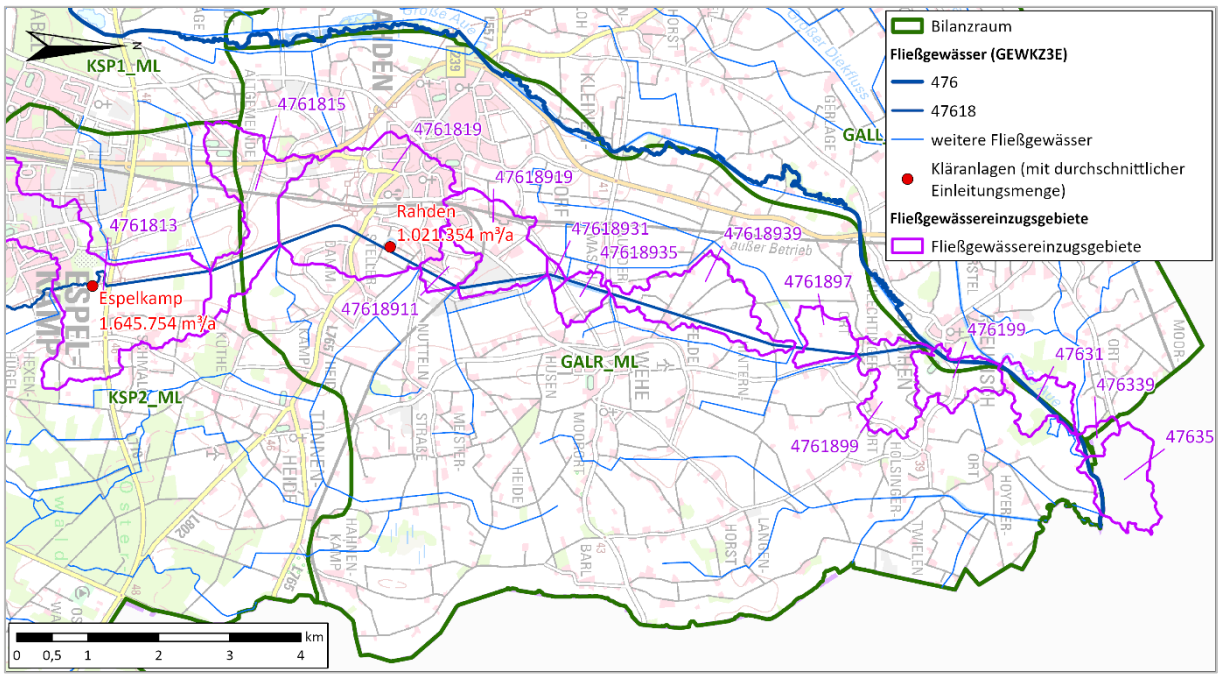


Abb. 6.13: Große Aue Lockergestein rechts, Kläranlagenstandorte und Lage der betroffenen Fließgewässer und Fließgewässereinzugsgebiete

6.5.1 Variante 1: Substitution des Mindestwasserabflusses in Fließrichtung

In Variante 1 wird die Einleitung einer Kläranlage stromabwärts der Einleitstelle durch den über den Mindestwasserorientierungswert (MOW) berechneten ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss (MWA) der durchflossenen Einzugsgebiete „aufgebraucht“. Die Herleitung des Mindestwasserabflusses ist Kap. 7.2 zu entnehmen. Der Mindestwasserabfluss wird durch das zur Verfügung stehende Abwasser ersetzt, die Minderung des Grundwasserdargebots reduziert.

Abb. 6.14 zeigt eine Prinzipskizze zu Variante 1. Zunächst wird der Mindestwasserabfluss im Einzugsgebiet, in dem sich die Einleitstelle befindet, so weit wie möglich ersetzt. Bleibt Abwasser übrig, weil die Einleitmenge größer ist als der Mindestwasserabfluss, wird damit der Mindestwasserabfluss im abstromig gelegenen Einzugsgebiet ersetzt. Dieses Verfahren wird so lange fortgesetzt, bis die Einleitmenge aufgebraucht ist.

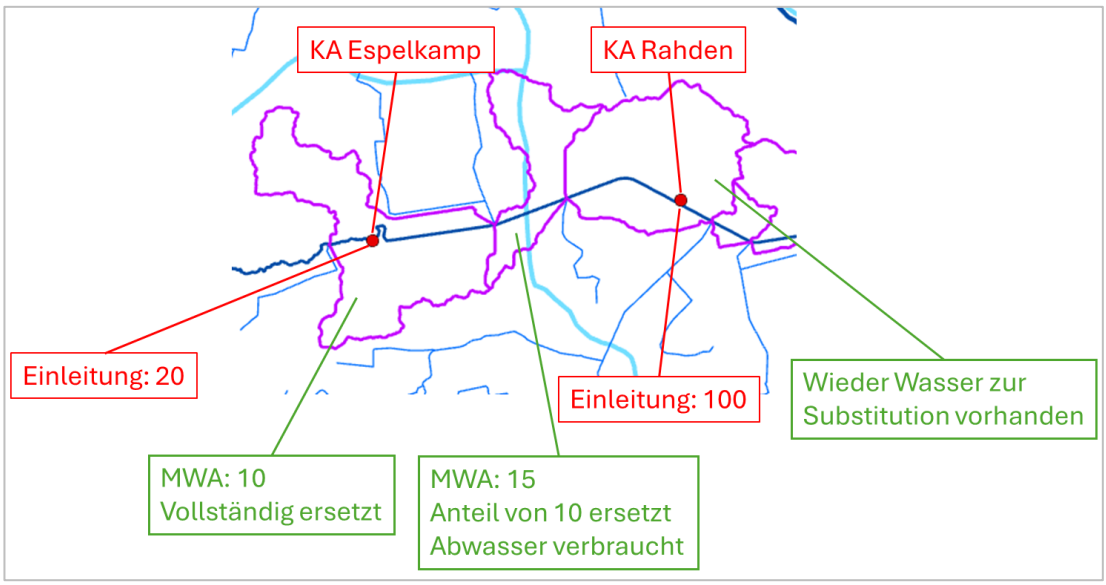


Abb. 6.14: Prinzipskizze Variante 1 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße

In Tab. 6.4 ist das Verfahren am Beispiel des Bilanzraumes GALR_ML durchgeführt worden. In diesem Bilanzraum wird Abwasser über die Kläranlagen Espelkamp und Rahden in einer Menge von insgesamt 2,67 Mio. m³/a durch- bzw. eingeleitet (Tab. 6.4, Spalte ⑤).

Für die Berechnung des reduzierten ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ⑥ wurde in Tab. 6.4 zunächst der tatsächliche je Fließgewässereinzugsgebiet ermittelte maximale MOW ③ zugrunde gelegt. Über die Einzugsgebietsfläche ② ergibt sich daraus der ökologisch begründete Mindestwasserabfluss ④. Dieser beträgt in Summe für alle Fließgewässereinzugsgebiete rd. 521.000 m³/a. Die berechnete Einleitungsrestmenge ⑦ zeigt, dass im Bilanzraum GALR_ML der ökologisch begründete Mindestwasserabfluss in allen Fließgewässereinzugsgebieten bis zur Landesgrenze der MOW vollständig ersetzt werden kann. Es bleiben nach dem letzten Fließgewässereinzugsgebiet noch rd. 2,15 Mio. m³/a an Abwasser zur Substitution übrig.

① Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ MOW [l/s/km²]	④ Ökologisch begründeter Mindestwasserabfluss [m³/a]	⑤ Mittlere Einleitungsmenge [m³/a]	⑥ Ökologisch begründeter Mindestwasserabfluss reduziert [m³/a]	⑦ Einleitung Restmenge [m³/a]
4761813	4.291.525	0,9	121.804	Espelkamp: 1.645.754	0	1.523.950
4761815	1.845.098	0,9	52.368		0	1.471.582
4761819	3.760.244	0,9	106.725	Rahden: 1.021.354	0	2.386.211
47618911	390.795	0,9	11.092		0	2.375.120
47618919	1.390.204	0,9	39.457		0	2.335.662
47618931	74.076	0,9	2.102		0	2.333.560
47618935	390.285	0,9	11.077		0	2.322.483
47618939	1.534.685	0,9	43.558		0	2.278.925
4761897	504.097	0,9	14.307		0	2.264.617
4761899	937.200	0,9	26.600		0	2.238.017
476199	740.172	1,1	25.676		0	2.212.341
47631	642.753	1,1	22.297		0	2.190.044
476339	194.674	1,1	6.753		0	2.183.291
47635	1.060.530	1,1	36.789		0	2.146.501
Summe	17.756.339		520.607	2.667.108		

Tab. 6.4: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 1 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

Da für das Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots nicht der tatsächliche ökologisch begründete Mindestwasserabfluss verwendet wurde, sondern der über Basiseinzugsgebiete auf die hydrogeologische Großlandschaft „Westfälisches Tiefland“ regionalisierte Mindestwasserabfluss (siehe Kap. 7.2), wird eine weitere Berechnung mit der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ③ durchgeführt (Tab. 6.5). Dafür wird die für den Bilanzraum (BR) GALR_ML berechnete Minderung über die Fläche ② auf die einzelnen Fließgewässereinzugsgebiete heruntergebrochen. Bei dieser Berechnung ergibt sich insgesamt eine Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss von rd. 189.000 m³/a. Demzufolge kann auch bei dieser Berechnung die Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss in jedem Einzugsgebiet bis zur Bundeslandgrenze substituiert werden ⑤. Nach dem letzten Fließgewässereinzugsgebiet bleiben noch rd. 2,48 Mio. m³/a an Abwasser zur Substitution übrig.

① BR/ Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ Minderung für ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss [m³/a]	④ Mittlere Einleitungsmenge [m³/a]	⑤ Minderung für Mindestwasserabfluss reduziert [m³/a]	⑥ Einleitung Restmenge [m³/a]
GALR_ML	66.304.278	707.443			
			Espelkamp:		
4761813	4.291.525	45.789	1.645.754	0	1.599.965
4761815	1.845.098	19.687		0	1.580.279
			Rahden:		
4761819	3.760.244	40.120	1.021.354	0	2.561.512
47618911	390.795	4.170		0	2.557.342
47618919	1.390.204	14.833		0	2.542.510
47618931	74.076	790		0	2.541.719
47618935	390.285	4.164		0	2.537.555
47618939	1.534.685	16.375		0	2.521.180
4761897	504.097	5.379		0	2.515.802
4761899	937.200	10.000		0	2.505.802
476199	740.172	7.897		0	2.497.905
47631	642.753	6.858		0	2.491.047
476339	194.674	2.077		0	2.488.970
47635	1.060.530	11.315		0	2.477.654
Summe	17.756.339	189.454	2.667.108		

Tab. 6.5: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 1 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

Somit wird durch die Substitution der Minderung des Mindestwasserabflusses das nutzbare Grundwasserdargebot des Bilanzraumes GALR_ML um ca. 31 % von 618.926 auf 808.380 m³/a erhöht (siehe Tab. 6.13).

6.5.2 Variante 2: Substitution des Mindestwasserabflusses gleichmäßig über die Fließstrecke

Das eingeleitete Abwasser wird bis zur Bundeslandgrenze anteilig der Fließstrecke im Einzugsgebiet auf die Einzugsgebiete verteilt. Der ökologisch begründete Mindestwasserabfluss wird durch das zur Verfügung stehende Abwasser teilweise ersetzt, die Minderung des Grundwasserdargebots reduziert.

Abb. 6.15 zeigt eine Prinzipskizze zu Variante 2. Zunächst werden die Längen der Gesamtfließstrecken bis zur Bundeslandgrenze sowie der Anteil an dieser je Fließgewässereinzugsgebiet abstromig der Einleitstelle ermittelt. Anschließend wird der zur jeweiligen Fließstrecke zugeordnete Mindestwasserabfluss anteilig über die Einleitungsmenge reduziert.

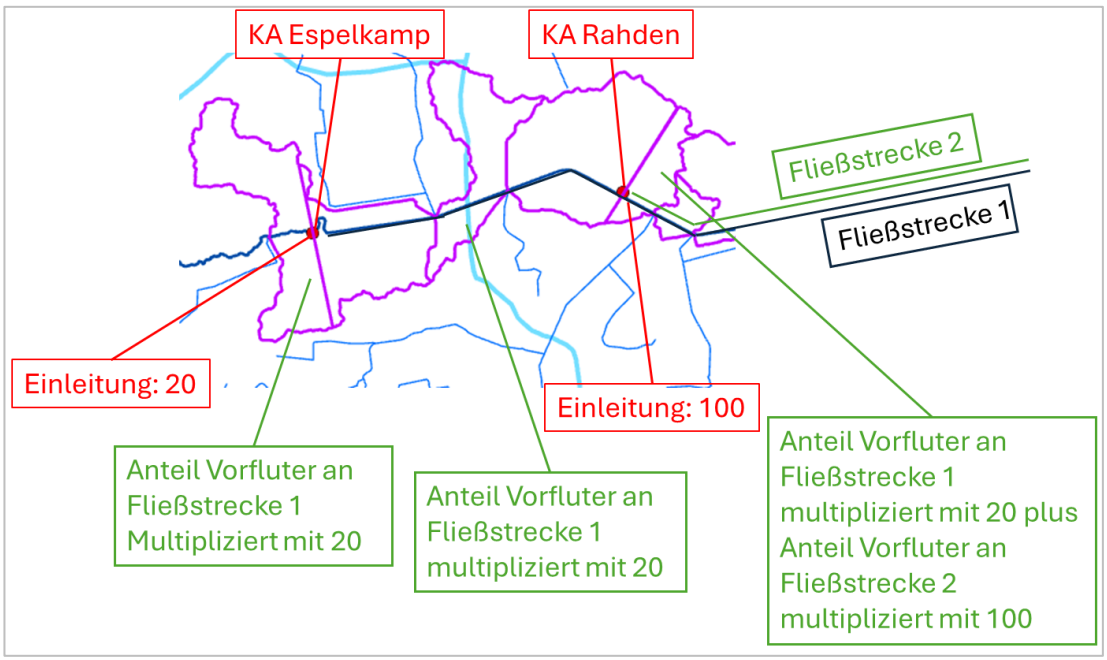


Abb. 6.15: Prinzipskizze Variante 2 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße

In Tab. 6.6 bis Tab. 6.8 ist das Verfahren am Beispiel des Grundwasserkörpers Große Aue Lockergestein rechts durchgeführt worden. Dabei müssen die Fließgewässereinzugsgebiete 4761813 und 4761819 in zwei Teile aufgeteilt werden (zustromig und abstromig der Kläranlagen), was in Tab. 6.6, die die Ermittlung der Anteile der Fließstrecken je Fließgewässereinzugsgebiet zeigt, in ① mit den Suffixen a bzw. b gekennzeichnet ist. Die Fließstrecke 1 beginnt dabei an der Einleitstelle der Kläranlage Espelkamp und die Fließstrecke 2 an der Einleitstelle der Kläranlage Rahden. Beide Fließstrecken enden an der Bundeslandgrenze. Die Anteile der einzelnen Fließstrecken je Fließgewässereinzugsgebiet an Fließstrecke 1 und 2 sind in ⑤ und ⑥dargestellt.

① Einzugsgebiet	② Fließstrecke Teilstück [m]	③ gesamte Fließstrecke 1 stromabwärts [m]	④ gesamte Fließstrecke 2 stromabwärts [m]	⑤ Anteil an Fließstrecke 1	⑥ Anteil an Fließstrecke 2
4761813b	2.083	16.287		13%	
4761815	1.043	14.203		6%	
4761819a	1.650	13.161		10%	
4761819b	510	11.510	11.510	3%	4%
47618911	596	11.000	11.000	4%	5%
47618919	1.282	10.404	10.404	8%	11%
47618931	274	9.122	9.122	2%	2%
47618935	636	8.848	8.848	4%	6%
47618939	2.718	8.212	8.212	17%	24%
4761897	747	5.494	5.494	5%	6%
4761899	1.102	4.747	4.747	7%	10%
476199	992	3.645	3.645	6%	9%
47631	1.455	2.653	2.653	9%	13%
476339	338	1.197	1.197	2%	3%
47635	860	860	860	5%	7%

Tab. 6.6: Ermittlung der Anteile der Fließstrecken je Fließgewässereinzugsgebiet

In Tab. 6.7 ist die Berechnung des reduzierten ökologisch begründeten Mindestwasserabflusses über die Anteile der Fließstrecken sowie über die tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabflüsse je Fließgewässereinzugsgebiet zusammengefasst. Der ökologisch begründete Mindestwasserabfluss ④ wurde dabei wiederum über den maximalen MOW ③ und die Fläche der Einzugsgebiete ermittelt. Der Anteil der Einleitung je Fließgewässereinzugsgebiet ⑥ errechnet sich aus der für das jeweilige Einzugsgebiet geltenden Einleitungsmenge ⑤ oder Einleitungsrestmenge ⑧, die die Abwassermenge darstellt, die nicht zu Substitution des Mindestwasserabflusses genutzt wird, sowie der dazugehörigen Anteile der jeweiligen Fließstrecken Tab. 6.6, ⑤ und ⑥. Aufgrund der im Vergleich zu den Einleitungsmengen geringen Mindestwasserabflussmenge von insgesamt rd. 453.000 m³/a, kann auch hier in jedem Fließgewässereinzugsgebiet der Mindestwasserabfluss vollständig durch Abwasser substituiert werden ⑦. An der Bundeslandgrenze verbleibt noch eine Einleitungsrestmenge von rd. 2,21 Mio. m³/a (Tab. 6.7, ⑧).

① Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ MOW [l/s/km²]	④ Ökologisch begründeter Mindest-wasserab-fluss [m³/a]	⑤ Mittlere Einleitungs-menge [m³/a]	⑥ Anteil Einlei-tung [m³/a]	⑦ Ökologisch begründeter Mindest-wasserab-fluss redu-ziert [m³/a]	⑧ Einlei-tung Rest-menge [m³/a]
4761813b	1.916.725	0,9	54.401	Espelkamp: 1.645.754	210.491	0	156.090
4761815	1.845.098	0,9	52.368		105.379	0	53.011
4761819a	3.026.370	0,9	85.896		166.759	0	80.863
4761819b	733.874	0,9	20.829	Rahden: 1.021.354	96.869	0	76.040
47618911	390.795	0,9	11.092		113.031	0	101.940
47618919	1.390.204	0,9	39.457		243.377	0	203.920
47618931	74.076	0,9	2.102		51.962	0	49.859
47618935	390.285	0,9	11.077		120.744	0	109.667
47618939	1.534.685	0,9	43.558		515.914	0	472.356
4761897	504.097	0,9	14.307		141.677	0	127.369
4761899	937.200	0,9	26.600		209.190	0	182.590
476199	740.172	1,1	25.676		188.306	0	162.630
47631	642.753	1,1	22.297		276.159	0	253.862
476339	194.674	1,1	6.753		64.054	0	57.301
47635	1.060.530	1,1	36.789		163.195	0	126.406
Summe	17.756.339		453.204	2.667.108	2.667.108	0	2.213.904

Tab. 6.7: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 2 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

In Tab. 6.8 wird wiederum eine weitere Berechnung mit der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss ③ durchgeführt. Dafür wird die für den Bilanzraum GALR_ML berechnete Minderung über die Fläche ② auf die einzelnen Fließgewässereinzugsgebiete heruntergebrochen. Bei dieser Berechnung ergibt sich insgesamt eine Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss von rd. 164.000 m³/a. Demzufolge kann auch bei dieser Berechnung die Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss in jedem Einzugsgebiet bis zur Bundeslandgrenze substituiert werden ⑥. Nach dem letzten Fließgewässereinzugsgebiet bleiben noch rd. 2,50 Mio. m³/a an Abwasser zur Substitution übrig ⑦.

① Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ Ökologisch begründeter Mindest-wasserabfluss [m³/a]	④ Mittlere Einleitungs-menge [m³/a]	⑤ Anteil Einleitung [m³/a]	⑥ Ökologisch begründeter Mindestwasser-abfluss reduziert [m³/a]	⑦ Einleitung Restmenge [m³/a]
GALR_ML	66.304.278	707.443				
4761813	1.916.725	20.451	Espelkamp: 1.645.754	210.491	0	190.040
4761815	1.845.098	19.687		105.379	0	85.693
4761819a	3.026.370	32.290		166.759	0	134.469
4761819b	733.874	7.830	Rahden: 1.021.354	96.869	0	89.039
47618911	390.795	4.170		113.031	0	108.862
47618919	1.390.204	14.833		243.377	0	228.544
47618931	74.076	790		51.962	0	51.171
47618935	390.285	4.164		120.744	0	116.580
47618939	1.534.685	16.375		515.914	0	499.539
4761897	504.097	5.379		141.677	0	136.298
4761899	937.200	10.000		209.190	0	199.191
476199	740.172	7.897		188.306	0	180.409
47631	642.753	6.858		276.159	0	269.301
476339	194.674	2.077		64.054	0	61.977
47635	1.060.530	11.315		163.195	0	151.880
Summe	15.381.539	164.116	2.667.108	2.667.108	0	2.502.993

Tab. 6.8: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 2 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

Somit wird in Variante 2 durch die Substitution der Minderung des Mindestwasserabflusses das nutzbare Grundwasserdargebot des Bilanzraumes GALR_ML um ca. 27 % von 618.926 auf 783.041 m³/a erhöht.

6.5.3 Variante 3: Kläranlageneinleitung als flexible durchleitbare Reserve

Das eingeleitete Abwasser steht abstromig der Einleitstelle in beliebigen Einzugsgebieten bzw. Bilanzräumen zur Substitution des Mindestwasserabflusses zur Verfügung. Die Höhe darf dabei nicht die des berechneten Mindestwasserabflusses überschreiten. Die Verteilung der Einleitungsmengen erfolgt wiederum über die Fließstrecken ab der Einleitstelle bis zur Bundeslandgrenze als Anteil an der Einleitungsmenge.

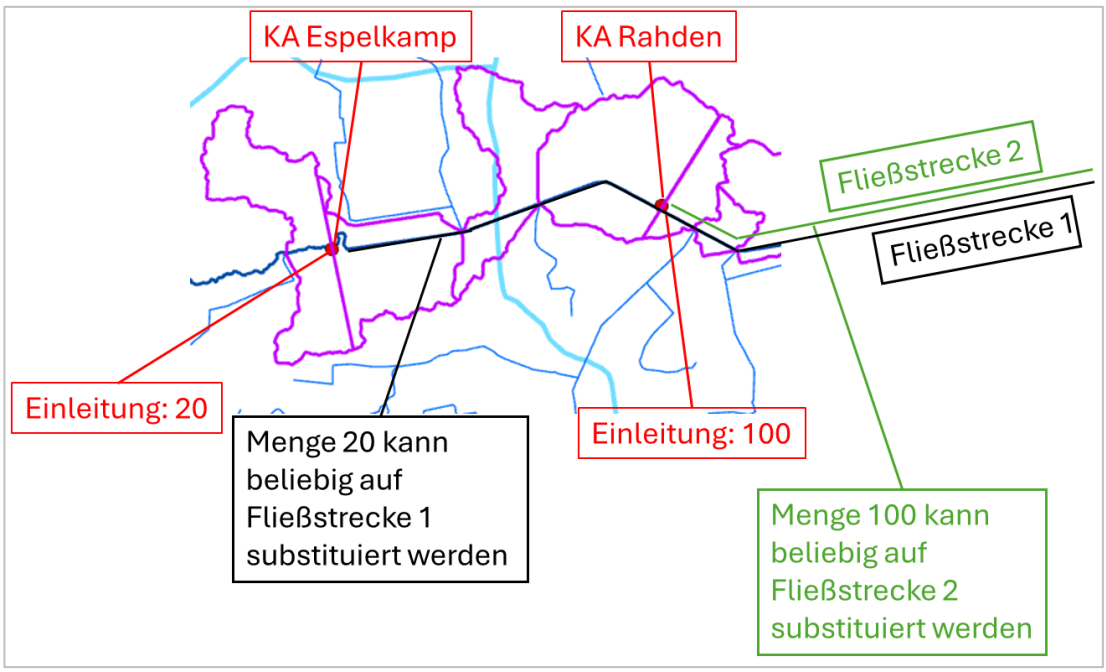


Abb. 6.16: Prinzipskizze Variante 3 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße

Da im Bilanzraum GALR_ML die Einleitungsmenge deutlich größer ist als der Mindestwasserabfluss aller abstromig gelegenen Fließgewässereinzugsgebiete, wäre es nur sinnvoll, in jedem Fließgewässereinzugsgebiet den Mindestwasserabfluss vollständig durch Abwasser zu substituieren. In Tab. 6.9, ⑥ sind die dafür maximal möglichen Anteile an der verfügbaren Einleitungsrestmenge aufgeführt. An der Bundeslandgrenze bleiben noch etwa 2,21 Mio. m³/a übrig (⑧).

① Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ MOW [l/s/km²]	④ Ökologisch begründeter Mindest-wasserab-fluss [m³/a]	⑤ Mittlere Einleitungs-menge [m³/a]	⑥ Anteil Einlei-tung	⑦ Ökologisch begründeter Mindest-wasserab-fluss redu-ziert [m³/a]	⑧ Einleitung Rest-menge [m³/a]
4761813b	1.916.725	0,9	54.401	Espelkamp: 1.645.754	3,3%	0	1.591.353
4761815	1.845.098	0,9	52.368		3,2%	0	1.538.985
4761819a	3.026.370	0,9	85.896		5,2%	0	1.453.089
4761819b	733.874	0,9	20.829	Rahden: 1.021.354	0,8%	0	2.453.614
47618911	390.795	0,9	11.092		0,4%	0	2.442.522
47618919	1.390.204	0,9	39.457		1,6%	0	2.403.065
47618931	74.076	0,9	2.102		0,1%	0	2.400.962
47618935	390.285	0,9	11.077		0,4%	0	2.389.885
47618939	1.534.685	0,9	43.558		1,8%	0	2.346.327
4761897	504.097	0,9	14.307		0,6%	0	2.332.020
4761899	937.200	0,9	26.600		1,1%	0	2.305.420
476199	740.172	1,1	25.676		1,0%	0	2.279.743
47631	642.753	1,1	22.297		0,9%	0	2.257.447
476339	194.674	1,1	6.753		0,3%	0	2.250.693
47635	1.060.530	1,1	36.789		1,5%	0	2.213.904
Summe			453.204	2.667.108			

Tab. 6.9: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 3 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten

In Tab. 6.10 wird die gleiche Berechnung mit der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss durchgeführt. Die maximal möglichen Einleitungsanteile ⑤ sind geringer als in der vorherigen Berechnung, da auch die Mindestwasserabflussmengen je Einzugsgebiet ③ geringer sind. Somit bleibt an der Bundeslandgrenze eine Einleitungsrestmenge von rd. 2,50 Mio. m³/a übrig.

① Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ Ökologisch begründeter Mindest-wasserabfluss [m³/a]	④ Mittlere Einleitungs-menge [m³/a]	⑤ Anteil Ein-leitung	⑥ Ökologisch begründeter Mindestwasser-abfluss reduziert [m³/a]	⑦ Einleitung Restmenge [m³/a]
GALR_ML	66.304.278	707.443				
4761813b	1.916.725	20.451	Espelkamp: 1.645.754	1,2%	0	1.625.303
4761815	1.845.098	19.687		1,2%	0	1.605.617
4761819a	3.026.370	32.290		2,0%	0	1.573.327
4761819b	733.874	7.830	Rahden: 1.021.354	0,3%	0	2.586.850
47618911	390.795	4.170		0,2%	0	2.582.681
47618919	1.390.204	14.833		0,6%	0	2.567.848
47618931	74.076	790		0,0%	0	2.567.057
47618935	390.285	4.164		0,2%	0	2.562.893
47618939	1.534.685	16.375		0,7%	0	2.546.519
4761897	504.097	5.379		0,2%	0	2.541.140
4761899	937.200	10.000		0,4%	0	2.531.141
476199	740.172	7.897		0,3%	0	2.523.243
47631	642.753	6.858		0,3%	0	2.516.385
476339	194.674	2.077		0,1%	0	2.514.308
47635	1.060.530	11.315		0,5%	0	2.502.993
Summe		164.116				

Tab. 6.10: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 3 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

Somit wird in Variante 3 durch die Substitution der Minderung des Mindestwasserabflusses das nutzbare Grundwasserdargebot des Bilanzraumes GALR_ML um ca. 27 % von 618.926 auf 783.041 m³/a erhöht.

6.5.4 Variante 4: Substitution des Mindestwasserabflusses nach Abwasseranteil

Durch das LANUK NRW wird zurzeit eine Studie aktualisiert, die die Abwasseranteile von Fließgewässern in NRW bilanziert. Dabei werden zunächst mit Hilfe von Abflussreihen von 72 Pegeln in NRW sowie über ein Regionalisierungsverfahren die Kennwerte für MNQ und MQ für jeden Knotenpunkt im Gewässernetz der Gewässerstationierungskarte NRW ermittelt. Anschließend wird an jeder Einleitstelle der Abwasseranteil auf Basis des mittleren jährlichen Abwasserzuflusses der jeweiligen Kläranlage an dem regionalisierten MNQ oder MQ berechnet. Da in den regionalisierten Abflüssen die Abwassermengen der Kläranlagen nicht bereits enthalten sind, kann insbesondere an kleinen Gewässern mit kleinen Einzugsgebieten der Abwasseranteil auch höher als 100 % sein, wenn mehr Abwasser als natürliches Wasser abfließt. Damit wäre der Status Quo der Substitution des Mindestwasserabflusses durch Abwasser festgelegt. Somit kann die Minderung des Grundwasserdargebots teilweise verringert werden, wenn ein signifikanter Abwasseranteil bei mittlerem Niedrigwasserabfluss vorliegt. Die substituierte Menge sollte zusätzlich nicht die Einleitmenge überschreiten. In Abb. 6.17 ist eine Prinzipskizze dieser Variante dargestellt.

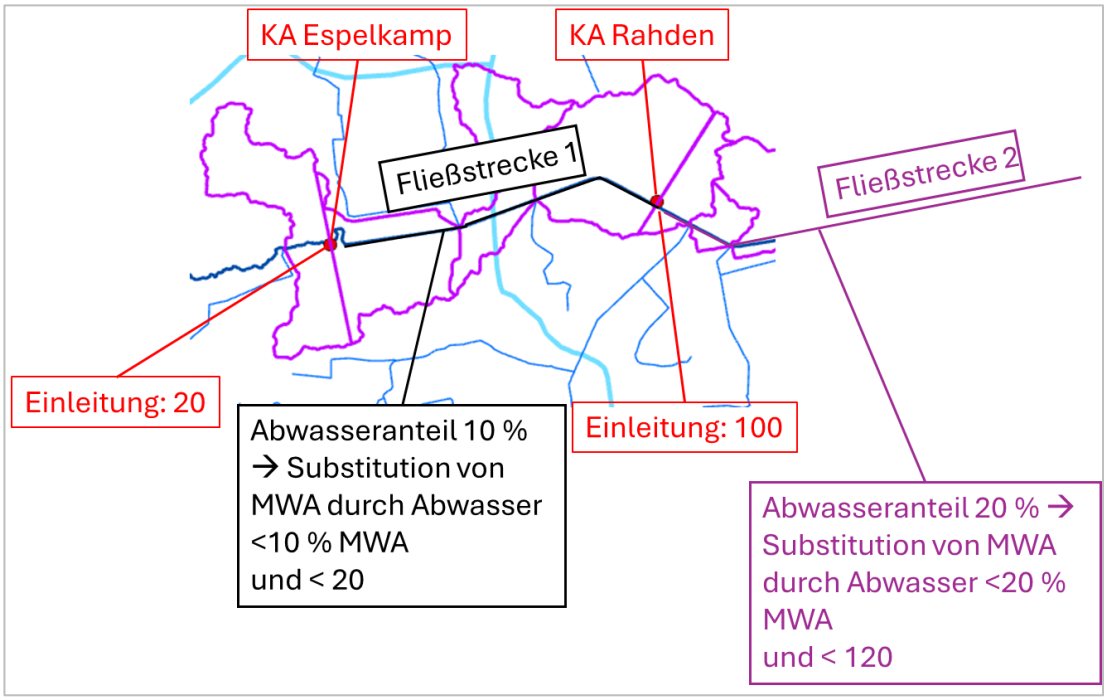


Abb. 6.17: Prinzipskizze Variante 4 der Berücksichtigung von Kläranlageneinleitungen als Bilanzgröße

In Tab. 6.11 ist die Berechnung nach Variante 4 dargestellt. Dabei gilt, solange der vom LANUV NRW ermittelte Abwasseranteil für MNQ >100 % (mehr Abwasser als natürliches Wasser) beträgt (⑥, MLV NRW, 2020: Anhang C, Kap. 5), kann der komplette Mindestabwasserabfluss durch Abwasser substituiert werden. Ist er geringer als 100 %, wird der jeweilige Anteil des Mindestwasserabflusses substituiert (siehe ⑦). Da ab dem Fließgewässereinzugsgebiet 476199 der Abwasseranteil für MNQ <100 % beträgt, beträgt der reduzierte ökologisch begründete Mindestwasserabfluss insgesamt rd. 31.200 m³/a. Insgesamt konnte Mindestwasserabfluss in Höhe von 422.013 m³/a substituiert werden. Die Einleitungsrestmenge an der Bundeslandgrenze beträgt daher rd. 2,25 Mio. m³/a.

① Einzugs-gebiet	② Fläche [m²]	③ MOW [l/s/km²]	④ Ökologisch begründeter Mindestwas-serabfluss [m³/a]	⑤ Mittlere Einleitungs-menge [m³/a]	⑥ Kumulier-ter Ab-wasser-anteil für MNQ	⑦ Ökologisch begründeter Mindestwas-serabfluss reduziert [m³/a]	⑧ Einleitung Restmenge [m³/a]
4761813b	1.916.725	0,9	54.401	Espelkamp: 1.645.754	411%	0	1.591.353
4761815	1.845.098	0,9	52.368		288%	0	1.538.985
4761819a	3.026.370	0,9	85.896		188%	0	1.453.089
4761819b	733.874	0,9	20.829	Rahden: 1.021.354	322%	0	2.453.614
47618911	390.795	0,9	11.092		322%	0	2.442.522
47618919	1.390.204	0,9	39.457		162%	0	2.403.065
47618931	74.076	0,9	2.102		162%	0	2.400.962
47618935	390.285	0,9	11.077		162%	0	2.389.885
47618939	1.534.685	0,9	43.558		162%	0	2.346.327
4761897	504.097	0,9	14.307		136%	0	2.332.020
4761899	937.200	0,9	26.600		129%	0	2.305.420
476199	740.172	1,1	25.676		79%	5.394	2.285.138
47631	642.753	1,1	22.297		61%	8.592	2.271.433
476339	194.674	1,1	6.753		61%	2.602	2.267.282
47635	1.060.530	1,1	36.789		60%	14.602	2.245.095
Summe			453.204	2.667.108		31.191	

Tab. 6.11: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 4 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts mit Berechnung des tatsächlichen maximalen ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

In Tab. 6.12 ist die Berechnung unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss dargestellt. Die Abwasseranteile für MNQ ⑤ bleiben dabei gleich, nur die Mindestabflussmengen ③ sind geringer. Die Summe des reduzierten Mindestwasserabflusses ⑥ beträgt nun rd. 9.600 m³/a. Insgesamt konnte Mindestwasserabfluss in Höhe von 154.522 m³/a substituiert werden. Die Einleitungsrestmenge an der Bundeslandgrenze ⑦ rd. 2,51 Mio. m³/a.

① Einzugsgebiet	② Fläche [m²]	③ Ökologisch begründeter Mindestwasserabfluss [m³/a]	④ Mittlere Einleitungsmenge [m³/a]	⑤ Kumulierter Abwasseranteil für MNQ	⑥ Ökologisch begründeter Mindestwasserabfluss reduziert [m³/a]	⑦ Einleitung Restmenge [m³/a]
GALR_ML	66.304.278	707.443				
4761813b	1.916.725	20.451	Espelkamp: 1.645.754	411%	0	1.625.303
4761815	1.845.098	19.687		288%	0	1.605.617
4761819a	3.026.370	32.290		188%	0	1.573.327
4761819b	733.874	7.830	Rahden: 1.021.354	322%	0	2.586.850
47618911	390.795	4.170		322%	0	2.582.681
47618919	1.390.204	14.833		162%	0	2.567.848
47618931	74.076	790		162%	0	2.567.057
47618935	390.285	4.164		162%	0	2.562.893
47618939	1.534.685	16.375		162%	0	2.546.519
4761897	504.097	5.379		136%	0	2.541.140
4761899	937.200	10.000		129%	0	2.531.141
476199	740.172	7.897		79%	1.659	2.524.902
47631	642.753	6.858		61%	2.643	2.520.687
476339	194.674	2.077		61%	800	2.519.411
47635	1.060.530	11.315		60%	4.491	2.512.586
Summe		164.116	2.667.108		9.594	

Tab. 6.12: Substitution des Mindestwasserabflusses durch Kläranlageneinleitung nach Variante 4 – Beispiel: Große Aue Lockergestein rechts unter Verwendung der regionalisierten Minderung für den ökologisch begründeten Mindestwasserabfluss

Somit wird in Variante 4 durch die Substitution der Minderung des Mindestwasserabflusses das nutzbare Grundwasserdargebot des Bilanzraumes GALR_ML um ca. 25 % von 618.926 auf 773.448 m³/a erhöht.

6.5.5 Bewertung

In Tab. 6.13 sind die anhand der verschiedenen Varianten ermittelten nutzbaren Grundwasserdargebote des Bilanzraumes GALR_ML zusammengestellt. Variante 0 beschreibt dabei die Variante ohne Substitution des Mindestwasserabflusses durch Abwasser. Daraus ergibt sich, dass die Variante 1 – Substitution des Mindestwasserabflusses in Fließrichtung für den Bilanzraum GALR_ML am günstigsten ist. In dieser Variante wird am meisten Mindestwasserabfluss durch Abwasser substituiert, so dass das nutzbare Grundwasserdargebot 61 % des Grundwasserdargebots entspricht. Bei Varianten 2 und 3 hätte es einen Anteil von 59 %, bei Variante 4 einen Anteil von 58 %. Ohne Substitution beträgt der Anteil des nutzbaren Grundwasserdargebots am Grundwasserdargebot nur 47 %.

Variante	0	1	2	3	4
Grundwasserdargebot [m³/a]	**1.327.285**	**1.327.285**	**1.327.285**	**1.327.285**	**1.327.285**
Minderung für gwa LÖS [m³/a]	916	916	916	916	916
Minderung für ökologisch begründeten Mindestabfluss Bilanzraum [m³/a]	707.443	707.443	707.443	707.443	707.443
Nutzbares Grundwasserdargebot [m³/a]	**618.926**	618.926	618.926	618.926	618.926
Minderung für ökologisch begründeten Mindestabfluss entlang Fließstrecke [m³/a]		189.454	164.116	164.116	164.116
Minderung für Mindestwasserabfluss entlang Fließstrecke reduziert [m³/a]		0	0	0	9.594
Nutzbares Grundwasserdargebot modifiziert [m³/a]		**808.380**	**783.041**	**783.041**	**773.448**
Anteil nutzbares Grundwasserdargebot an Grundwasserdargebot	47%	61%	59%	59%	58%

Tab. 6.13: Zusammenstellung der Substitution des Mindestwasserabflusses der einzelnen Varianten

Die Substitution des Mindestwasserabflusses durch Abwasser kann somit bilanztechnisch vorgenommen werden. Die Wassermenge, die damit potenziell in die Bilanzierung aufgenommen werden kann, bietet ein sehr hohes Potenzial. Die Qualität vollumfänglich zu berücksichtigen, würde allerdings einen erheblichen Aufwand bedeuten, da in der Regel ein WRRL-Fachbeitrag erforderlich ist, um den guten Zustand des Gewässers bei einer Kläranlageneinleitung nicht zu gefährden. Da es sich um genehmigte Einleitungen handelt, kann davon ausgegangen werden, dass die Bilanz im Status Quo genehmigt wurde. Allerdings kann es sein, dass Gewässer sich nicht in einem guten Zustand befinden. Dadurch wäre eine bilanztechnische Berücksichtigung des Abwassers ggf. zu hoch angesetzt. Auch ist die Aufteilung der Abwassermenge auf die Grundwasserkörper sehr komplex, da durch den Wassertransport im Vorfluter, Einleitung und Entnahme nicht im selben Bilanzraum liegen müssen.

Aus diesen Gründen wird von einer Verwendung der Substitution des Mindestwasserabflusses durch Abwasser in der Bilanz abgesehen. Die Ein- und Durchleitungsmengen je Bilanzraum werden als Hinweise im Bilanzierungswerkzeug für die Bewirtschafter der Bilanzräume aufgenommen.

6.6 Kleinkläranlagen

Im Kreis Minden-Lübbecke sind insgesamt rd. 4.000 Einleitungsstandorte von Kleinkläranlagen mit knapp 26.000 Einwohnerwerten dokumentiert. Die Einleitungen erfolgen entweder über Verrieselung oder Versickerung ins Grundwasser, über oberirdische Gewässer, Wege- oder Straßenseitengräben, öffentliche Kanäle in Gewässer oder das Abwasser wird landwirtschaftlich über eine Jauche- oder Güllegrube genutzt.

In Tab. 6.14 sind die Einleitungsmengen der Kleinkläranlagen, die Anteile der Einleitung an der mittleren Grundwasserneubildung des Istzustands im Kreis Minden-Lübbecke, die Anzahl der Einleitungsstellen und die Einwohnerwerte für den Kreis Minden-Lübbecke getrennt nach Einleitung ins Grundwasser und in Oberflächengewässer zusammengefasst. Die Einleitungsmengen und Einwohnerwerte je Bilanzraum sind **Anhang 9** zu entnehmen.

	Einleitung ins Grundwasser	**Einleitung in Oberflächen-gewässer**	**Gesamt**
Menge [m³/a]	536.328	768.197	1.304.525
Anzahl Einleitungsstellen	1.736	2.337	4.073
Einwohnerwerte	10.617	15.207	25.824
Anteil an Grundwasserneubildung	0,7%	1,0%	1,7%
Anteil am Mindestwasserabfluss		1,9%	

Tab. 6.14: Einleitung von Kleinkläranlagen

6.6.1 Kleinkläranlagen mit Einleitung in das Grundwasser

An rd. 1.700 Standorten mit rd. 10.600 Einwohnerwerten wird das Abwasser über Sickerschächte, Verrieselung oder Versickerung ins Grundwasser eingeleitet. In **Anlage 22** sind die Einleitstellen von Kleinkläranlagen mit Einleitung in das Grundwasser dargestellt.

In **Anhang 9** sind die Einleitungsmengen der Kleinkläranlagen, die Anteile der Einleitung an der mittleren Grundwasserneubildung, die Anzahl der Einleitungsstellen und die Einwohnerwerte nach Bilanzräumen aufgeführt. Die Aufteilung der Bilanzräume aufgrund des Bergwerks Wohlverwahrt-Nammen ist in dieser Auswertung noch nicht erfolgt, ist aber aufgrund der geringen Mengen auch nicht erforderlich.

In das Grundwasser werden in die Bilanzräume des Kreises Minden-Lübbecke zwischen 0 und 74.915 m³/a eingeleitet. Insgesamt werden ins Grundwasser über rd. 1.700 Einleitungsstellen rd. 540.000 m³/a eingeleitet, was etwa 10.600 Einwohnerwerten und einem Anteil an der mittleren Grundwasserneubildung von 0,7 % entspricht (siehe Tab. 6.14).

In Abb. 6.18 sind die Anteile der Einleitungsmengen in das Grundwasser je Bilanzraum an der mittleren Grundwasserneubildung dargestellt. Daraus geht hervor, dass in den meisten Bilanzräumen zwischen 0 und 1 % der Grundwasserneubildung aus Kleinkläranlagen eingeleitet wird. Bei einzelnen Bilanzräumen sind die Anteile deutlich höher und betragen zwischen 4 und 5 % (GALR_ML), 6 und 7 % (OH_ML) oder sogar 15 bis 16 % (GALL_ML). Der Bilanzraum WLL1_ML hat mit -64.469 m³/a eine negative Grundwasserneubildung. Der Anteil der Einleitung, die bei rd. 3.000 m³ liegt, beträgt somit rechnerisch -4,5 %.

Je nach Art der Einleitung (siehe **Anhang 9.3**) können die Einleitungsmengen Eingang in die Bilanzierung finden. Die Einleitung ins Grundwasser über Sickerschächte führt dazu, dass 100 % des Abwassers im Boden versickert. Diese Menge in Höhe von 1.414 m³/a kann daher zur Erhöhung des nutzbaren Grundwasserdargebots verwendet werden. Die Einleitung über Verrieselung (237.173 m³/a) führt dazu, dass nur ein Teil des Abwassers im Boden versickert und dem Grundwasser zugeordnet werden kann. Ein anderer Teil wird verdunsten. Aufgrund der Vielzahl an Faktoren, die die Verdunstung beeinflussen (DWA M504-1) und der vielen Unbekannten in Bezug auf die Lage, Methode und Zeiträume der Verrieselung, kann dieser Teil nicht belastbar abgeschätzt werden.

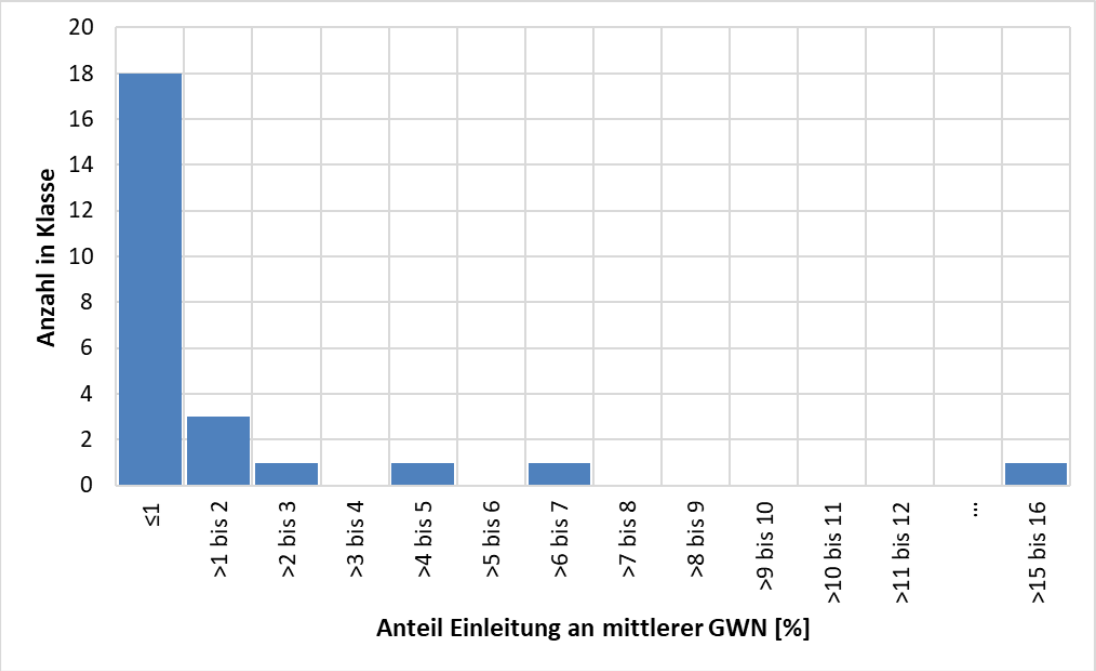


Abb. 6.18: Anteil der Grundwassereinleitungsmenge von Kleinkläranlagen an der mittleren Grundwasserneubildung

Ähnlich verhält es sich mit der Einleitung ins Grundwasser über Versickerung (188.930 m³/a) oder Einleitung in Straßenseitengräben ohne Gewässereigenschaft (108.811 m³/a). Ersteres kann neben Sickerschächten auch über Versickerungsbecken erfolgen. Straßenseitengräben ohne Gewässereigenschaft wirken ebenfalls wie Versickerungsmulden, da das eingeleitete Wasser nirgendwohin fließen kann. Auch dabei wird ein nicht belastbar zu bestimmender Teil des Abwassers verdunsten.

6.6.2 Kleinkläranlagen mit Einleitung in Oberflächengewässer

An rd. 2.300 Standorten mit rd. 15.200 Einwohnerwerten wird Abwasser in ein oberirdisches Gewässer, über einen Wegeseitengraben in ein Gewässer, in einen Straßen- oder Wegeseitengraben oder in einen öffentlichen Kanal mit Einleitung in ein Gewässer eingeleitet (siehe **Anhang 9**). In **Anlage 23** sind die Einleitstellen der Kleinkläranlagen mit Einleitung in Oberflächengewässer dargestellt.

Gemäß **Anhang 9** werden in Oberflächengewässer je Einleitstelle zwischen 0 und 136.696 m³/a eingeleitet. Insgesamt werden rd. 768.000 m³/a eingeleitet, was etwa 1,0 % der mittleren Grundwasserneubildung und 1,9 % des Mindestwasserabflusses entspricht (Tab. 6.14).

In Abb. 6.19 sind die Anteile der Einleitungsmengen in Oberflächengewässer je Bilanzraum an der mittleren Grundwasserneubildung dargestellt. Hier sind die Anteile im Vergleich zu Abb. 6.18 etwas breiter gestreut. Überwiegend werden 0 bis 3 % der mittleren Grundwasserneubildung aus Kleinkläranlagen eingeleitet. Bei einzelnen Bilanzräumen sind die Anteile deutlich höher und betragen zwischen 4 und 5 % (KSP1_ML), 6 und 7% (GALR_ML) oder 29 bis 30 % (GALL_ML). Bei zwei Bilanzräumen (OH_ML, WBE1_ML) liegt keine Einleitung in Oberflächengewässer vor, so dass der Anteil der Einleitungsmenge an der mittleren Grundwasserneubildung 0 % beträgt. Bilanzraum WLL1_ML weist eine negative mittlere Grundwasserneubildung auf, so dass sich rechnerisch ein negativer Anteil der Einleitungsmenge (-0,9 %) ergibt.

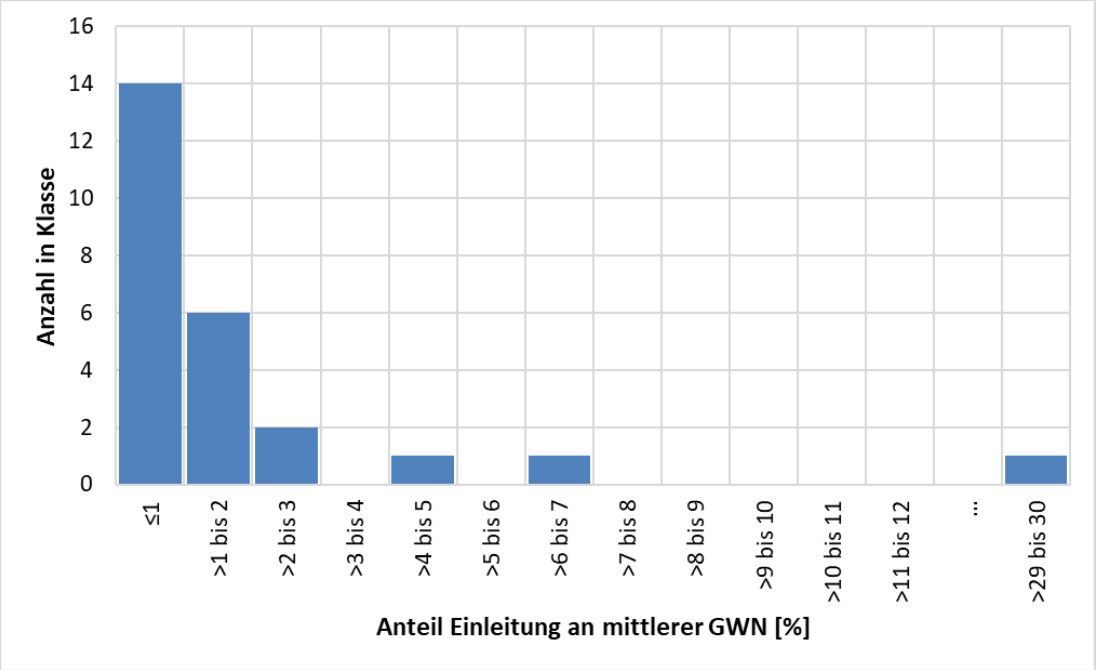


Abb. 6.19: Anteil der Oberflächenwassereinleitungsmenge von Kleinkläranlagen an der mittleren Grundwasserneubildung

Das Wasser der Kleinkläranlagen wird über verschiedene Wege in Oberflächengewässer eingeleitet. Je nach Art der Einleitung (siehe **Anhang 9.3**) sind verschiedene Prozesse zu berücksichtigen, die entscheiden, ob das Abwasser dem Grundwasser oder dem Abfluss zugeführt wird.

Bei der Einleitung in Wegeseitengräben (14.549 m³/a) ist unklar, ob der Wegeseitengraben in ein Fließgewässer entwässert oder nicht. Ist dies nicht der Fall, wirkt er als Versickerungsmulde, so dass das Abwasser dort nur versickern oder verdunsten kann. Ein Teil des Abwassers würde also die Grundwasserneubildung erhöhen und ein anderer Teil der Bilanzierung verloren gehen. Haben die Wegeseitengräben Anschluss an ein Fließgewässer, würde darüber hinaus auch noch ein Teil des Wassers den Abfluss des Fließgewässers erhöhen und könnte somit ggf. zur Substitution des Mindestwasserabflusses verwendet werden.

Bei der Einleitungsmöglichkeit „in ein Gewässer über einen Wegeseitengraben“ (60.518 m³/a) ist anzunehmen, dass im Wegeseitengraben ebenfalls noch ein Teil des Abwassers verdunsten und/oder versickern kann. Der Rest wird dann den Abfluss im Oberflächengewässer erhöhen. Aufgrund der Vielzahl an Faktoren, die allein die Verdunstungshöhe beeinflussen, können diese Anteile allerdings nicht belastbar bestimmt werden.

Bei den Einleitungsmöglichkeiten „in ein oberirdisches Gewässer“ (691.514 m³/a) und „in öffentlichen Kanal mit Einleitung in ein Gewässer“ (1.617 m³/a) wird zum weit überwiegenden Anteil der Abfluss im Gewässer erhöht. Somit können diese Einleitungsmengen mit den Kläranlageneinleitungen aus Kap. 6.5 gleichgesetzt werden.

6.6.3 Kleinkläranlageneinleitungen gesamt

In Abb. 6.20 sind die Anteile der gesamten Einleitungsmengen je Bilanzraum an der mittleren Grundwasserneubildung dargestellt. Hier sind die Anteile im Vergleich zu Abb. 6.18 und Abb. 6.19 noch breiter gestreut. Überwiegend werden 0 bis 5 % der mittleren Grundwasserneubildung aus Kleinkläranlagen eingeleitet. Bei einzelnen Bilanzräumen sind die Anteile höher oder deutlich höher und betragen zwischen 6 und 7 % (OH_ML), 11 und 12% (GALR_ML) oder 45 bis 46 % (GALL_ML). Bei einem Bilanzraum beträgt der Anteil der Einleitungsmenge an der mittleren Grundwasserneubildung <0% (WLL1_ML).

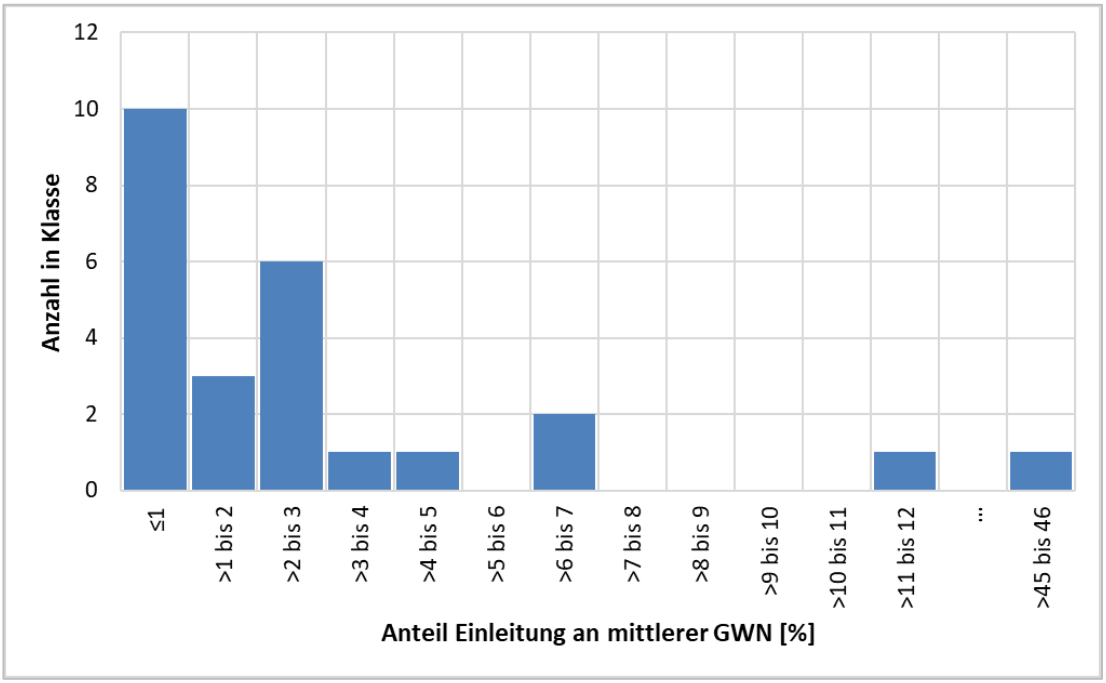


Abb. 6.20: Anteil der gesamten Einleitungsmenge von Kleinkläranlagen an der mittleren Grundwasserneubildung

Insgesamt entsprechen die Einleitungsmengen der Kleinkläranlagen lediglich <2 % der mittleren Grundwasserneubildung. In Bilanzraum GALL_ML sind es ca. 45 %, die überwiegend aus Einleitungen in Oberflächengewässer bestehen. Zudem ist nur bei einem Teil der Einleitungsmengen klar, ob und in welcher Höhe diese in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer eingeleitet werden (siehe Tab. 6.15). Aus diesen Gründen werden die Einleitungsmengen der Kleinkläranlagen nicht in das Bilanzierungswerkzeug aufgenommen.

Prozesse	Einteilung	Einleitungs-menge [m³/a]	Zuordnung
Versickerung	GW	1.414	Klar: Grundwasser
Versickerung/Verdunstung	GW	534.914	Unklar: Anteil Grundwasser nicht belastbar herzuleiten
Abfluss/Versickerung/Verdunstung	OW	75.067	Unklar: Anteil Grundwasser nicht belastbar herzuleiten
Abfluss	OW	693.130	Klar: Oberflächenwasser
Summe		1.304.525	

Tab. 6.15: Bestimmbarkeit der Zuordnung der Kleinkläranlageneinleitungen zu Grund- oder Oberflächenwasser

6.7 Niederschlagsversickerungsanlagen

Niederschlagsversickerungsanlagen sind technische Vorrichtungen, die Niederschlagswasser von versiegelten Flächen in den Untergrund leiten und dort versickern lassen. Dadurch trägt der Niederschlag zur Grundwasserneubildung bei, statt in die Kanalisation abgeleitet zu werden.

In mGROWA ist eine Versickerung aus Siedlungsgebieten bereits berücksichtigt. Hier kann über den sogenannten SSPI (surface sealing percolation index) Wasser von versiegelten Flächen versickern. Dieser versickernde Anteil ist größer, je geringer der Versiegelungsgrad ist. Kleinere Versickerungsanlagen sind also bereits implizit in mGROWA berücksichtigt.

Zu überprüfen ist, ob die großen Niederschlagsversickerungsanlagen, mit versiegelten Flächen von mehr als einem Hektar und somit signifikanten jährlichen Versickerungsmengen, in mGROWA berücksichtigt und abgebildet wurden. Dies wird durch einen Vergleich der Niederschlagsmenge mit der GWNB-Menge im Bereich der Versickerungsanlagen überprüft. Zudem wird überprüft, ob die versiegelten Flächen im Vergleich zu der Umgebung geringere GWNB-Raten aufweisen. Des Weiteren wurde die nähere Umgebung der Anlagen überprüft, um eine eventuelle Erhöhung der GWNB-Raten im Bereich der Versickerungsanlagen gegenüber der Umgebung festzustellen. Im Untersuchungsgebiet werden vier große Versickerungsanlagen überprüft (Tab. 6.16).

Die durchschnittlichen GWNB-Raten in den Bereichen der Versickerungsanlagen betragen zwischen 58 mm/a (Edeka Minden) und 306 mm/a (Ortsmitte Bad Oeynhausen). Hohe GWNB-Raten sind nur in der Versickerungsanlage Ortsmitte Bad Oeynhausen festzustellen (siehe Abb. 6.21). Da jedoch auch die Umgebung hohe Raten aufweist, ist eine Beeinflussung der GWNB-Raten durch die Versickerung unwahrscheinlich. Die übrigen Anlagen weisen moderate/hohe bzw. geringe GWNB-Raten auf, was eine Berücksichtigung der Systeme in mGROWA unwahrscheinlich macht. Darüber hinaus ist kein Zusammenhang zwischen versiegelten Flächen und den GWNB-Raten erkennbar.

Die GWNB der jeweiligen Versickerungsanlagen sind in Tab. 6.16 berechnet. Daraus ergibt sich eine Gesamtinfiltrationsmenge von ca. 28.021 m^3/a. Bei einem Niederschlag von ca. 700 mm/a und einer versiegelten Fläche von ca. 9 ha, fallen insgesamt ca. 63.000 m^3/a Niederschlag. Daher ist davon auszugehen, dass die Versickerungsanlagen in mGROWA nicht berücksichtigt worden sein können.

Das Wasserhaushaltsmodell mGROWA berücksichtigt die großen Versickerungsanlagen bei den GWNB-Raten nicht explizit. Die Versickerungsmenge der Anlagen ist im Vergleich zu den in Tab. 6.16 dargestellten GWNB-Mengen der zugehörigen Bilanzräume äußerst gering. Daher werden die GWNB-Raten der großen Versickerungsanlagen aufgrund ihrer Geringfügigkeit im Bilanzierungswerkzeug nicht zusätzlich betrachtet. Für eine zukünftige Erfassung von Versickerungsanlagen ist es sinnvoll, diese in mGROWA detaillierter zu berücksichtigen.

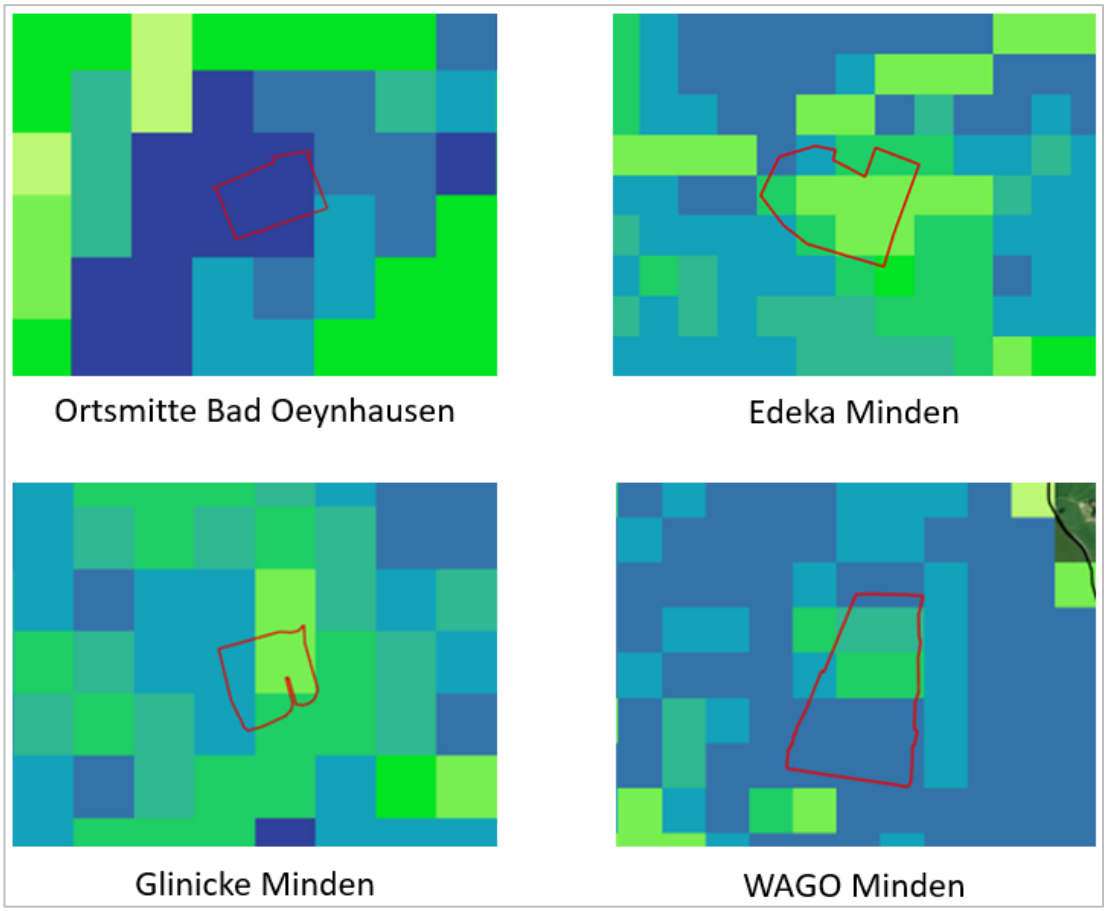


Abb. 6.21: Flächenmäßige Ausdehnung der vier Versickerungsanlagen mit den zugehörigen GWNB-Raten aus mGROWA. GWNB-Zuordnung: Dunkelblau = Sehr hoch; Blau = Hoch; Grün = Mittel; Hellgrün = Gering

Versickerungsanlage	**GWNB (Niederschlagsversickerungsanlage) [m³/a]**	**GWNB (Bilanzraum) [m³/a]**
Edeka Minden	4.479	13.469.618
Glinicke Minden	1.474	
Ortsmitte Bad Oeynhausen	4.693	2.735.763
WAGO Minden	17.375	13.677.461
Summe	28.021	29.882.842

Tab. 6.16: Mengenmäßiger Vergleich der GWNB im Versickerungsanlagenbereich mit der GWNB im Bilanzraum

7 Minderungen und Beeinflussungen des Grundwasserdargebots

Die DIN 4049-3 (1994) definiert drei Grundwasserdargebotsarten. Das Grundwasserdargebot *"Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz […] für einen Grundwasserabschnitt […]" (siehe Kap. 6)*, das gewinnbare Grundwasserdargebot *„Teil des Grundwasserdargebots […], der mit technischen Mitteln entnehmbar ist"* und das nutzbare Grundwasserdargebot *„Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebots […], der für die Wasserversorgung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann"*. Die Beziehungen der Grundwasserdargebotsarten sind in Abb. 7.1 dargestellt.

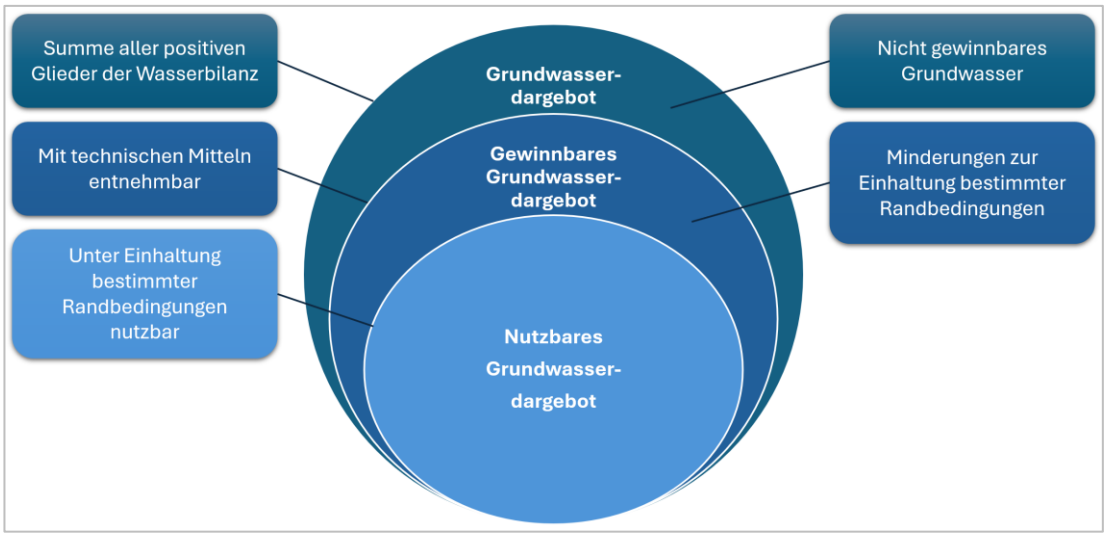


Abb. 7.1: Grundwasserdargebotsarten nach DIN 4049-3 (1994)

Im Folgenden wird zunächst das gewinnbare Grundwasserdargebot auf Basis der technischen Gewinnbarkeit bestimmt und im Anschluss verschiedene „bestimmte Randbedingungen", die es einzuhalten gilt, untersucht und definiert. Dies sind zum einen ökologische Randbedingungen, wie Mindestwasserabfluss in Vorflutern, der Schutz grundwasserabhängiger Landökosysteme, zum anderen aber auch qualitative Randbedingungen wie Versalzung oder anthropogene Randbedingungen wie Einflüsse von Bergbau.

7.1 Technische Gewinnbarkeit

Zur Beurteilung der mit technischen Mitteln gewinnbaren Grundwassermenge ist zunächst zu untersuchen, welchen Einschränkungen die Gewinnbarkeit unterliegt. Hierzu wird dargestellt, wie dieses Thema in den Konzepten der anderen Bundesländer behandelt wurde. Weiterhin wird geprüft, welche Einschränkungen im Kreis Minden-Lübbecke Anwendung finden können und festgelegt, wie diese Eingang in das Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots finden können.

Vorgehen in anderen Bundesländern

In vier der sechs Bundesländer mit einem Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots (siehe Kap. 4) wird das gewinnbare Grundwasserdargebot berücksichtigt. Hierbei wird die Begriffsdefinition nach DIN 4049-3 jedoch nicht immer befolgt. In **Brandenburg** wird das „nicht nutzbare Grundwasserdargebot“ aus versalzten Flächen, Grundwasserleiterfehlstellen, grundwasserabhängigen Landökosystemen und Flächen mit einem Grundwasserflurabstand <2 m ermittelt. Dies vermischt technische Aspekte (Grundwasserleiterfehlstellen) mit weiteren Randbedingungen, die der Einhaltung einer nachhaltigen Grundwasserentnahme dienen (grundwasserabhängige Landökosysteme). In **Mecklenburg-Vorpommern** werden nicht nutzbare Bereiche ebenfalls aus technischer und nachhaltiger Sicht ausgewiesen. Diese sind Grundwasserleiterfehlstellen, Flächen mit einem Grundwasserflurabstand <2 m, Grundwasserstände <0 m, Küstenstreifen und versalzte Flächen. In **Niedersachsen** wird die gewinnbare Grundwasserdargebotsreserve durch Abzug für ungünstige Entnahmebedingungen (Festgestein) und versalzten Flächen definiert. Auch hier spielt die Nachhaltigkeit der Grundwasserentnahme eine Rolle. In **Sachsen-Anhalt** und **Thüringen** werden keine Angaben zum gewinnbaren Grundwasserdargebot gemacht. In **Sachsen** wird das gewinnbare Grundwasserdargebot mit dem potenziellen Grundwasserdargebot gleichgesetzt. Dies geschieht aus dem Grund, dass die technische Gewinnbarkeit anlagenbezogen ist und daher nicht für einen Grundwasserkörper abgeleitet werden kann.

Einschränkungen im Kreis Minden-Lübbecke

Die technischen Einschränkungen, die in den Konzepten der anderen Bundesländer aufgeführt werden, sind

+ Grundwasserleiterfehlstellen

+ Ungünstige Entnahmebedingungen (Festgestein)

Grundwasserleiterfehlstellen sind im Kreis Minden-Lübbecke nicht ausgewiesen. In **Anlage 9** ist dargestellt, dass flächendeckend Fest- oder Lockergesteinsgrundwasserleiter vorliegen und diese eine mittlere bis sehr geringe hydraulische Leitfähigkeit aufweisen. **Anlage 10** zeigt, dass flächendecken Kluft- und Porengrundwasserleiter vorliegen. Dies und die Tatsache, dass flächendeckend eine Grundwasserneubildung bzw. -zehrung berechnet wird (siehe **Anlage 14**) legt nahe, dass es keine Grundwasserleiterfehlstellen im Kreis Minden-Lübbecke gibt, die für eine Minderung der technischen Gewinnbarkeit herangezogen werden können.

Ungünstige Entnahmebedingungen können in Festgestein vorliegen, sind allerdings auch in bindigen Lockergesteinen möglich. Eine Kartengrundlage zu Entnahmebedingungen in Nordrhein-Westfalen gibt es nicht. Es liegen jedoch Einstufungen zur Ergiebigkeit der Grundwasserkörper in den Grundwasserkörpersteckbriefen vor. Diese Einstufung sowie die Gesteinsart und der Typ der Grundwasserleiter in den Grundwasserkörpern ist in Abb. 7.2 dargestellt.

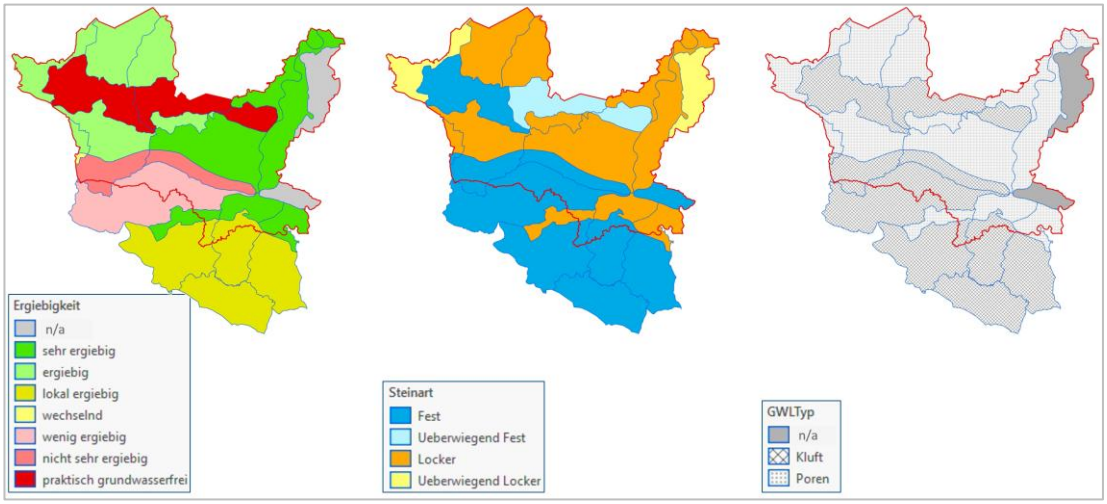


Abb. 7.2: Ergiebigkeit, Gesteinsart und Grundwasserleitertyp aus den Grundwasserkörpersteckbriefen

In Abb. 7.2 ist zu sehen, dass die Ergiebigkeit von „sehr ergiebig“ bis „praktisch grundwasserfrei“ variiert. Die ergiebigeren Bereiche sind Lockergesteins- und Porengrundwasserleiter. In **Anlage 10** ist jedoch zu sehen, dass die Abfolge von Locker- und Festgestein deutlich inhomogener ist als in Abb. 7.2 auf Grundwasserkörperebene dargestellt. So sind dort auch oberhalb des Zusammenstroms von Else und Werre Lockergesteinsbereiche vorhanden, die auf Grundwasserkörperebene nicht verzeichnet sind. Gleiches gilt für die Kleine Aue östlich von Espelkamp. Eine Zuordnung von Minderungen aufgrund der Ergiebigkeit und somit der technischen Gewinnbarkeit lässt sich auf dieser Basis somit nicht bestimmen. Auch auf Basis der geologischen Karte ist dies aufgrund der hohen Heterogenität des Untergrundes schwierig. Zudem wird in der Regel nur der relativ oberflächennahe Untergrund abgebildet, so dass Grundwasserentnahmen aus tieferen Bereichen dadurch unberücksichtigt bleiben würden.

Eine Minderung des Grundwasserdargebots um eine nicht gewinnbare Grundwassermenge würde weiterhin den Aufwand der Antragsteller vorwegnehmen, den dieser bereit ist zu betreiben, um Grundwasser zu gewinnen. Zudem erfolgt eine Ergiebigkeitsbetrachtung in der Regel lokal in detaillierten Untersuchungen des Untergrundes. Aus diesen Gründen und weil mit der vorliegenden Datenbasis keine plausible Einschränkung vorgenommen werden kann, wird das gewinnbare Grundwasserdargebot dem Grundwasserdargebot gleichgesetzt.

7.2 Mindestwasserabfluss Oberflächengewässer

Die Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) verlangen, dass Oberflächengewässer einen guten ökologischen Zustand erreichen bzw. dieser erhalten wird. Dafür ist die Sicherstellung eines Mindestwasserabflusses essenziell, da er die Grundlage für den Erhalt der standorttypischen Lebensgemeinschaften bildet. Ein ausreichender Mindestwasserabfluss gewährleistet, dass die für den jeweiligen Gewässertyp typischen Arten und Lebensräume bestehen bleiben und negative Auswirkungen wie Lebensraumverlust, Verschlechterung der Wasserqualität oder Kolmatierung vermieden werden. Die Sicherstellung eines Mindestwasserabflusses in Oberflächengewässern stellt also eine maßgebliche „bestimmte Randbedingung“ nach DIN 4049-3 dar. Im Folgenden wird erläutert, mit welchen Methoden der Mindestwasserabfluss sichergestellt werden kann.

7.2.1 Festlegung eines Mindestwasserorientierungswertes

Die Ermittlung des Mindestwasserabflusses wurde im LAWA-Projekt zur “Herleitung von Orientierungswerten für die Mindestwasserführung von Fließgewässern“ (LAWA, 2019) untersucht. Zunächst wurden umfangreiche biologische Monitoringdaten (Makrozoobenthos und Fische) sowie hydrologische Modelldaten aus den Bundesländern zusammengetragen und in einer zentralen Datenbank vereinheitlicht. Für jede Messstelle wurden relevante Attribute wie mittlere Niedrigwasserspende (MNq), Einzugsgebietsgröße, Gewässertyp, Ökoregion und Gebietsniederschlag erfasst.

Die Ableitung der Mindestwasserorientierungswerte (MOW) erfolgte dann durch die Analyse der Zusammenhänge zwischen den hydrologischen Kenngrößen (insbesondere MNq) und den ökologischen Zustandsbewertungen. Hierzu wurden die Messwertverteilungen für verschiedene Bewertungsklassen der biologischen Qualitätskomponenten ausgewertet. Als Schwellenwert für den Mindestwasserabfluss wurde in der Regel das 25%-Perzentil der Klassen „sehr gut/gut“ herangezogen, da sich dieser Wert als besonders aussagekräftig für die Zielerreichung eines guten ökologischen Zustands erwiesen hat.

Um regionale Unterschiede und weitere Einflussfaktoren zu berücksichtigen, wurden die typologischen Fallgruppen (siehe Tab. 7.2) und Gewässertypen (siehe Tab. 7.1) zusätzlich nach Gebietsniederschlag und nach dem Verhältnis von mittlerem Niedrigwasserabfluss (MNQ) zu mittlerem Abfluss (MQ) differenziert. Mit statistischen Tests und Regressionsanalysen wurde die Belastbarkeit und Signifikanz der abgeleiteten Werte geprüft. Die Anwendung des Gebietsniederschlags hat sich dabei als nicht zielführend herausgestellt und wurde vernachlässigt. Die Ermittlung des Mindestwasserabflusses basiert somit auf einer Kombination aus ökologischer Bewertung, hydrologischer Analyse und statistischer Auswertung, wobei die abgeleiteten Werte als fachlich fundierte Orientierungshilfen für die Praxis dienen sollen.

Für die Anwendung sollten möglichst die differenziertesten vorliegenden Daten verwendet werden. Somit hat die Verwendung des Gewässertyps Vorrang vor der Verwendung der typologischen Fallgruppe. Weiterhin haben nach dem MNQ/MQ-Verhältnis differenzierte Daten Vorrang vor undifferenzierten Daten. Die Mindestwasserorientierungswerte sind anhand der mittleren Niedrigwasserabflüsse abgeleitet worden. Daher ist davon auszugehen, dass die Abflüsse auch unterschritten werden können, ohne dass die Erreichbarkeit eines guten ökologischen Zustands unmittelbar gefährdet ist.

LAWA-Gewässertyp	MNQ/MQ-Verhältnis	MOW_{MZB} [l/s*km²]		MOW_{Fische} [l/s*km²]
		differenziert	gesamt	gesamt
Typ 09.2 Große Flüsse des Mittelgebirges			2,6	2,3
Typ 12 Organisch geprägte Flüsse			0,8	0,9
Typ 14 Sandgeprägte Tieflandbäche			0,9	0,6
Typ 17 Kiesgeprägte Tieflandflüsse			-	1,9
Typ 18 Löss-lehmgeprägte Tieflandbäche			0,8	-

Tab. 7.1: Für die LAWA-Gewässertypen empfohlene MOW (durchgestrichene Felder kennzeichnen Kombinationen, die nicht untersucht wurden); Quelle: LAWA (2019)

Typologische Fallgruppe	MNQ/MQ-Verhältnis	MOW_{MZB} [l/s*km²]		MOW_{Fische} [l/s*km²]
		differenziert	gesamt	gesamt
Mittelgebirge - Bäche	MNQ/MQ <= 0,159	0,8	1,2	1,2
	0,159 < MNQ/MQ <= 0,284	2,1		
	MNQ/MQ > 0,284	3,1		
Mittelgebirge - Flüsse	MNQ/MQ <= 0,159	1,3	1,9	-
	0,159 < MNQ/MQ <= 0,284	2,4		
	MNQ/MQ > 0,284	3,8		
Tiefland - Bäche	MNQ/MQ <= 0,305	0,6	0,8	-
	MNQ/MQ > 0,305	2		
Tiefland - Flüsse	MNQ/MQ <= 0,305	1	1,1	-
	MNQ/MQ > 0,305	-		

Tab. 7.2: Für die typologischen Fallgruppen empfohlene MOW; Quelle: LAWA (2019)

In Tab. 7.1 und Tab. 7.2 sind die ermittelten Mindestwasserorientierungswerte dargestellt. In Tab. 7.1 sind die nach Gewässertyp festgelegten Werte dargestellt und in Tab. 7.2 die nach typologischer Fallgruppe und MNQ/MQ-Verhältnis ermittelten. Dabei wurden nur im Untersuchungsgebiet vorkommende Gewässertypen und Fallgruppen berücksichtigt. So ist z. B. die Fallgruppe für Gewässer des Alpenvorlands nicht dargestellt.

7.2.2 Berechnung des Mindestwasserabflusses

Für die Berechnung des Mindestwasserabflusses anhand der in Kap. 7.2.1 dargestellten Mindestwasserorientierungswerte im Projektgebiet wurden die Gewässertypen und typologischen Fallgruppen der Gewässer sowie die Einzugsgebiete und Hauptwerte der vorliegenden Oberflächenwasserpegel ermittelt. Hierbei wurde zunächst auf Grundlage der Basiseinzugsgebiete der Oberflächengewässer gearbeitet.

Die Fließgewässertypen wurden nicht mit den von der LAWA bereitgestellten Daten festgelegt, sondern mit den in Nordrhein-Westfalen ermittelten und vom LANUK NRW online bereitgestellten Daten. Die verwendeten Daten lagen für wesentlich mehr Oberflächengewässer vor als die von der LAWA bereitgestellten. Die Hauptwerte der Oberflächenwasserpegel wurden für den Zeitraum 1991-2020 ermittelt, wenn die Zeitreihen entsprechend lang waren (siehe Tab. 7.3).

Jedem Basiseinzugsgebiet wurden der Gewässertyp, die typologische Fallgruppe und das berechnete MNQ/MQ-Verhältnis zugewiesen. Sollten in einem Basiseinzugsgebiet zwei Gewässertypen vorliegen, wurde der Gewässertyp mit dem jeweils höheren Mindestwasserorientierungswertes zugewiesen. Die typologische Fallgruppe wurde, differenziert nach den hydrogeologischen Großlandschaften „Westfälisches Tiefland“ und „Weserbergland“, in „Tiefland“ und „Mittelgebirge“ unterteilt. Das MNQ/MQ-Verhältnis wurde nur innerhalb der Pegeleinzugsgebiete (siehe Abb. 3.1 in Kap. 3 von **Anhang 1**) zugewiesen. Außerhalb von Pegeleinzugsgebieten wurde der Mindestwasserorientierungswert nicht nach dem MNQ/MQ-Verhältnis differenziert. Die ermittelten MNQ/MQ-Verhältnisse in den Pegeleinzugsgebieten sind in Tab. 7.3 dargestellt.

Pegeleinzugsgebiet	MNQ/MQ	Zeitraum	Gebiet [km²]
Ahmsen	0,269	1991-2020	54,8
Bierde	0,137	1991-2020	33,7
Herford	0,192	1991-2020	20,8
Hiddenhausen II	0,169	1991-2020	3,8
Liemergrund	0,109	1991-2020	47,1
Lindemannsheide	0,238	1991-2020	7,0
Löhne	0,217	1991-2020	124,4
Niedermehnen	0,023	1991-2019	62,3
Oberahle	0,101	1991-2020	17,4
Rodenbeck	0,131	2003-2019	112,5

Tab. 7.3: MNQ/MQ-Verhältnis in den Pegeleinzugsgebieten des Projektgebietes

7.2.3 Plausibilität des Mindestwasserabflusses

Eine Anwendung des Mindestwasserorientierungswertes als „bestimmte Randbedingung“ nach DIN 4049-3 würde erfordern, dass der Mindestwasserabfluss vom Grundwasserdargebot abgezogen wird und nicht für Entnahmen zur Verfügung steht. Da die Datengrundlage mit Unsicherheiten sowohl in der Grundwasserneubildung als auch in den Oberflächenabflüssen behaftet ist (siehe Kap. 5.3), wird zunächst das Verhältnis von mittlerer Grundwasserneubildung zu Mindestwasserabfluss in den Bilanzräumen verglichen. Hierzu wird der für die Basiseinzugsgebiete ermittelte Mindestwasserorientierungswert (siehe Kap. 7.2.2) flächengewichtet auf die Bilanzräume übertragen. Anschließend wird die Differenz zwischen Mindestwasserabfluss und mittlerer Grundwasserneubildung berechnet und der Anteil der Differenz an der Menge des Mindestwasserabfluss ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 7.4 dargestellt. Da die Bilanztraumteilung in den Bilanzräumen HRF_ML, KSW2_ML, NHM_H, NHM_ML, WG_1_H, WG1_ML und WG2_ML erst nach der Bestimmung der Mindestwasserabflüsse erfolgt ist und die sich ergebenden Bilanzräume teilweise sehr klein sind, werden diese Bilanzräume im Folgenden gemeinsam betrachtet.

In Tab. 7.4 ist zu sehen, dass die Grundwasserneubildung in 26 der 33 Bilanzräume größer und in 7 der 33 Bilanzräume kleiner ist als der erforderliche Mindestwasserabfluss. Das Verhältnis mittlere Grundwasserneubildung zu Mindestwasserabfluss ist in Abb. 7.3 als Streudiagramm dargestellt. Hier ist zu sehen, dass die Grundwasserneubildung überwiegend größer ist als der Mindestwasserabfluss. Bei den Bilanzräumen, bei denen der Mindestwasserabfluss größer ist als dies mittlere Grundwasserneubildung, ist der Unterschied zwischen diesen zwei Werten mit <30 % in der Regel gering. Eine Ausnahme stellt hierbei der Bilanzraum Große Aue Lockergestein Links in Minden-Lübbecke (GALL_ML) dar.

Bilanzraum	Mindestwasserabfluss [m³/a]	Mittlere Grundwasserneubildung [m³/a]	Differenz MOW/GWN [%]
GALL_ML	2.631.780	469.638	82
GALR_ML	1.917.116	1.327.285	31
GALS1_ML	2.082.579	3.308.690	-59
GALS2_ML	652.779	2.052.661	-214
HRF_ML	50.047	117.729	-135
HRL1_ML	1.456.758	1.638.221	-12
HRL2_ML	270.381	1.020.216	-277
KSP1_ML	3.012.305	2.791.152	7
KSP2_ML	1.955.151	1.900.150	3
KSW1_ML	1.752.592	4.467.093	-155
KSW2_ML	906.241	1.862.659	-106
MTG1_H	7.470.935	10.261.190	-37
MTG1_L	4.460.268	9.486.269	-113
MTG1_ML	347.752	466.120	-34
NHM_H	6.327.284	4.635.158	27
NHM_ML	3.005.331	2.734.139	9
NTG1_H	2.447.401	6.322.632	-158
NTG1_L	3.652.909	11.143.894	-205
NTG1_ML	897.870	1.464.449	-63
OH_ML	1.715	6.719	-292
PK_ML	935.883	1.320.976	-41
TWW1_ML	1.989.300	8.220.871	-313
TWW2_L	372.024	948.385	-155
TWW2_ML	1.456.796	5.333.717	-266
WBE1_H	1.088.282	3.089.185	-184
WBE1_ML	292.478	1.247.229	-326
WG1_H	354.560	394.889	-11
WG1_ML	1.401.999	3.189.667	-128
WG2_ML	1.363.605	2.914.037	-114
WLL1_ML	313.173	-67.469	122
WLL2_ML	1.387.819	3.615.705	-161
WLL3_ML	4.416.509	13.469.618	-205
WLR_ML	4.527.303	13.677.461	-202

Tab. 7.4: Mindestwasserabfluss und Grundwasserneubildung je Bilanzraum

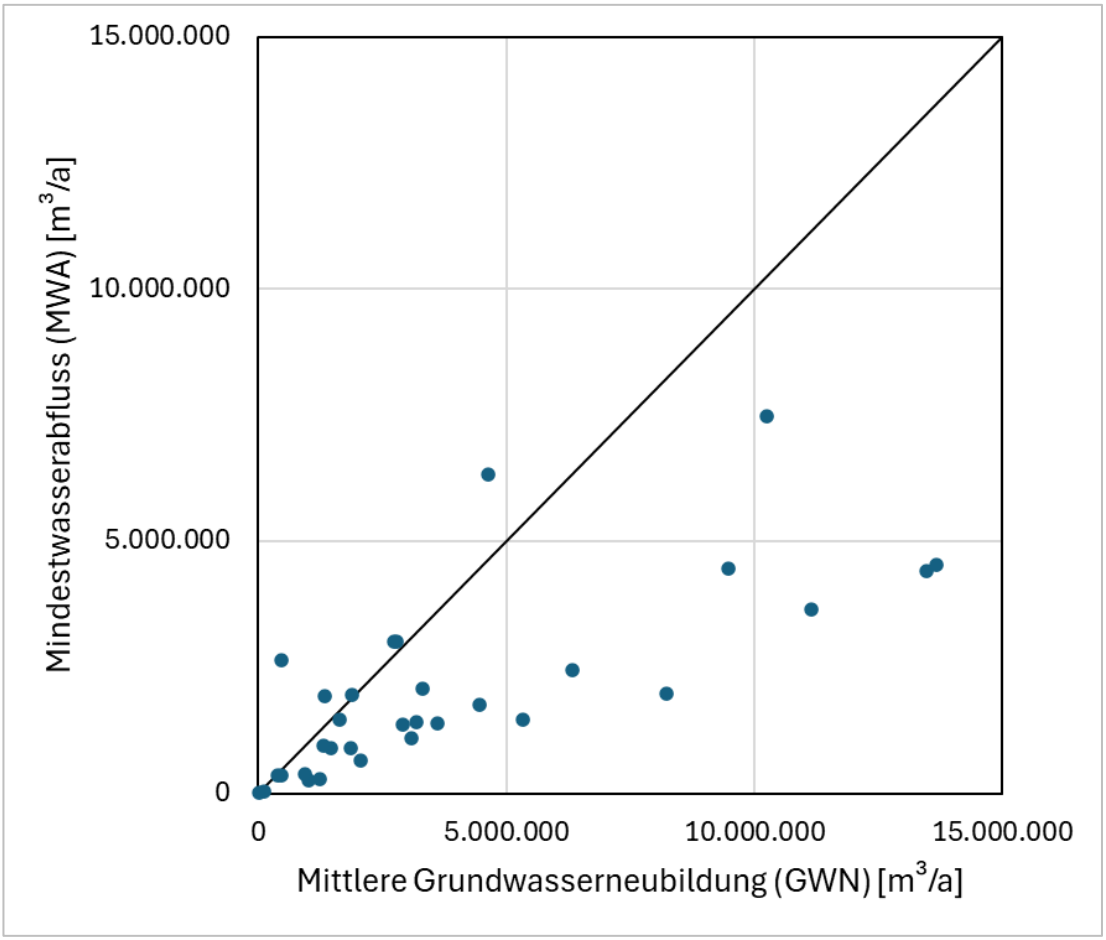


Abb. 7.3: Verhältnis der mittleren Grundwasserneubildung zum Mindestwasserabfluss

Eine Bilanzierung des Mindestwasserabflusses auf Basis der Bilanzräume ergibt unplausible Ergebnisse, da teilweise mehr Wasser für den Mindestabfluss gesichert werden sollte, als an Grundwasser neu gebildet wird. Aus diesem Grund wird geprüft, ob eine Aggregierung des Mindestwasserabflusses und der Grundwasserneubildung plausible Ergebnisse erzielt. Hierfür werden sowohl der Mindestwasserabfluss als auch die mittlere Grundwasserneubildung auf Basis der hydrogeologischen Großlandschaften aggregiert. Im Projektgebiet liegen das „Westfälische Tiefland“ und das „Weserbergland“ vor (siehe Abb. 7.4).

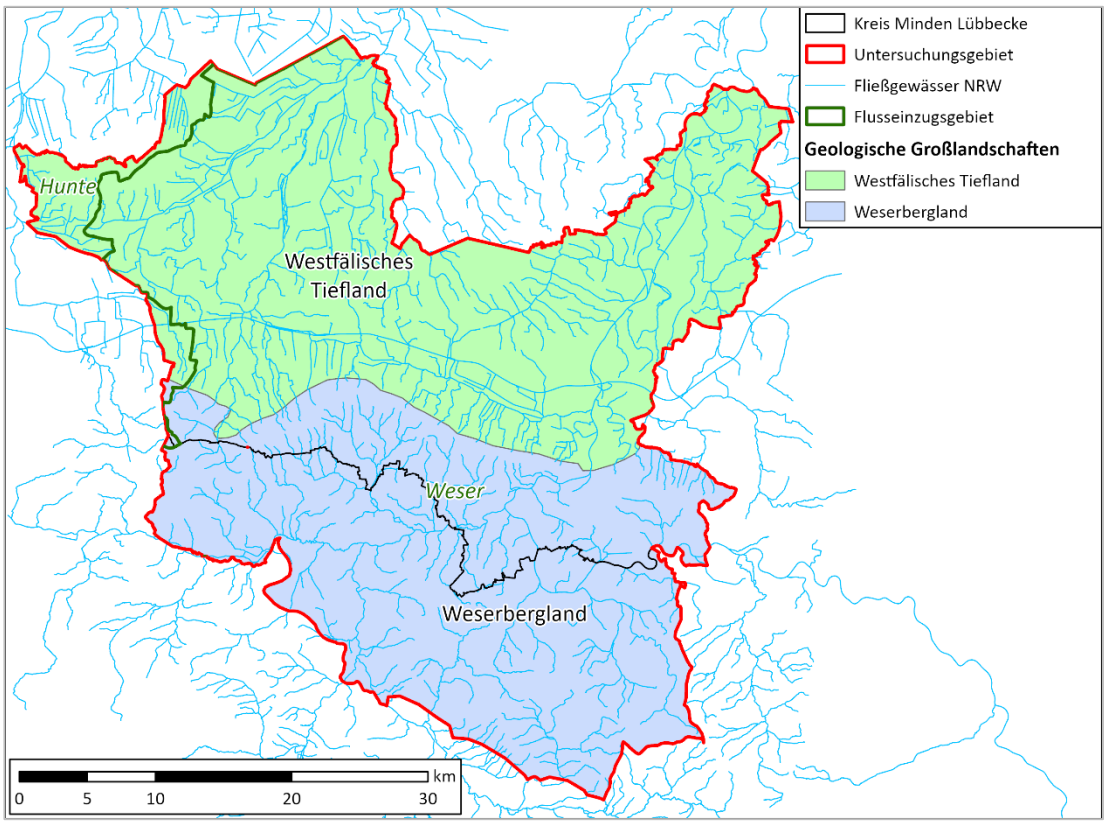


Abb. 7.4: Hydrogeologische Großlandschaften und Flusseinzugsgebiete im Projektgebiet

Die berechneten Werte sind in Tab. 7.5 dargestellt. Hier ist zu sehen, dass das Verhältnis von Mindestwasserabfluss und mittlerer Grundwasserneubildung auf aggregierter Ebene Differenzen ergeben, die es erlauben den Mindestwasserabfluss von der mittleren Grundwasserneubildung abzuziehen. In der hydrogeologischen Großlandschaft Weserbergland beträgt der Anteil des Mindestwasserabflusses an der mittleren Grundwasserneubildung 51,6 % und im Westfälischen Tiefland 53,3 %.

	Mittlere Grundwasser-neubildung [m^3/a]	Mindestwasser-abfluss [m^3/a]	Anteil [%]
Westfälisches Tief-land	53.439.200	28.384.814	53,1
Weserbergland	71.389.210	36.814.113	51,6

Tab. 7.5: Mittlere Grundwasserneubildung und Mindestwasserabfluss aggregiert nach hydrogeologischen Großlandschaften

Eine weitere Aufteilung der Aggregierung auf hydrogeologische Großlandschaften und Flusseinzugsgebiete wurde für das Westfälische Tiefland mit den Einzugsgebieten von Weser und Hunte vorgenommen. Die Ergebnisse sind in Tab. 7.6 aufgetragen. Hier ist zu sehen, dass der Mindestwasserabfluss im Einzugsgebiet der Hunte ca. 54,7 % des Grundwasserdargebots beträgt und im Einzugsgebiet der Weser ca. 53,0 %.

	Mittlere Grundwasser-neubildung [m^3/a]	Mindestwasser-abfluss [m^3/a]	Anteil [%]
Weser	50.776.084	26.927.745	53,0
Hunte	2.663.363	1.457.069	54,7

Tab. 7.6: Mittlere Grundwasserneubildung und Mindestwasserabfluss aggregiert nach Flusseinzugsgebieten in der hydrogeologischen Großlandschaft Westfälisches Tiefland

7.2.4 Umsetzung der Sicherung des Mindestwasserabflusses

Die Sicherung des Mindestwasserabflusses wird im Konzept berücksichtigt. Der Mindestwasserabfluss wird auf Basis von LAWA (2019) berechnet und dabei werden die differenziertesten Werte verwendet, für die Daten vorliegen. Der Anteil des Mindestwasserabflusses an der Grundwasserneubildung wird auf der Fläche der hydrogeologischen Großlandschaften bestimmt. Um diesen Anteil wird das Grundwasserdargebot gemindert, um den Mindestwasserabflusses sicherzustellen.

Auf eine Differenzierung nach Flusseinzugsgebieten wird verzichtet, da der Anteil der Hunte am Projektgebiet relativ klein ist Die Größe der betrachteten Gebiete spielte auch bei der Berechnung auf Basis der Bilanzräume eine Rolle. Für die Umsetzung des Konzeptes auf Landesebene ist zu empfehlen, dass die möglicherweise notwendige Aggregierung der Daten erneut geprüft wird.

7.3 Grundwasserabhängige Landökosysteme

Grundwasserabhängige Landökosysteme werden bei der Bestimmung des guten chemischen und mengenmäßigen Zustandes durch die Wasserrahmenrichtlinie ausdrücklich geschützt. So sollen die chemische Zusammensetzung des Grundwassers sowie der Grundwasserstand keinen anthropogenen Veränderungen unterliegen, die zu einer signifikanten Schädigung von grundwasserabhängigen Landökosystemen führen. Daher soll durch das Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots ein Mechanismus einbezogen werden, der den Schutz der grundwasserabhängigen Landökosysteme vor Grundwasserentnahmen würdigt. Der Nachweis der tatsächlichen Nichtbeeinträchtigung ist jedoch kleinteiliger zu betrachten, als es dieses Konzept zulässt, und wird in den Wasserrechtsverfahren erbracht.

Grundwasserabhängige Landökosysteme weisen überwiegend einen sehr geringen Grundwasserflurabstand und daraus folgend eine Grundwasserzehrung, also eine negative Grundwasserneubildung, auf. Es ist davon auszugehen, dass in grundwasserabhängigen Landökosystemen Grundwasser für die Verdunstung benötigt wird. Ist nicht genug Grundwasser vorhanden, wird der Grundwasserstand sinken und die Landökosysteme werden beeinträchtigt. Die für die Grundwasserzehrung in den grundwasserabhängigen Landökosystemen benötigte Wassermenge geht bereits in die Gesamtbilanz der Bilanzräume ein. Somit wird hier bereits das Grundwasserdargebot verringert und sichergestellt, dass der Anteil des Wassers, der für die Grundwasserzehrung in grundwasserabhängigen Landökosystemen benötigt wird, nicht für eine Grundwasserentnahme zugelassen wird.

Teilbereiche eines grundwasserabhängigen Landökosystems können eine positive Grundwasserneubildung aufweisen. Aufgrund des Schutzstatus eines grundwasserabhängigen Landökosystems ist davon auszugehen, dass kein Grundwasser innerhalb des grundwasserabhängigen Landökosystems entnommen wird. Um eine zu starke räumliche Verschiebung zwischen Grundwasserneubildung und Grundwasserentnahmen innerhalb des Bilanzraumes zu vermeiden, soll das im grundwasserabhängigen Landökosystem neugebildete Grundwasser auch nirgendwo anders entnommen werden.

Es wurden die folgenden vier verschiedenen Varianten berechnet, um zu prüfen, mit welchem Vorgehen der Schutz der grundwasserabhängigen Landökosysteme im Konzept vorgenommen werden soll.

7.3.1 Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz als Betrag der Summe aller grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraum

Da weder ein Überschuss (positive Grundwasserneubildung) noch die zur Deckung eines Defizits nötige Menge (negative Grundwasserneubildung) im grundwasserabhängigen Landökosystem woanders entnommen werden soll, wurde zunächst der Betrag der Grundwasserneubildung als Minderung des nutzbaren Grundwasserdargebots geprüft.

Um den Schutz des grundwasserabhängigen Landökosystems zu erhöhen und die Auflösung der Basisdaten von 100x100 m zu würdigen, wurde ein Saum um das grundwasserabhängige Landökosystem vorgesehen. Auch die Breite des Saumes wurde variiert, so dass der Betrag der Grundwasserneubildung ohne Saum, mit einem 50 m breiten Saum und einem 100 m breiten Saum berechnet und als Grundwasserneubildungsbilanz je Bilanzraum geprüft wurde.

Es wurde festgestellt, dass in bestimmten Bilanzräumen der Betrag der Grundwasserneubildung mit zunehmender Saumbreite abnimmt. Dies ist möglich, wenn das grundwasserabhängige Landökosystem im Mittel eine Zehrung, der jeweilige Saum aber eine positive Grundwasserneubildung aufweist oder umgekehrt. Bei der Berechnung der Grundwasserneubildungsbilanz für die Gesamtfläche wird dann die Grundwasserneubildungsbilanz der Ausgangsfläche von der Grundwasserneubildungsbilanz des Saumes abgezogen (oder umgekehrt) und der Betrag der Gesamtmenge insgesamt geringer.

In Abb. 7.5 ist dies schematisch mit einem Saum dargestellt. In diesem Beispiel hat das grundwasserabhängige Landökosystem eine mittlere Zehrung von -100 mm/a, was bei einer Fläche von 54.000 m² einer Menge von -5.400 m³/a entspricht. Der Saum weist mit +10 mm/a bei einer Fläche von 34.000 m² eine geringfügige Grundwasserneubildung von insgesamt 340 m³/a auf. Würde das grundwasserabhängige Landökosystem ohne Saum bewertet, würde die Minderung für diese Fläche +5.400 m/a betragen. Bei Betrachtung mit Saum, würde der Betrag der Summe von -5.400 m³/a und +340 m³/a gebildet, was dann einer Minderung von 5.060 m³/a entspricht.

Dies widerspricht jedoch der Grundidee, bei der die grundwasserabhängigen Landökosysteme durch die Verwendung eines Saumes besser geschützt werden sollen als ohne. Die Minderung der grundwasserabhängigen Landökosysteme sollte daher mit Saum größer sein als ohne.

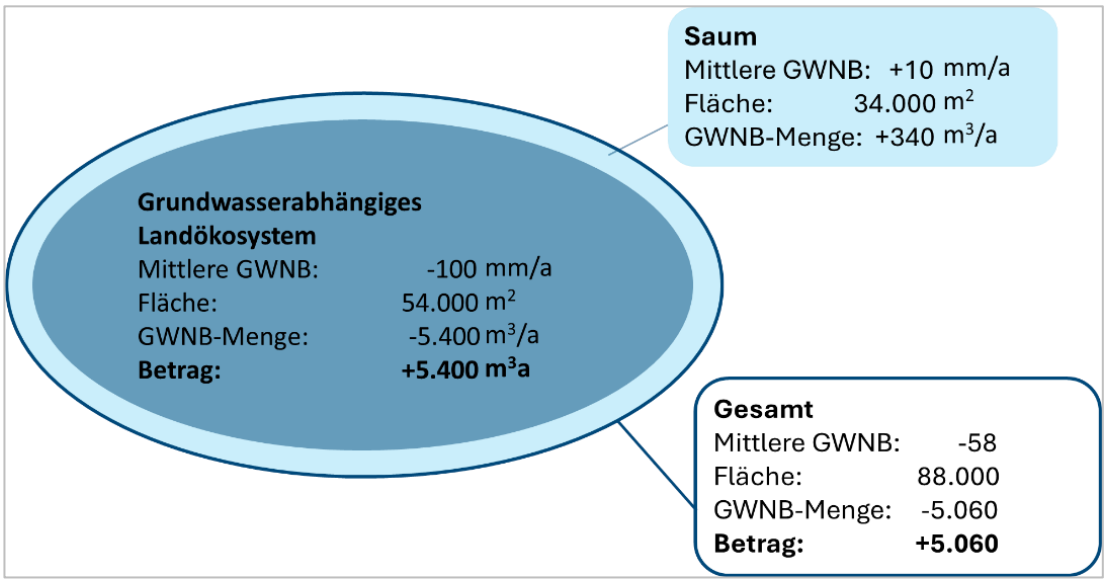


Abb. 7.5 Schematische Darstellung der Verringerung der Grundwasserneubildungsmenge bei Verwendung eines Saumes in der Bewertung

7.3.2 Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz als Betrag der Summe aller grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraumes, mit separater Auswertung der Ausgangs- und Saumflächen

Aus dem oben genannten Grund wurden weitere Berechnungen durchgeführt, bei denen die Fläche aller grundwasserabhängigen Landökosysteme eines Bilanzraumes, aller 50 m Säume und aller 100 m Säume eines Bilanzraumes separat ausgewertet und deren Beträge erst im Anschluss addiert wurden. Dieses Verfahren führt zu wachsenden Grundwasserneubildungsbilanzen bei der Flächenerweiterung durch Saumflächen, ist aber deutlich aufwendiger.

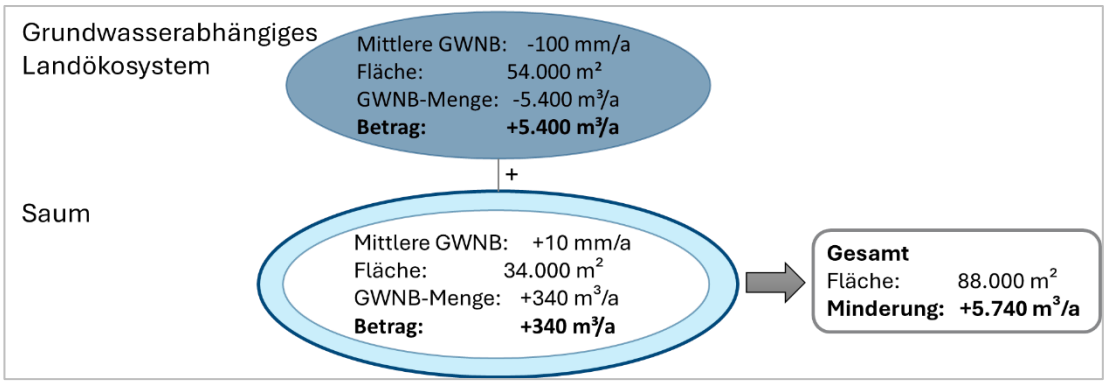


Abb. 7.6: Schematische Darstellung der Verringerung der Grundwasserneubildungsmenge bei separater Betrachtung des Saumes in der Bewertung

Bei beiden vorgenannten Verfahren werden die grundwasserabhängigen Landökosysteme eines Bilanzraumes insgesamt bewertet und deren Grundwasserneubildung somit gemittelt. Eine Auswertung über einzelne grundwasserabhängige Landökosysteme erfolgt nicht. Dadurch können sich Grundwasserneubildung und Zehrungen verschiedener grundwasserabhängiger Landökosysteme in einem Bilanzraum gegeneinander aufrechnen, so dass die Minderung je Bilanzraum insgesamt kleiner wird, als wenn für jedes grundwasserabhängige Landökosystem einzeln der Betrag der jeweiligen Grundwasserneubildung aufsummiert würde. Auch dies widerspricht der Grundidee des sinnvollen Schutzes der grundwasserabhängigen Landökosysteme.

7.3.3 Ermittlung der positiven Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem mit 50 m Saum und Summierung je Bilanzraum

Diese Variante sieht vor, dass für jedes grundwasserabhängige Landökosystem die Summe der positiven Grundwasserneubildungsmengen je Rasterzelle berechnet wird. Dafür werden alle Rasterzellen des Grundwasserneubildungsrasters, die eine Zehrung aufweisen, auf Null gesetzt. Somit ist es nicht mehr möglich, dass ein grundwasserabhängiges Landökosystem in Summe eine Zehrung aufweist. Die Minderungen des gewinnbaren Grundwasserdargebots sind dadurch allerdings in grundwasserabhängigen Landökosystemen, die Zehrungen und Grundwasserneubildung aufweisen, insgesamt deutlich höher als bei den vorgenannten Varianten.

Die grundwasserabhängigen Landökosysteme werden mit einem 50 m Saum umgeben. Dieser wurde gewählt, da er der Hälfte der Rasterzellengröße von mGROWA entspricht. Somit werden Rasterzellen, die nur teilweise von den grundwasserabhängigen Landökosystemen abgedeckt sind, trotzdem noch für die Berechnung der Minderung berücksichtigt. Da es bei automatisierter Bearbeitung der Saumbildung bei nahe nebeneinanderliegenden grundwasserabhängigen Landökosystemen zu Überlappungen der Saumflächen und dadurch folgend zu doppelter Auswertung bestimmter Flächenbereiche kommt, werden nahegelegene grundwasserabhängige Landökosysteme zusammengefasst und gemeinsam ausgewertet (siehe Abb. 7.7).

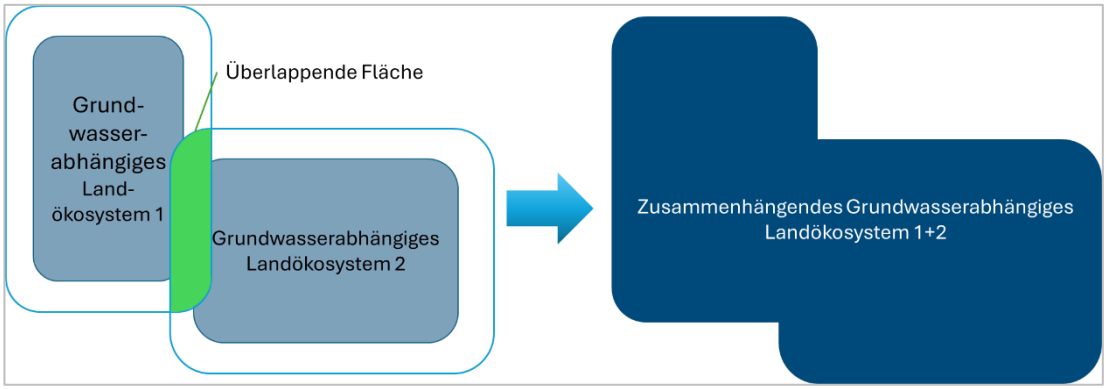


Abb. 7.7: Schematische Darstellung der Auswertung nahegelegener grundwasserabhängiger Landökosysteme

7.3.4 Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem und Summierung der positiven Grundwasserneubildungsmengen je Bilanzraum

Bei dieser Variante wird die Grundwasserneubildungsbilanz für jede zusammenhängende Fläche mit grundwasserabhängigen Landökosystemen (siehe Abb. 7.7) berechnet. Hierbei werden sowohl negative als auch positive Werte berücksichtigt, so dass die Bilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem positiv oder negativ sein kann. Negative Bilanzen werden auf Null gesetzt, da diese bereits bei der Grundwasserdargebotsermittlung insgesamt in die Bilanz eingeflossen sind. Alle positiven Bilanzen eines Bilanzraumes werden addiert und als Minderung verwendet. Die Berechnung wurde einmal ohne Saum und mit einem 50 m Saum durchgeführt. In diesem Ansatz wird also zunächst ein Ausgleich der Bilanz innerhalb spezifischer grundwasserabhängiger Landökosysteme ermöglicht, bevor eine Minderung auf Basis der verbleibenden positiven Wassermenge vorgenommen wird.

7.3.5 Festlegung

Die vier betrachteten Varianten lassen sich wie in Tab. 7.7 dargestellt zusammenfassen.

Variante 1	Beschreibung	Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz als Betrag der Summe aller grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraum
	Vorgehen	Betrag von (Gesamtbilanz in gwaLÖS je Bilanzraum + Gesamtbilanz in Saum je Bilanzraum)
	Schwächen	Größerer Saum, kleinere Sicherung; Keine Einzelbetrachtung der gwaLÖS, Zehrungen und Neubildungen rechnen sich gegeneinander auf
Variante 2	Beschreibung	Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz als Betrag der Summe aller grundwasserabhängigen Landökosysteme je Bilanzraumes, mit separater Auswertung der Ausgangs- und Saumflächen
	Vorgehen	Betrag von (Gesamtbilanz in gwaLÖS je Bilanzraum) + Betrag von (Gesamtbilanz in Saum je Bilanzraum)
	Schwächen	Keine Einzelbetrachtung der gwaLÖS, Zehrungen und Neubildungen rechnen sich gegeneinander auf
Variante 3	Beschreibung	Ermittlung der positiven Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem mit 50 m Saum und Summierung je Bilanzraum
	Vorgehen	Vernachlässigung der Zehrung Gesamtbilanz Grundwasserneubildung einzelner zusammenhängender (gwaLÖS + Saum)
	Schwächen	Kein Ausgleich zwischen Zehrung und Grundwasserneubildung innerhalb eines gwaLÖS
Variante 4	Beschreibung	Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem und Summierung der positiven Grundwasserneubildungsmengen je Bilanzraum
	Vorgehen	Gesamtbilanz einzelner zusammenhängender (gwaLÖS + Saum) Vernachlässigung negativer Bilanzen Summierung positiver Bilanzen je Bilanzraum
	Schwächen	%

Tab. 7.7: Zusammenfassung der betrachteten Varianten zur Sicherung grundwasserabhängiger Landökosysteme

Für das Konzept wird die letztgenannte Variante, also die Ermittlung der Grundwasserneubildungsbilanz je grundwasserabhängigem Landökosystem mit 50 m Saum und Summierung der positiven Grundwasserneubildungsmengen je Bilanzraum festgelegt.

Für die gesamte Bilanzraumfläche wird das Grundwasserdargebot bereits zur Sicherung des Mindestwasserabflusses verringert. Diese Verringerung kommt somit auch innerhalb der nur lokal vorhandenen Flächen der grundwasserabhängigen Landökosysteme zur Anwendung. Um für die grundwasserabhängigen Landökosysteme das Grundwasserdargebot nicht doppelt zu mindern, wird die aus der Grundwasserneubildung innerhalb der grundwasserabhängigen Landökosysteme berechnete positive Grundwasserneubildungsbilanz anhand der Höhe der Reduzierung zur Sicherung des Mindestwasserabflusses modifiziert, indem die Mindestwasserabflussminderung von der Minderung für die grundwasserabhängigen Landökosysteme abgezogen wird (siehe Abb. 7.8).

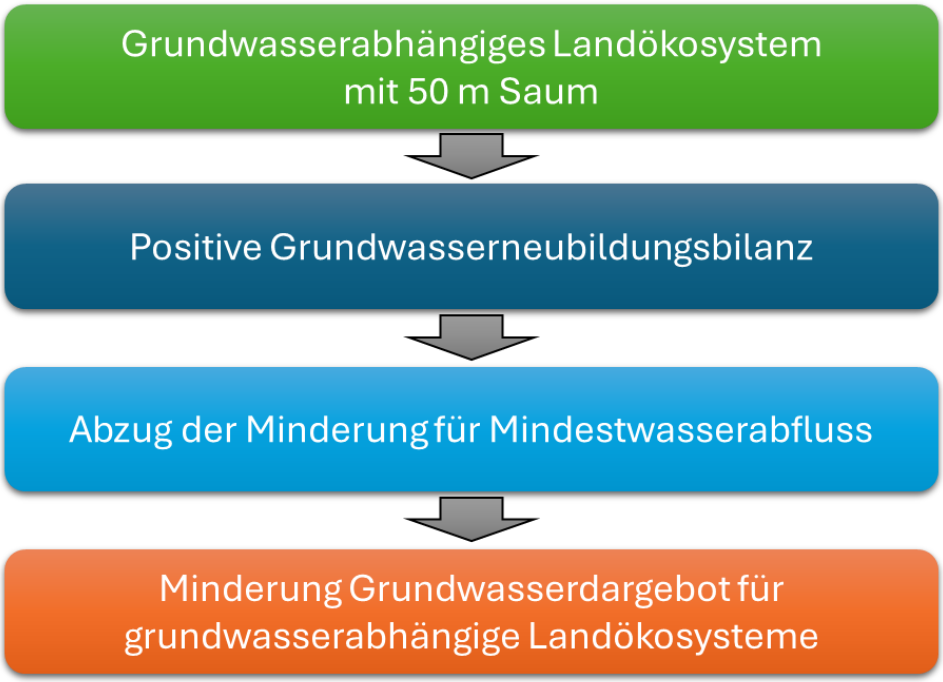


Abb. 7.8: Reduzierung des Grundwasserdargebots zur Sicherung grundwasserabhängiger Landökosysteme

Somit ergibt sich die Reduzierung des Grundwasserdargebots für die grundwasserabhängigen Landökosysteme zu dem Anteil der positiven Grundwasserneubildungsbilanz, der nicht bereits für den Mindestwasserabfluss vom Grundwasserdargebot abgezogen wurde.

In Tab. 7.8 sind die Grundwasserneubildungsbilanzen je Bilanzraum mit den zu berücksichtigenden hydrogeologischen Großlandschaften, der daraus folgenden Mindestwasserabflussreduzierung und der sich ergebenden Minderung des Grundwasserdargebots zur Sicherung der grundwasserabhängigen Landökosysteme aufgeführt.

Bilanzraum	Fläche [m²]	hydrogeologische Großlandschaft	Reduzierung Mindestwasser-abfluss	GWNB-Menge [m³/a]	Minderung gwaLÖS [m³/a]
GALL_ML	6.238.243	Westfälisches Tiefland	53,1%	115.984	54.165
GALR_ML	2.851.185	Westfälisches Tiefland	53,1%	1.962	916
GALS1_ML	4.149.885	Westfälisches Tiefland	53,1%	0	0
GALS2_ML	1.647.406	Westfälisches Tiefland	53,1%	0	0
HRL1_ML	3.434.568	Westfälisches Tiefland	53,1%	14.862	6.941
KSP1_ML	969.731	Westfälisches Tiefland	53,1%	1.191	556
KSP2_ML	790.683	Westfälisches Tiefland	53,1%	1.231	575
KSW1_ML	923.436	Westfälisches Tiefland	53,1%	20.337	9.497
KSW2.1_ML	614.266	Westfälisches Tiefland und Weserbergland	53,1% oder 51,6%	44.493	21.432
KSW2.2_ML	10.372	Weserbergland	51,6%	909	440
KSW2.3_ML	71.273	Weserbergland	51,6%	4.233	2.049
MTG1_H	6.456.365	Weserbergland	51,6%	512.053	247.833
MTG1_L	4.222.492	Weserbergland	51,6%	484.535	234.515
MTG1_ML	9.867	Weserbergland	51,6%	614	297
NHM1_ML	2.575.997	Weserbergland	51,6%	130.994	63.401
NHM3_H	8.512.576	Weserbergland	51,6%	317.753	153.792
NTG1_H	919.679	Weserbergland	51,6%	148.754	71.997
NTG1_L	769.784	Weserbergland	51,6%	88.144	42.662
NTG1_ML	392.693	Weserbergland	51,6%	47.141	22.816
PK_ML	591.820	Westfälisches Tiefland	53,1%	184	86
TWW1_ML	381.978	Weserbergland	51,6%	24.962	12.082
TWW2_L	849.613	Weserbergland	51,6%	97.660	47.267
TWW2_ML	1.316.786	Weserbergland	51,6%	77.898	37.702
WBE1_H	1.218.924	Weserbergland	51,6%	129.829	62.837
WBE1_ML	14.075	Weserbergland	51,6%	818	396
WG1.1_H	43.181	Weserbergland	51,6%	6.329	3.063
WG1.1_ML	384.528	Westfälisches Tiefland und Weserbergland	53,1% oder 51,6%	33.390	16.121
WG1.2_ML	11.195	Weserbergland	51,6%	675	327
WG1.3_H	743.043	Weserbergland	51,6%	34.396	16.648
WG2.1_ML	92.836	Westfälisches Tiefland und Weserbergland	53,1% oder 51,6%	9.068	4.360
WG2.2_ML	696	Weserbergland	51,6%	60	29
WG2.3_ML	555.043	Weserbergland	51,6%	24.053	11.642
WLL1_ML	3.074.139	Westfälisches Tiefland	53,1%	20.929	9.774
WLL2_ML	6.358.701	Westfälisches Tiefland	53,1%	321.568	150.172
WLL3_ML	25.741.579	Westfälisches Tiefland	53,1%	0	0
WLR_ML	10.858.444	Westfälisches Tiefland	53,1%	460.902	215.241
Summe	**97.797.082**			3.177.913	1.523.571

Tab. 7.8: Positive Grundwasserneubildungsbilanz der grundwasserabhängigen Landökosysteme (gwaLÖS) je Bilanzraum und deren Minderung

Insgesamt liegen in 36 der 44 Bilanzräume grundwasserabhängige Landökosysteme mit Flächen von 696 m² bis rd. 25,7 km² vor. Die Grundwasserneubildungsbilanzen der grundwasserabhängigen Landökosysteme in den Bilanzräumen *Große Aue Lockergestein im Süden 1* und *2* sowie *Weser Lockergestein links 3* sind negativ, so dass sie in die Auswertung für die grundwasserabhängigen Landökosysteme als Null eingehen. Insgesamt geht die negative Neubildung jedoch in die Gesamtbilanz ein, so dass bereits eine Minderung des Grundwasserdargebots für diese grundwasserabhängigen Landökosysteme bei der Dargebotsberechnung vorgenommen wird. Die übrigen Grundwasserneubildungsbilanzen betragen zwischen 60 und 512.000 m³/a, im Mittel rd. 96.000 m³/a je Bilanzraum. Durch die Verrechnung mit der bereits erfolgten Minderung für die Sicherung des Mindestwasserabfluss ergeben sich die vorzunehmenden Minderungen für die Sicherung der grundwasserabhängigen Landökosysteme zu 29 bis 248.000 m³/a je Bilanzraum.

7.4 Versalzung

Grundwasserversalzung ist in vielen Bundesländern allgegenwärtig und nicht nur ein Thema an der Küste, wie oft angenommen wird. Grundwasserversalzung verringert die Qualität des Grundwassers und schränkt seine Verwendung ab einer gewissen Konzentration ein. Mit dieser Analyse soll einerseits das Vorhandensein einer Grundwasserversalzung erörtert und andererseits festgelegt werden, wie eine potenzielle Grundwasserversalzung bei der Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots berücksichtigt werden kann.

Dafür wurden folgende Ansätze genutzt:

+ Auswertung der Konzepte aller Bundesländer zum Umgang mit Grundwasserversalzung.
+ Festlegung eines Grenzwerts angelehnt an die Trinkwasserverordnung (TVO) und der Auswirkungen landwirtschaftlicher Beregnung mit salzhaltigem Grundwasser auf Ackerkulturen.
+ Auswertung der Grundwasserkörpersteckbriefe, verschiedener geologischer Karten sowie Literatur hinsichtlich steinsalzhaltiger Schichten und einer Korrelation mit versalztem Grundwasser.
+ Überprüfung der Lage der salzhaltigen Grundwasservorkommen in Niedersachsen, an der Grenze zu Minden-Lübbecke auf Übereinstimmungen.
+ Auswertung der gemessenen Chloridwerte im Grund- und Oberflächenwasser.

7.4.1 Auswertung der Konzepte anderer Bundesländer

Die Auswertung der Konzepte zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots ergab, dass nur drei Bundesländer Grundwasserversalzung berücksichtigt haben.

In **Niedersachsen** werden versalzte Bereiche anhand von Messwerten ausgewiesen. Grundwasser gilt als versalzt, sobald die Chloridkonzentration den Wert von 250 mg/l überschreitet. Als Vorsorgewert wird eine Konzentration von 100 mg/l definiert. Bei vollständiger Versalzung des Grundwasserkörpers wird von der Grundwasserdargebotsreserve ein Versalzungsabschlag von 90 % abgezogen. Bei ausschließlicher Versalzung des unteren Grundwasserkörpers wird hingegen nur ein Abschlag von 50 % abgezogen. Wenn Messstationen den Vorsorgewert überschreiten, werden sie im weiteren Zeitverlauf engmaschiger überwacht.

Wie in Niedersachsen gilt auch in **Mecklenburg-Vorpommern** Grundwasser als versalzt, sobald die Chloridkonzentration 250 mg/l überschreitet. Ein Vorsorgewert wird jedoch nicht definiert. In Mecklenburg-Vorpommern wird die Grundwasserversalzung als nicht nutzbarere Bereich ausgegrenzt.

In **Brandenburg** wird das Natriumchlorid (NaCl)-Konzentration genutzt, um Grundwasserversalzung auszuweisen. Ab einer Konzentration von 1.000 mg/l NaCl im Grundwasser wird von Versalzung gesprochen. Das versalzte Grundwasser wird dem nicht nutzbaren Grundwasserdargebot zugerechnet, welches vom verfügbaren Grundwasserdargebot subtrahiert wird.

7.4.2 Auswertung fachlicher Karten

Zur Ermittlung potenzieller Grundwasserversalzungen wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Zudem wurden verschiedene Kartenwerke, darunter geologische Karten, Versalzungskarten und Grundwasserkörper-Steckbriefe, ausgewertet.

Bei diesen Untersuchungen konnten keine räumlichen Korrelationen zwischen den in den geologischen Karten ausgewiesenen salzhaltigen Formationen bzw. Gesteinen (GEOLOGISCHE KARTE 1:500.000, GEOLOGISCHE KARTE 1:100.000) und den in der Literatur (BETZER et al, 2003; DEUTLOFF et al, 1982) beschriebenen Grundwasserversalzungsvorkommen festgestellt werden. Auch ein Abgleich der Gesteine bzw. Formationen mit den in den Grundwasserkörpersteckbriefen beschriebenen Grundwasserversalzungen ergab keine belastbaren Übereinstimmungen. Des Weiteren basieren die in den Grundwasserkörpersteckbriefen enthaltenen Hinweise auf Grundwasserversalzungen laut dem Geologischen Dienst NRW auf Punktdaten. Ein Rückschluss dieser punktuell gemessenen Grundwasserversalzung auf eine potenzielle flächendeckende Versalzung ist daher nicht möglich.

Die Lage potenzieller salzhaltiger Grundwasservorkommen in Niedersachsen im Grenzbereich zu Minden-Lübbecke wurde ebenfalls untersucht. Dabei wurde gezielt nach möglichen grenzüberschreitenden Korrelationen mit potenziellen Versalzungen bzw. salzhaltigen Schichten in Minden-Lübbecke gesucht. Auch hier ergaben die Untersuchungen keine Übereinstimmungen zwischen potenziellen Grundwasserversalzungen in den Vorkommen auf niedersächsischer Seite und in Nordrhein-Westfalen. Da in Minden-Lübbecke bereits keine Korrelation zwischen den Karten und der Literatur besteht, kann diese auch bei einem Vergleich mit den in Niedersachsen ausgewiesenen Grundwasserversalzungen bzw. salzhaltigen Schichten nicht festgestellt werden.

Insgesamt führten diese Ansätze zu keinen belastbaren Ergebnissen bezüglich potenzieller Grundwasserversalzungsvorkommen. Aufgrund fehlender Korrelationen zwischen den geologischen Karten und der Literatur und der eingeschränkten flächenhaften Aussagekraft der auf Punktdaten basierenden Grundwasserversalzungen wurde dieser Ansatz im weiteren Untersuchungsverlauf nicht weiterverfolgt.

7.4.3 Festlegung eines Grenzwerts für Versalzung

Für die Analyse der Qualitätsmessungen der Grundwassermessstellen wurde eine Chloridkonzentration als **Grenzwert** festgelegt. Dieser Wert wurde unter Berücksichtigung folgender Punkte gewählt:

+ Die Trinkwasserverordnung legt für Chlorid einen Grenzwert von 250 mg/l fest. Wasser mit höheren Konzentrationen wäre also nur durch Aufbereitung oder Mischung als Trinkwasser nutzbar.

+ Ab einer Chloridkonzentration von 250 mg/l sollten salzempfindliche Pflanzen nicht mehr mit dem Wasser beregnet werden (PFLEGER, 2010). Wenn Wasser mit höheren Konzentrationen zur Bewässerung genutzt wird, werden also geringere Ertragszuwächse und ggf. Schädigungen der Kulturen die Folge sein.

+ Die DIN 19684-10 definiert für salzempfindliche Pflanzen einen Chloridgrenzwert von 70 mg/l als Verträglichkeitsgrenze. Bis zu einer Chloridkonzentration von 280 mg/l kann das Grundwasser für chloridverträgliche Pflanzenarten genutzt werden. Grundwasser mit Konzentrationen von > 280 mg/l kann nur noch für extrem chloridverträgliche Pflanzenarten genutzt werden und ist im Allgemeinen ungeeignet.

Unter Berücksichtigung der genannten Punkte wurde die Chloridkonzentration von 250 mg/l als Grenzwert für weitere Betrachtungen zur Nutzbarkeit von Grundwasser festgelegt.

7.4.4 Auswertung von Messdaten

Unter Berücksichtigung des Grenzwertes für Chlorid von 250 mg/l wurden die gemessenen Chloridkonzentrationen der letzten zehn Jahre im Grund und Oberflächenwasser (ELWAS-WEB, 2025) betrachtet.

Grundwassermesswerte

Bei der Auswertung der Chloridkonzentrationen im Grundwasser wurde festgestellt, dass in den vergangenen zehn Jahren in 8 der 117 Grundwassermessstellen der Grenzwert von 250 mg/l überschritten wurde. Weiterhin wurde in 13 Grundwassermessstellen eine Chloridkonzentration von über 100 mg/l gemessen. Die Lage der ausgewerteten Messstellen und eventuelle Überschreitungen sind in Abb. 7.9 (1) dargestellt.

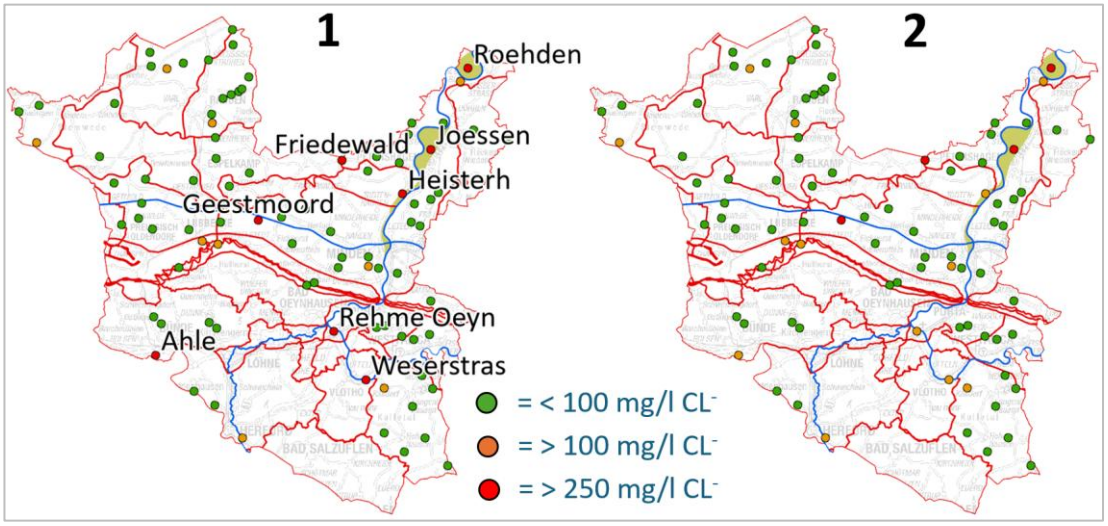


Abb. 7.9: Darstellung der maximal gemessenen (1) bzw. der mittleren (2) Chloridkonzentrationen im Grundwasser der letzten zehn Jahre.

Westlich der Weser liegen vier Grundwassermessstellen, an denen der Grenzwert überschritten wurde, südlich des Mittellandkanals eine, an der Wegholmer Straße zu Niedersachsen eine und außerhalb von Minden-Lübbecke zwei. Auffällig ist die Häufung der Grenzwertüberschreitungen westlich der Weser.

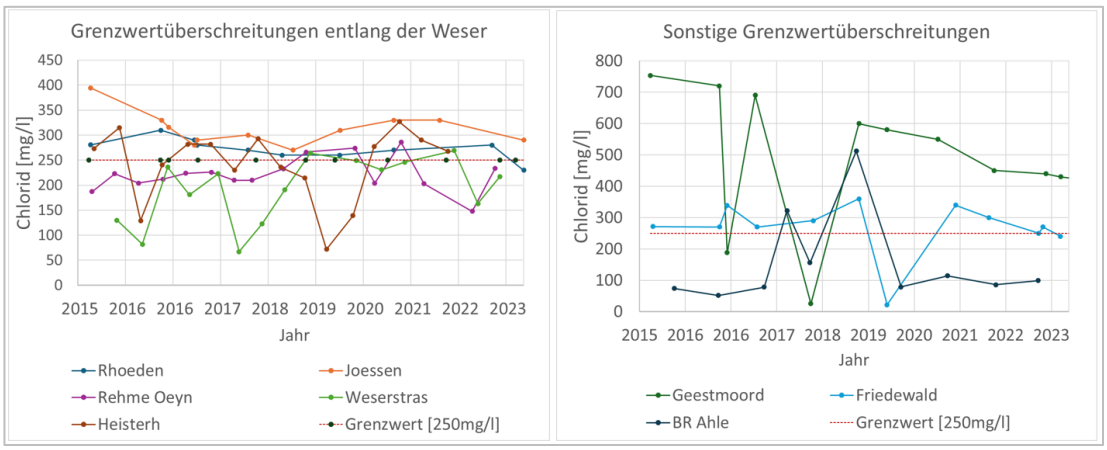


Abb. 7.10: Chloridkonzentrationsganglinien über die letzten 10 Jahre

In den Ganglinien ist abzulesen, dass die Chloridkonzentration in den letzten 10 Jahren nicht auf einem konstanten Niveau liegt, sondern über die Jahre schwankt (siehe Abb. 7.10). Kurzzeitige Überschreitungen des Grenzwertes sind bei den Messstellen Weserstras, Rehme Oeyn und BR Ahle zu beobachten. Infolgedessen liegen diese Messstellen im 10-jährigen Mittel unter dem Grenzwert, wodurch sich die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen auf vier reduziert. Die Konzentration von ≥ 100 mg/l wird an zwölf Messstellen überschritten. Die Lage der Grenzwertüberschreitungen bei den mittleren und maximalen Werten ist sehr ähnlich.

In der betroffenen Region fließt das Grundwasser von Südost nach Nordwest. Dies hat zur Folge, dass ein erhöhter Uferfiltrataustritt der Weser in Richtung Nordwest erfolgt. Die Häufung der Grenzwertüberschreitungen westlich der Weser lässt den Rückschluss zu, dass die Weser womöglich einen negativen Einfluss auf die Grundwasserversalzung hat.

Oberflächenwassermesswerte

Die Weser besitzt durch die Werre und die Werra eine erhöhte Chloridkonzentration. Diese ist auf die Einleitung von solehaltigem Wasser der Kurorte Bad Salzuflen und Bad Oeynhausen sowie dem generellen Vorkommen von Salzen und deren Auswaschung in die Werre und Werra zurückzuführen. Durch die Einleitung des solehaltigen Wassers und den Auswaschungsprozessen schwankt auch die Chloridbelastung der Oberflächengewässer. Dadurch wird das Grundwasser durch Uferfiltrat in Grundwasserströmungsrichtung versalzt. Infolgedessen sind Teile des Weserufers versalzt. Die einzelnen Grenzwertüberschreitungen am Mittellandkanal können eventuell auf Undichtigkeiten des Mittellandkanals zurückzuführen sein. Die Grenzwertüberschreitung an der Grenze zu Niedersachsen ist nicht erklärbar.

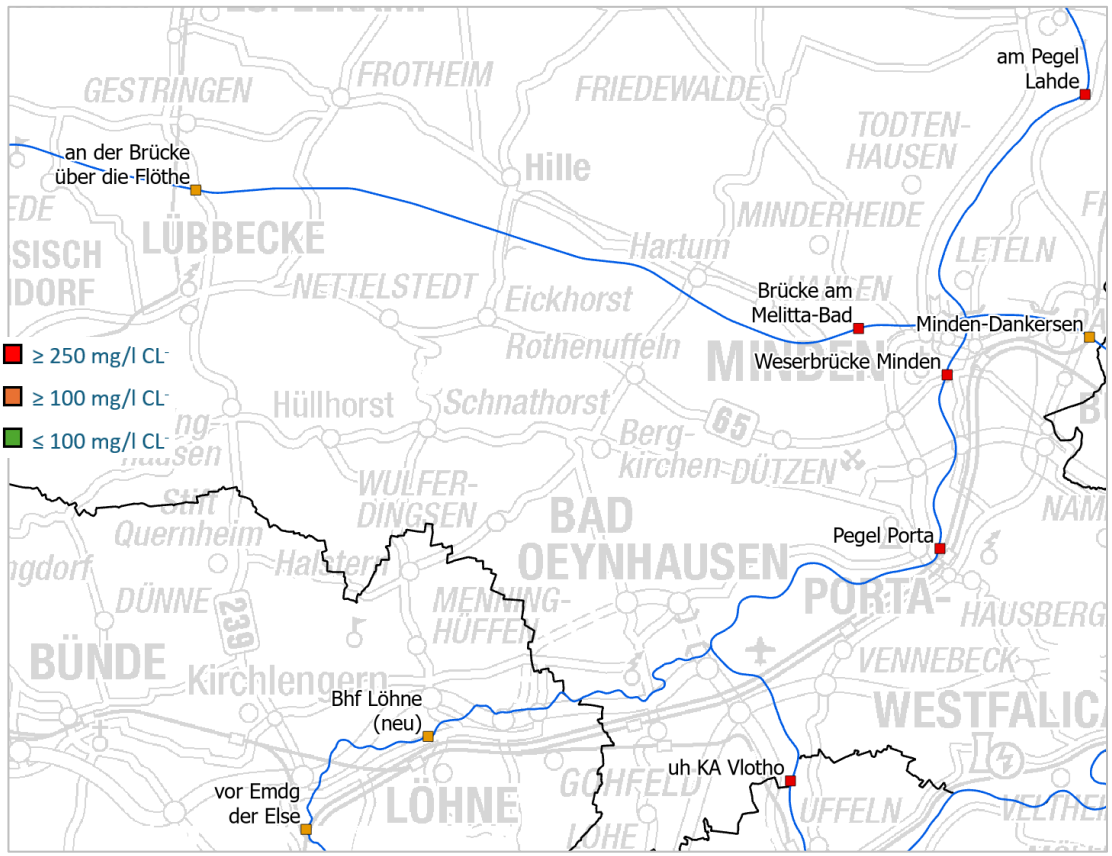


Abb. 7.11: Übersicht der Standorte und gemessenen Chloridwerte von Mittellandkanal, Weser und Werre im Projektgebiet (Quelle: ELWAS-WEB, 2025)

In Abb. 7.12 ist eine konstante Abnahme der Chloridbelastung erkennbar, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Konzentration im weiteren Zeitverlauf sinken wird.

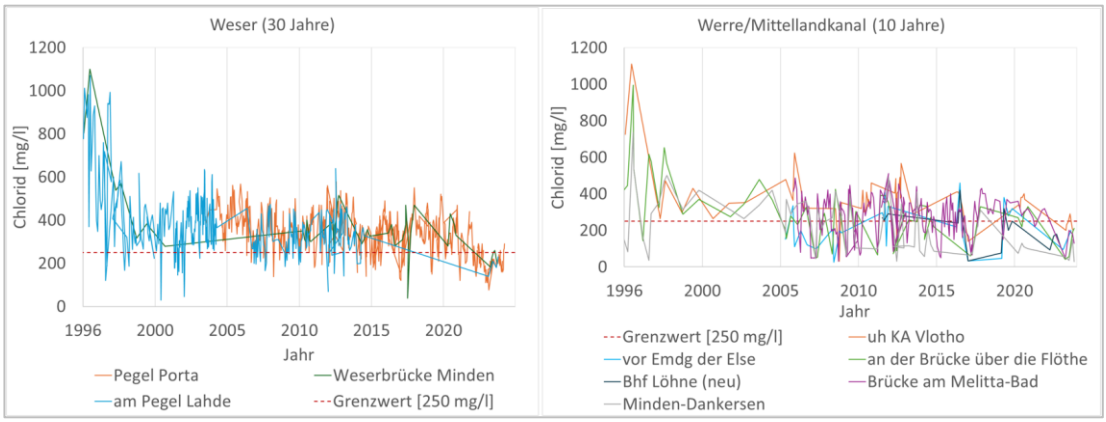


Abb. 7.12: 30-jähriger Verlauf der Chloridkonzentrationen der Weser, der Werre und des Mittellandkanals. (Quelle: ELWAS-WEB, 2025)

Unter Berücksichtigung der Grund- und Oberflächenwasserstände sowie der vorhandenen Messstellen mit den jeweiligen Chloridkonzentrationen wurden entlang der Weser zwei versalzte Bereiche (1, 2) ausgewiesen. Bei den Bereichen 3 und 4 ist die Versalzungsquelle unbekannt, weshalb ein Radius von ca. 500 m um die Messstellen als versalzt definiert wurde (siehe Abb. 7.13). Bei der Ausweisung der versalzten Fläche wurde der Bereich auf der sicheren Seite ausgewählt, um bei der späteren Bewirtschaftung eine Verschleppung durch Grundwasserentnahmen auszuschließen.

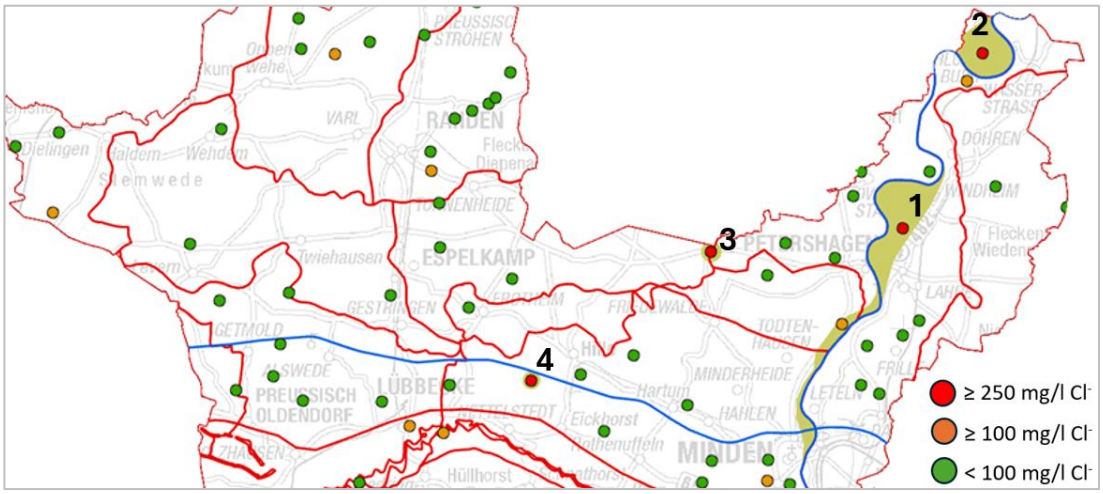


Abb. 7.13: Übersicht über die ausgewiesenen potenziell versalzten Grundwasserbereiche; Oliv: Potenziell versalzte Bereiche

7.4.5 Potenzielle Auswirkung auf das nutzbare Grundwasserdargebot

Für Minden-Lübbecke ergibt sich daraus eine versalzte Gesamtfläche von ca. 2.300 Hektar, was etwa zwei Prozent des Kreisgebiets entspricht.

Die Grundwasserneubildung beträgt in diesen Bereichen insgesamt ca. 1,9 Mio. m³/a. Dabei sind auch Grundwasserzehrungen berücksichtigt. Werden diese vernachlässigt, werden in den Gebieten 2,2 Mio. m³/a Grundwasser neu gebildet. Die Aufteilung der Grundwasserneubildungen auf die einzelnen Gebiete erfolgt in Tab. 7.9.

Bilanzraum	GWNB in ausgewiesenen Bereichen [m³/a]	GWNB ohne Zehrung in ausgewiesenen Bereichen [m³/a]	Anteil an mittleren GWNB des Bilanzraums [%]	Ursache der Grundwasserversalzung
Weser Lockergestein links 1	-56.568	154.100	na / na	Weseruferfiltrat
Weser Lockergestein links 2	139.041	151.229	4 / 4	Unbekannt
Weser Lockergestein links 3	370.810	394.945	3 / 3	Weseruferfiltrat bzw. Unbekannt
Weser Lockergestein rechts	1.379.629	1.423.550	10 / 10	Weseruferfiltrat
Petershäger Kreide	42.090	42.454	3 / 3	Weseruferfiltrat
Kreide Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 2	26.155	36.120	1 / 2	Unbekannt
Summe [m³/a]	1.901.157	2.202.398		

Tab. 7.9: Übersicht über die verschiedenen versalzten Grundwasserneubildungen in den jeweiligen Bilanzräumen.

Für jeden betroffenen Bilanzraum werden im Bilanzierungswerkzeug Hinweise zu möglicher Grundwasserversalzung und deren Herkunft (Soleaufstieg, Uferfiltrat, unbekannt, ggf. weitere) für die Bewirtschaftung aufgenommen (siehe Tab. 7.9). In erster Linie soll eine Verschleppung von versalztem Grundwasser in unbelastete Gebiete verhindert werden. Außerdem wird dem Endnutzer nicht vorgegriffen. Dieser kann individuell entscheiden, ob das entsprechende Grundwasser für dessen Zwecke genutzt werden kann. Folge dessen wird für die potenzielle Versalzungen keine Verringerung des Grundwasserdargebots vorgenommen.

7.5 Übertragung zwischen Bilanzräumen

Die Bewegung des Grundwassers im Untergrund wird hauptsächlich durch Druckunterschiede, also das hydraulische Gefälle, bestimmt. Dabei spielt die hydraulische Leitfähigkeit des geologischen Untergrunds eine entscheidende Rolle, denn nur durch ausreichend poröse oder geklüftete Schichten kann das Wasser fließen. Unter bestimmten geologischen und hydrogeologischen Bedingungen können auch Grundwasserübertragungen zwischen benachbarten Grundwasserkörpern bzw. Grundwasserbilanzräumen stattfinden.

Mithilfe der folgenden Untersuchung soll überprüft werden, ob Dargebotsübertragungen zwischen den Bilanzräumen aufgrund von Grundwasserbewegungen stattfinden.

7.5.1 Vorgehensweise

Zur Überprüfung der möglichen Dargebotsübertragungen wurden im Untersuchungsgebiet zunächst an den Bilanzraumgrenzen mögliche Grundwasserübergänge anhand der Grundwasserstands-Isolinien bestimmt. Diese wurden in NRW im Rahmen des Projekts „Grundwasserbilanzmodell NRW“ (LANUV, 2020; LANUV-Fachbericht 106) berechnet. Inzwischen wurde das Modell überarbeitet und verbessert, die Ergebnisse wurden aber noch nicht geprüft und freigegeben, so dass hier die ursprüngliche Version verwendet wurde. Im Folgenden wird die Wassermenge, welche über die Bilanzraumgrenze strömt, quantifiziert. Dazu wird an den Übergängen die Grundwasserleitermächtigkeit, die hydraulische Leitfähigkeit des abgebenden und aufnehmenden Gesteins, der vorherrschende hydraulische Gradient sowie die Länge des Übergangs bestimmt.

Die Grundwasserleitermächtigkeiten werden anhand von Bohrdaten und der berechneten Quartärmächtigkeit ermittelt. Die Quartärmächtigkeit wird ermittelt, indem die Basis der quartären Schicht von der GW-Oberfläche (LANUV, 2020; LANUV-Fachbericht 106) subtrahiert wird. Die Länge des Übergangsbereichs wird anhand der Grundwasserstands-Isolinien bestimmt. In jedem Übergangsbereich werden die vorherrschenden hydraulischen Leitfähigkeiten mithilfe von geologischen Karten ermittelt. Der vorherrschende hydraulische Gradient wird über das Dividieren des Potenzialunterschieds durch die Fließlänge berechnet. Mithilfe dieser manuell zu bestimmenden Parameter wird die Menge berechnet, die über die Bilanzraumgrenze strömt.

Die Übertragung von signifikanten Grundwassermengen erfordert eine ausreichend vorhandene hydraulische Leitfähigkeit im abgebenden sowie im aufnehmenden Gestein. Geringe hydraulische Leitfähigkeiten, die hauptsächlich in Festgestein vorkommen, haben zur Folge, dass eine sehr geringe Grundwassermenge übertragen werden kann (siehe Abb. 7.14, 2).

Die Unterteilungen bzw. Bilanzraumgrenzen verlaufen oft entlang von Vorflutern. An diesen Übergängen kann keine signifikante Dargebotsübertragung stattfinden, da das Grundwasser hauptsächlich in Vorfluter fließt. (siehe Abb. 7.14, 1). In den beiden genannten Fällen findet demzufolge keine signifikante GW-Übertragung statt, weshalb sie im Folgenden nicht weiter berücksichtigt werden.

An allen weiteren Übergängen finden signifikante Dargebotsübertragungen statt (siehe Abb. 7.14., 3). Diese sind nur an Bilanzraumgrenzen mit mindestens gering leitenden Gesteinen sowie an Grenzen mit ausreichenden Grundwasserleitermächtigkeiten möglich.

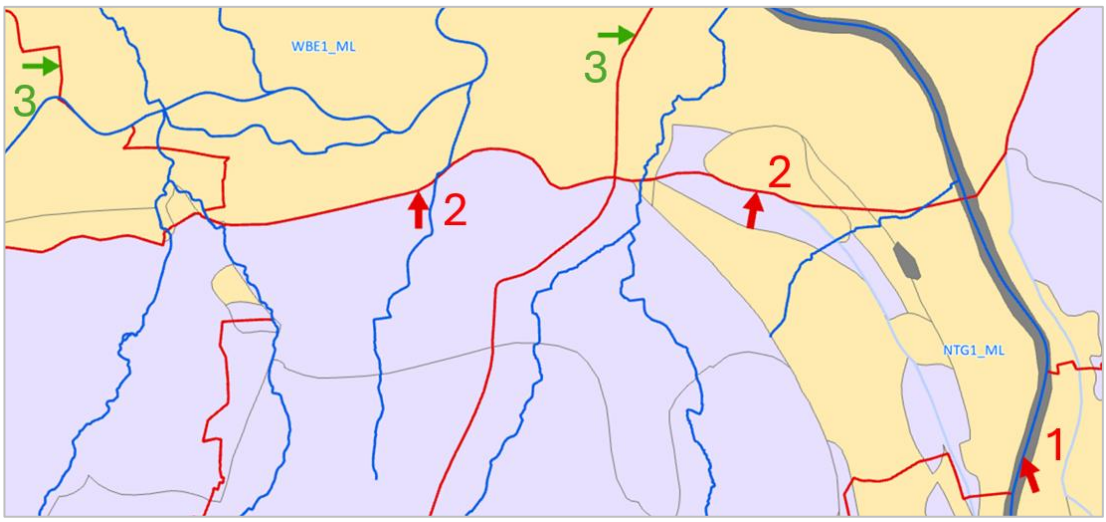


Abb. 7.14: Übersicht über mögliche Dargebotsübertragungen. Lila = Festgestein; Beige = Lockergestein; Roter Pfeil = Keine Dargebotsübertragung; Grüner Pfeil: Dargebotsübertragung

Die quantifizierten Grundwasserübertragungsmengen basieren auf einer Vielzahl manuell zu bestimmender Parameter. Die Grundlage der manuell bestimmten Parameter basieren zum Teil auf berechnete Modelldaten, deren Datensicherheit als nur mäßig zu bewerten ist. Eine direkte Übernahme der quantifizierten Dargebotsübertragungen in das Bilanzierungswerkzeug ist daher nicht sinnvoll. Stattdessen werden die Daten zunächst klassifiziert, so dass qualitative Informationen in das Bilanzierungswerkzeug übernommen werden können. Die dafür notwendige Klassifizierung basiert auf den zuvor erhobenen quantitativen Daten.

Die Klassifizierung erfolgt anhand der absoluten Menge der möglichen Dargebotsübertragung und anhand des Einflusses der möglichen Dargebotsübertragung auf den aufnehmenden bzw. abgebenden Bilanzraum. Der Einfluss soll sowohl für den aufnehmenden als auch für den abgebenden Bilanzraum bestimmt werden (siehe Tab. 7.10).

Beeinflussung des Dargebots	Variante 1 Anteil am Dargebot [%]	Variante 2 Übertragung von [m³/a]
Vernachlässigbar	<1	<10.000
Minimal	<5	<100.000
Gering	<10	<250.000
Moderat	<25	<500.000
Hoch	<50	<2.000.000
Sehr hoch	>50	>2.000.000

Tab. 7.10: Übersicht der Klassifizierungsarten der quantitativen Daten bei Dargebotsübertragungen

Für jede GW-Dargebotsübertragung wird eine qualitative Aussage über den Einfluss der möglichen Übertragungsmenge auf den aufnehmenden und abgebenden Bilanzraum in das Bilanzierungswerkzeug aufgenommen. Es wird die Variante übernommen, die eine stärkere Beeinflussung ergibt.

Bei einer beispielhaften Dargebotsübertragung von 300.000 m³/a in einen Bilanzraum mit einem Dargebot von 3,2 Mio. m³/a erfolgt die Klassifizierung dieser Übertragung in Variante 1 in Klasse „Gering“ und in Variante 2 in die Klasse „Moderat“. Die in Variante 2 verwendete Klasse „Moderat“ bedeutet eine stärkere Beeinflussung als die in Variante 1 verwendete Klasse „Gering“. In der Konsequenz dessen wird die Beeinflussung „Moderat“ aus der Variante 2 in das Bilanzierungswerkzeug als Hinweis übernommen.

Unter Berücksichtigung der möglichen Dargebotsübertragungen und deren Überprüfung anhand der genannten Kriterien ergeben sich 19 signifikante Übertragungen (siehe Abb. 7.15, grüne Pfeile) mit einer Gesamtübertragungssumme von 5.795.190 m³/a. Die größte Mengenübertragung findet von dem Bilanzraum Talaue der Weser südlich des Wiehengebirges 1 zu Talaue der Weser südlich des Wiehengebirges 2 mit ca. 2,4 Mio. m³/a statt. Übertragungen unter 1.000 m³/a werden aufgrund ihrer geringen Übertragungsmenge nicht berücksichtigt und als vernachlässigbar entsprechend Tab. 7.10 eingestuft. Die Berechnungseingangsparameter der Dargebotsübertragungsmengen sind in Anhang 12 dargestellt.

Die Lage der Mengenübertragungen ist in Abb. 7.15 dargestellt. Auffällig ist, dass größere Dargebotsübertragungen nur in hydraulisch mindestens mäßig leitenden Gesteinen auftreten (siehe Abb. 7.15 und **Anlage 9**).

7.5.2 Auswertungsergebnisse

Signifikante Übertragungsmengen sind an den Bilanzraumgrenzen vorhanden, an denen gute hydraulische Leitfähigkeiten und eine ausreichende Grundwasserleitermächtigkeit gegeben sind.

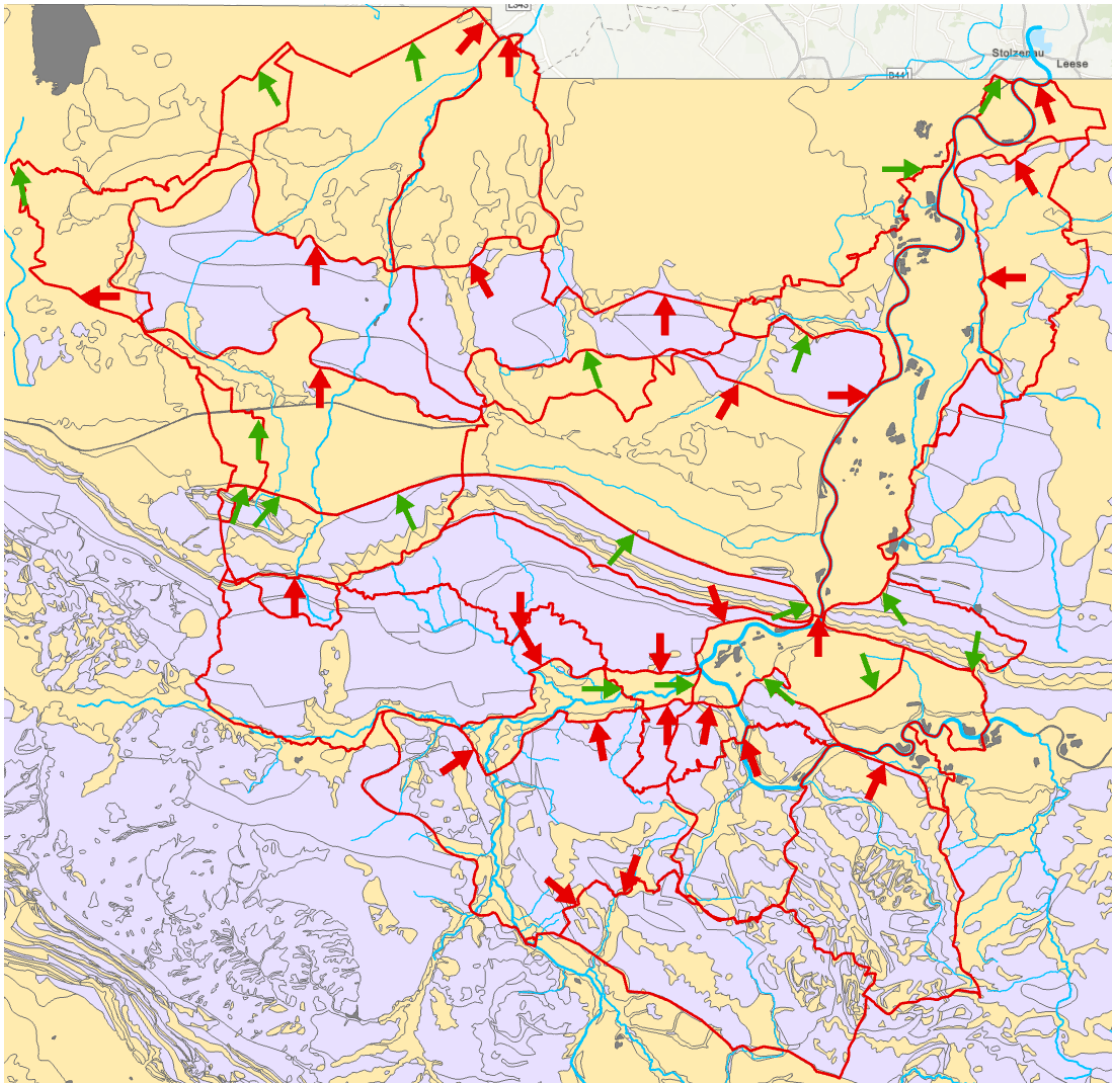


Abb. 7.15: Übersicht von möglichen Dargebotsübertragung. Lila = Festgestein; Beige = Lockergestein; Grüner Pfeil = Dargebotsübertragung möglich; Roter Pfeil = Keine Dargebotsübertragung möglich

In Tab. 7.11 sind die 16 Bilanzraumübertragungen mit ihrer jeweiligen Übertragungsmenge übersichtlich dargestellt. An drei der sechzehn Bilanzraumgrenzen finden an zwei verschiedenen Stellen Dargebotsübertragungen statt (siehe Abb. 7.15), wodurch diese Bilanzräume doppelt abgedeckt sind. Diese wurden in Tab. 7.11 zu einer Übertragungssumme zusammengefasst. Die Eingangsparameter zur Berechnung der Übertragungsmenge der drei Bilanzräumen sind in Anhang 12 dargestellt.

Bilanzraum **von**	Bilanzraum **nach**	Übertragung von [m³/a]
HRL1_ML	HLR_NDS	3.574
WG1_ML	GALS1_ML	475.941
WG2_ML	WLL3_ML	57.758
KSW2_ML	WLR_ML	6.465
GALS2_ML	KSP2_ML	898.776
PK_ML	WLL2_ML	189.216
TWW1_ML	TWW2_ML	2.396.736
HRF_ML	HRL2_ML	98.550
OH_ML	TWW2_ML	1.419.120
WBE1_H	WBE1_ML	88.301
GALL_ML	HLR_NDS	6.578
WBE1_ML	TWW1_ML	50.458
NTG1_ML	TWW1_ML	1.226
HRL2_ML	GALS1_ML	63.072
WLL1_ML	WLL2_NDS	4.730
WLL2_NDS	WLL2_ML	34.690
Summe		**5.795.190**

Tab. 7.11: Übersicht über alle potenziellen Dargebotsübertragungen mit ihrer jeweiligen möglichen Übertragungsmenge

7.5.3 Auswirkung auf das nutzbare Grundwasserdargebot der einzelnen Bilanzräume

Die Auswirkungen wurden gemäß der in Kapitel 7.5.1 beschriebenen Vorgehensweise klassifiziert und in Tab. 7.12 aufgetragen. Die Auswirkungen der Mengenübertragungen über die Bilanzraumgrenzen sind unterschiedlich hoch. Bei elf Übertragungen sind die Einflüsse auf den abgebenden und den aufnehmenden Bilanzraum gleich. Nur bei vier Bilanzraumgrenzen sind die Auswirkungen auf den abgebenden Bilanzraum größer und nur bei einer sind sie auf den aufnehmenden Bilanzraum größer.

Die berechneten Werte werden nicht in das Bilanzierungswerkzeug übernommen, da sie nur eine mäßige Datensicherheit aufweisen (siehe Kap.7.5.1). Daher werden die berechneten Daten gemäß Tab. 7.10 klassifiziert. Diese Klassifizierung wird für den aufnehmenden und den abgebenden Bilanzraum durchgeführt (siehe Tab. 7.12) durchgeführt und als Hinweis für die beiden Bilanzräume in das Bilanzierungswerkzeug aufgenommen.

Bilanzraum **von**	Bilanzraum **nach**	Einfluss auf **abgebenden** Bilanzraum	Einfluss auf **aufnehmenden** Bilanzraum
HRL1_ML	HLR_NDS	Vernachlässigbar	Vernachlässigbar
WG1_ML	GALS1_ML	Hoch	Hoch
WG2_ML	WLL3_ML	Minimal	Minimal
KSW2_ML	WLR_ML	Vernachlässigbar	Vernachlässigbar
GALS2_ML	KSP2_ML	Hoch	Hoch
PK_ML	WLL2_ML	Moderat	Gering
TWW1_ML	TWW2_ML	Sehr hoch	Sehr hoch
HRF_ML	HRL2_ML	Sehr hoch	Gering
OH_ML	TWW2_ML	Sehr hoch	Hoch
WBE1_H	WBE1_ML	Minimal	Gering
GALL_ML	HLR_NDS	Minimal	Vernachlässigbar
WBE1_ML	TWW1_ML	Minimal	Minimal
NTG1_ML	TWW1_ML	Vernachlässigbar	Vernachlässigbar
HRL2_ML	GALS1_ML	Gering	Gering
WLL1_ML	WLL2_NDS	Sehr hoch	Vernachlässigbar
WLL2_NDS	WLL2_ML	Minimal	Minimal

Tab. 7.12: Übersicht über die Beeinflussung der Mengenübertragungen auf die abgebenden und aufnehmenden Bilanzräume

7.6 Bergbau

Durch den Bergbau können die Bilanzen einzelner Bilanzräume stark beeinflusst werden. Dabei gibt es im Wesentlichen die Unterscheidung zwischen Tagebauen, bei denen tiefe Gruben von der Erdoberfläche aus gegraben werden, und Untertagebauen, bei denen lange Stollen in den Untergrund getrieben werden, um in größeren Tiefen Bodenschätze zu gewinnen. Je nach Art des Bergbaus sind verschiedene Prozesse zu betrachten.

7.6.1 Allgemein

Sowohl bei Untertagebau als auch bei Tagebau können durch zusickerndes Grundwasser Sümpfungsmaßnahmen erforderlich werden, um die Grube bzw. die Stollen trocken zu halten. Diese Grundwasserentnahmen bedürfen einer Genehmigung und finden so Eingang ins Wasserbuch. Somit werden sie in der Bilanzierung berücksichtigt. Eine Minderung des Grundwasserdargebots aufgrund der Sümpfungsmaßnahmen ist nicht sinnvoll, da diese bereits über Grundwasserentnahmen abgebildet werden.

7.6.2 Untertagebau

Wenn sich eine Bilanzraumgrenze im Bereich des Untertagebaus befindet, könnte durch die langen Stollen im Untergrund Grundwasser von einem Bilanzraum in einen anderen übergeleitet werden. Ist dies bekannt, kann die Menge in der Bilanzierung berücksichtigt werden. Aufgrund der spezifischen Geologie bei einem Untertagebau wie z. B. einem abtauchenden Grundwasserleiter, wie er im Kreis Minden-Lübbecke im Bereich der Grube Wohlverfahrt-Nammen vorliegt, kann eine Aufteilung des Bilanzraumes sinnvoll bzw. erforderlich sein.

7.6.2.1 Die Grube Wohlverwahrt-Nammen

Bei der Grube Wohlverwahrt-Nammen handelt es sich um einen Untertagebau zum Abbau von Eisenerz, der in der Nähe von Porta Westfalica liegt. Gefördert wird Eisenerz aus einem Kalkstein im Korallenoolith. Dieser ist ca. 20 m mächtig und enthält 10 bis 16 % Eisen. Der Korallenoolith bildet zusammen mit den darunter liegenden Heersumer Schichten die grundwasserleitenden Gesteine des Oxfords, die zur Zeit des Malms gehören. Die Gesteine fallen mit etwa 15 bis 20° nach Norden ein und erreichen im Muldenkern eine Tiefe von ca. 1.000 m.

Unterhalb dieser Schichten folgt ein Ornatenton aus mergeligem Schieferton, der eine grundwasserundurchlässige Schicht bildet. Oberhalb des Korallenooliths stehen ebenfalls mergelige Schichten des Kimmeridge mit einer Mächtigkeit von bis zu 100 m an. Das Kimmeridge wird in einen unteren, mittleren und oberen Teil gegliedert. Der untere Kimmeridge ist direkt oberhalb des Korallenooliths zu verorten und bildet als Tonschiefer ebenfalls eine hydraulische Barriere (PAHLKE, 1998). Infolgedessen sind die aufeinanderfolgenden Schichten Korallenoolith und Heersumer Schichten von den restlichen Schichten hydraulisch isoliert (siehe Abb. 7.16).

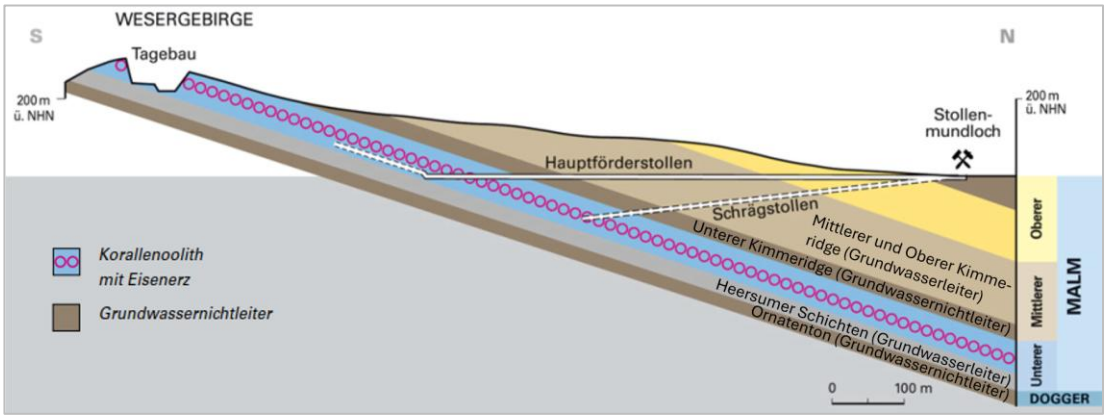


Abb. 7.16: Geologischer Schnitt durch die Grube Wohlverwahrt-Nammen (verändert nach GEOLOGISCHER DIENST NRW, 2022)

Die hydraulische Isolation des Korallenoolith und der Heersumer Schichten führt dazu, dass kein Grundwasseraustausch mit den umliegenden Schichten erfolgen kann und somit der Zustrom von Wasser nur durch die Grundwasserneubildung erfolgt, wo die Schichten an der Oberfläche ausstreichen. In Abb. 7.17 ist die Geologische Karte 1:100.000 (GK100) mit dem Ausstrichbereich der Schichten für den Bilanzraum *Kreide bei Stadthagen* und *Wesergebirge 2* dargestellt.

Für eine sinnvolle Bilanzierung der Wasserrechte der Grube Wohlverwahrt-Nammen müssen die Schichten Korallenoolith und die Heersumer Schichten als gesonderter Bilanzraum ausgegliedert werden. Die Ausweisung des neues Grundwasserbilanzraumes hat zur Folge, dass der bestehende Bilanzraum in drei Teile mit drei verschiedenen Grundwasserneubildungen unterteilt wird (siehe Abb. 7.17; **Anhang 1**, darin Anhang 2, Kap. 3).

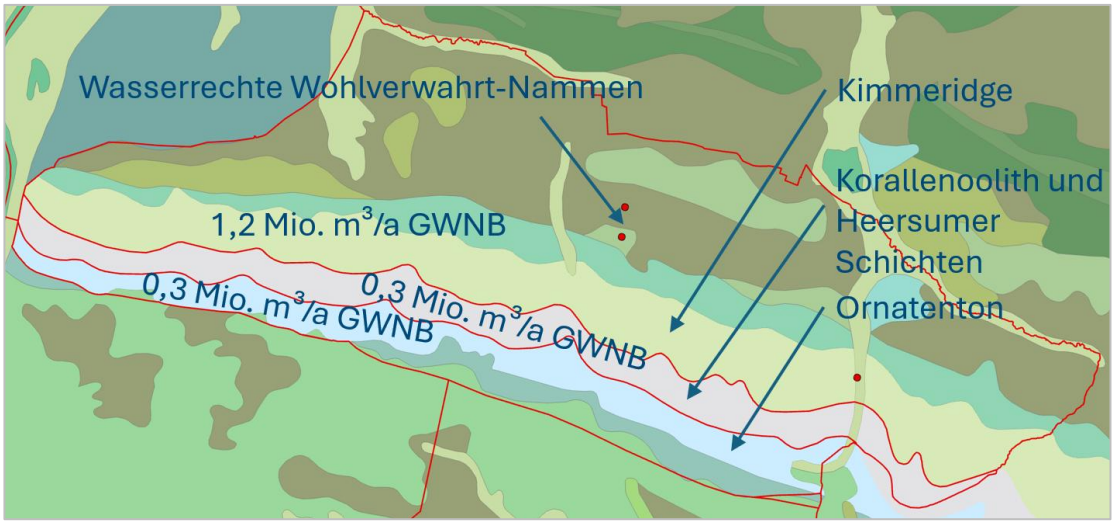


Abb. 7.17: Teilung des Bilanzraumes *Kreide bei Stadthagen* und *Wesergebirge 2*

Die Schichten Korallenoolith und Heersumer Schichten liegt nicht nur im genannten Bilanzraum vor, sondern ziehen sich durch das gesamte Wiehengebirge. Des Weiteren sind auch Teile der Schichtabfolge westlich von Bad Holzhausen zu finden. Infolgedessen muss eine Ausgliederung bzw. Teilung der Bilanzräume auch für die Bilanzräume *Wiehengebirge 1 und 2* sowie *Hunte rechts Festgestein* erfolgen (siehe **Anhang 1**, darin Anhang 2, Kap. 6, 7 und 17).

7.6.3 Tagebau

Durch Sümpfungsmaßnahmen kann der freie Grundwasserstand im Bereich um den Tagebau herum abgesenkt werden. Dadurch wird auch die Grundwasserströmungsrichtung im Nahbereich des Tagebaus beeinflusst und möglicherweise werden die Grenzen von Wasserschutzgebieten oder sogar der Bilanzräume verschoben. Vorhandene Tagebaue sind daher bei der Festlegung der Bilanzräume zu berücksichtigen.

7.6.4 Bergsenkungen

Bei Bergsenkungen sinkt die Geländeoberkante in Folge des Bergbaus ab. Dadurch können Bereiche entstehen, in denen die Geländeoberkante unterhalb des unbeeinflussten Grundwasserstandes liegt. Hier werden häufig Entwässerungseinrichtungen installiert, um die Senkungsmulden vor Überflutungen zu schützen. Dieser Fall liegt im Kreis Minden-Lübbecke nicht vor und wurde daher nicht im Detail betrachtet. In Nordrhein-Westfalen sind mehrere hundert Quadratkilometer von solchen Maßnahmen betroffen. Daher ist dieser Fall für ein landesweites Konzept zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve zu berücksichtigen. Möglich wäre eine Berücksichtigung wie beim Tagebau. Weiterhin wäre es möglich, dass aus den Senkungsmulden abgeführte Wasser als Teil der notwendigen Vorflut zu betrachten. Das abgeführte Wasser wäre dann nicht vom nutzbaren Grundwasserdargebot abzuziehen, da die Maßnahmen auf absehbare Zeit nicht eingestellt werden können („Ewigkeitslasten“).

7.6.5 Fazit

Da Bergbaue je nach Art des Bergbaus und der lokal vorhandenen Geologie und Grundwasserstandssituation sehr unterschiedliche Einflüsse auf das Grundwasserdargebot haben können, ist eine pauschale Minderung des Grundwasserdargebots nicht zielführend. Auch eine automatisierte Beurteilung der Bergbaue ist ohne Detailkenntnis der Bauwerke, Absenkziele und der Geologie nicht möglich. Stattdessen sollten die bekannten Einflüsse individuell betrachtet, bewertet und über die Antragsverfahren mit spezifischen Kenntnissen der Wasserbehörden und der Bergbehörde festgelegt werden.

8 Grundwasserentnahmen

Für die Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve ist es erforderlich zusätzlich zu dem Grundwasserdargebot auch die Grundwasserentnahmen in die Bilanzierung einzubeziehen. Im Rahmen der nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser wird hierbei sowohl die aktuelle als auch die zukünftige Höhe der Grundwasserentnahmen berücksichtigt. Weiterhin wird die Höhe von Grundwasserentnahmen abgeschätzt, für die keine Wasserrechte vergeben wurden. Die Ermittlung der Höhe aller Grundwasserentnahmen ist im Folgenden dargestellt.

8.1 Aktuelle Grundwasserentnahmen

Im Untersuchungsgebiet wurden Wasserrechte über insgesamt rd. 58,9 Mio. m³/a von den Unteren Wasserbehörden der Kreise Minden-Lübbecke, Herford und Lippe sowie den Bezirksregierungen Detmold und Arnsberg vergeben. In Kap. 3.8 sind die Summen der vergebenen Wasserrechte und tatsächlichen Grundwasserentnahmen je Grundwasserkörper im Einzelnen aufgeführt. In **Anlage 17** ist die Lage der Förderbrunnen, klassifiziert nach genehmigender Behörde und Grundwasserleiter dargestellt.

Bei der Bilanzierung wurden Grundwasserentnahmen von Kieswerken, die das Grundwasser nach der Benutzung zurückführen nicht berücksichtigt, da dadurch insgesamt keine Verringerung des Grundwasserdargebots zu verzeichnen ist. Weiterhin wurden Grundwasserentnahmen im Nahbereich von großen Oberflächengewässern, wie der Weser, Werre oder Else nur mit dem Grundwasseranteil berücksichtigt. Die Uferfiltratmengen werden als nicht bilanzwirksam nicht aufgenommen. Auch die Grundwasserentnahme aus Quellen bleibt unberücksichtigt, da diese Wassermengen auch ohne Grundwasserentnahme an die Oberfläche treten und als Oberflächenwasser abfließen würden.

Die genehmigten sowie die tatsächlichen Grundwasserentnahmen der letzten 5 Jahre (2019-2024) sind für die im Untersuchungsgebiet vorhandenen Bilanzräume nach Grundwasserleiter getrennt in Tab. 8.1 zusammengestellt. Insgesamt wird Grundwasser in 27 der 44 Bilanzräume im Untersuchungsgebiet entnommen. In zehn von den 27 Bilanzräumen wird nicht nur Grundwasser aus dem oberflächennahen Grundwasserleiter (GWL 1), sondern auch aus einem überdeckten Grundwasserleiter (GWL 2) entnommen.

Die genehmigten Grundwasserentnahmen je Bilanzraum liegen zwischen rd. 2.800 m³/a (*Große Aue Lockergestein im Süden 2, GALS2_ML*) bis rd. 9,8 Mio. m³/a (*Weser Lockergestein links 3, WLL3_ML*). Im Mittel betragen die genehmigten Grundwasserentnahmen je Bilanzraum rd. 4,2 Mio. m³/a. Diese Menge verteilt sich zu 79 % auf den ersten Grundwasserleiter und zu 21 % auf den zweiten Grundwasserleiter. Der überwiegende Anteil (97 %) der vergebenen Wasserrechte für die Grundwasserentnahme aus dem zweiten Grundwasserleiter sind in den Bilanzräumen *Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.1* (*KSW2.1_ML*) und *Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 1* (*TWW1_ML*) vergeben.

Bilanzraum	Wasserrecht GWL1 [m³/a]	Wasserrecht GWL2 [m³/a]	Wasserrecht gesamt [m³/a]	Tats.GW-Entnahme GWL1 [m³/a]	Tats. GW-Entnahme GWL2 [m³/a]	Tats. GW-Entnahme gesamt [m³/a]
GALL_ML	335.441	34.640	370.081	114.589	2.049	116.638
GALR_ML	1.792.070	0	1.792.070	1.275.099	0	1.275.099
GALS1_ML	7.236.300	0	7.236.300	6.122.788	0	6.122.788
GALS2_ML	2.835	0	2.835	0	0	0
HRL1_ML	753.060	5.013	758.073	651.926	0	651.926
HRL2_ML	800.144	0	800.144	658.881	0	658.881
KSP1_ML	93.240	3.240	96.480	25.139	0	25.139
KSP2_ML	981.000	0	981.000	890.493	0	890.493
KSW1_ML	20.058	0	20.058	14.509	0	14.509
KSW2.1_ML	4.958	5.645.040	5.649.998	272	77.034	77.306
MTG1_H	3.226.000	0	3.226.000	1.243.983	0	1.243.983
MTG1_ML	116.600	114.530	231.130	62.800	94.974	157.774
MTG1_L	7.250.000	0	7.250.000	5.306.138	0	5.306.138
NHM_H	2.469.237	0	2.469.237	1.790.913	0	1.790.913
NTG1_H	784.828	0	784.828	624.583	0	624.583
NTG1_L	1.734.986	0	1.734.986	1.106.472	0	1.106.472
TWW1_ML	1.337.416	6.100.000	7.437.416	883.242	4.411.561	5.294.803
TWW2_L	680.749	0	680.749	471.349	0	471.349
WBE1_H	70.275	0	70.275	9.504	0	9.504
WBE1_ML	3.700	3.280	6.980	1.142	2.543	3.685
WG1.1_ML	494.828	110.000	604.828	216.523	117.699	334.222
WG1.3_ML	206.932	0	206.932	33.652	0	33.652
WG2.1_ML	10.908	0	10.908	2.346	0	2.346
WG2.3_ML	119.850	0	119.850	49.482	0	49.482
WLL2_ML	130.000	8.407	138.407	52.086	0	52.086
WLL3_ML	9.735.300	110.000	9.845.300	7.157.458	63.289	7.220.747
WLR_ML	6.368.181	0	6.368.181	4.407.599	0	4.407.599
Summe	46.758.896	12.134.150	58.893.046	33.172.967	4.769.149	37.942.116
Anteil	79%	21%		87%	13%	64%

Tab. 8.1: Genehmigte und tatsächliche Grundwasserentnahmen je Bilanzraum

Die tatsächlichen Grundwasserentnahmen der letzten 5 Jahre (2019-2024) betragen rd. 38,0 Mio. m³/a (64 % der genehmigten Mengen). Sie variieren von 0 m³/a (*GALS2_ML*) bis rd. 7,2 Mio. m³/a (*WLL3_ML*) mit einer mittleren Grundwasserentnahme je Bilanzraum von rd. 2,7 Mio. m³/a. Davon werden rd. 87 % aus dem ersten Grundwasserleiter entnommen und 13 % aus dem zweiten, wobei hier mit rd. 4,4 Mio. m³/a am meisten (93 %) im Grundwasserkörper *Talaue der Weser südl. Wiehengebirge* 1 (*TWW1_ML*) entnommen wird.

8.2 Zukünftige Grundwasserentnahmen

Im Rahmen der Pilotstudie wurde untersucht, inwieweit sich der Grundwasserbedarf in Minden-Lübbecke bis zum Jahr 2050 verändern wird. Dazu wurden die Wasserversorgungskonzepte (WVK) aller Kommunen in Minden-Lübbecke gesichtet und hinsichtlich des prognostizierten Grundwasserbedarfs analysiert. Darüber hinaus wurden die großen Wasserversorger kontaktiert und bezüglich ihrer Prognosen für den zukünftigen Grundwasserbedarf befragt. Zur Überprüfung der Grundwasserentnahmen von größeren Unternehmen (>100.000 m³/a) wurde die Laufzeit der Wasserrechte betrachtet. Bei Unternehmen, die nur noch ein kurzes Wasserrecht besitzen, wurde recherchiert, ob eine mengenmäßige Erweiterung des bestehenden Wasserrechts geplant ist. Derzeit findet in Minden-Lübbecke so gut wie keine landwirtschaftliche Beregnung von Feldfrüchten statt. Der Klimawandel und die Zunahme von Trockenperioden könnten in den nächsten Jahrzehnten eine Beregnung von Feldfrüchten erforderlich machen. Es wurde untersucht, wie wahrscheinlich die Einführung einer ausgedehnten landwirtschaftlichen Feldberegnung in Minden-Lübbecke in den nächsten Jahrzehnten ist.

Die Auswertung der WVK der Kommunen ergaben eine Tendenz zu gleichbleibenden bis leicht steigenden Grundwasserentnahmen. Begründet wird dies häufig mit der Zunahme bzw. Abnahme der Bevölkerung. In den WVK, in denen von einem leichten Anstieg der Grundwasserentnahmen berichtet wird, wird meist darauf hingewiesen, dass die bestehenden Wasserrechte ausreichend sind, um den zusätzlichen Bedarf zu decken. Zudem sind die Prognosen aus den WVK oft veraltet (Tab. 8.2), weswegen die Prognosen der Wasserversorger verlässlicher sind.

Die Prognosen der Wasserversorger sind in Tab. 8.3 dargestellt. Die Wasserversorger im Kreis Minden-Lübbecke gehen von einem konstanten bis leicht rückläufigen Wasserbedarf aus (Tab. 8.3). Sie rechnen mit steigenden Bedarfsspitzen, die aber durch ausreichende Niederschläge im Winter ausgeglichen werden. Die Gesamtniederschlagsmenge bleibt über das Jahr gesehen stabil.

Gemeinde	Veröffentlichung	Erstellungsjahr Bedarfsprognose
Bad Oeynhausen	2018	2018
Espelkamp	2018	2016
Porta Westfalica	2018	2006
Stemwede	2018	2014
Petershagen	2018	2017: Ist Zustand: 2008
Lübbecke	2018	Ist Zustand: 2014
Rahden	2017	2002
Hüllhorst	2018	2018
Hille	2018	2017
Minden	2018	2013
Preußisch Oldendorf	2024	2018

Tab. 8.2: Übersicht der Gemeinden mit dem jeweiligen Erscheinungsjahr des WVK und dem Erstellungsjahr der Bedarfsprognose

Wasserwerke	Aktuelles Wasserrecht [m³/a]	Tendenz	Bemerkung
Bad Oeynhausen - Rehme	1.445.000	Gleichbleibend (SB)	
Espelkamp	970.000	Gleichbleibend/leicht abnehmend (SB)	
Hille - Rothenuffeln	650.000	Leicht abnehmend (SB)	
Hille - Sühemmern	5.000.000	Gleichbleibend (SB)	
Lübbecke - Gehlenbeck Masch	860.000	Gleichbleibend (SB)	
Lübbecke - Kutscherweg	1.000.000	Gleichbleibend (SB)	
Minden - Meißen IV	1.000.000	Keine Prognosen	
Minden - Portastraße	2.000.000	Keine Prognosen	
Petershagen - Wietersheim	1.480.000	Gleichbleibend (SB)	Häufiger Bedarfsspitzen
Petershagen - Ilse	500.000	Gleichbleibend (SB)	Häufiger Bedarfsspitzen
Petershagen - Ovenstädt	130.000	Gleichbleibend (SB)	Häufiger Bedarfsspitzen
Porta Westfalica - Huxhöhe	4.000.000	Keine Prognosen	
Porta Westfalica - Veltheim Sprengelweg	2.100.000	Keine Prognosen	Wasserrecht zu 80% ausgelastet
Preußisch Oldendorf - Hedem	5.200.000	Keine Prognosen	
Rahden - Wehe	1.400.000	Leichte Zunahme (SB)	Basieren auf Bevölkerungszahlen
Stemwede - Dielingen	675.000	Gleichbleibend (SB)	

SB = Schätzung der Betreiber

Tab. 8.3: Übersicht der Wasserversorger und deren Bedarfsprognosen

Die größten privaten Wasserrechtsinhaber (>100.000 m³/a) verfügen über Wasserrechte von ungefähr 5 Mio. m³/a. Diese Wasserrechte haben entweder noch eine lange Laufzeit oder es gibt keine Hinweise auf eine mengenmäßige Erweiterung des bestehenden Wasserrechts. Daher ist mit einem gleichbleibenden Wasserbedarf privater Entnehmer zu rechnen. Tab. 8.4 zeigt die größten privaten Wasserrechtsinhaber mit dessen Förderrechte und deren Ablaufdaten.

Wasserrechtsinhaber	Förderleistung [m³/a]	Ablauf Wasserrecht
Siegfried Pharma Chemikalien Minden	1.800.000	2032
Gelita AG	900.000	2025
Spargel und Beerenanbau Winkelmann	618.000	2023 - 2044 *
Westfleisch SCE mbH	370.000	2039
Melitta Europe GmbH & Co. KG	350.000	2036
Uniper SE	340.000	2031
Privatbrauererei Ernst Barre	310.400	2025
Kiesgrube Bokshorn	250.000	2040
SITEX textile services companies Simeon GmbH	110.000	2025

* Ablaufjahr der Wasserrechte variiert

Tab. 8.4: Übersicht der privaten Wasserrechtsinhaber mit dem Wasserrechtsvolumen- und dem Ablaufjahr

Die größte Wasserentnahme in der Landwirtschaft ist in der Regel die Bewässerung der Pflanzen auf den Feldern. Dies erfordert eine Infrastruktur, die aus einem Netz von Brunnen zur Grundwasserentnahme und entsprechenden Geräten zur Wasserverteilung auf den Feldern (z. B. Rohrleitungen, Beregnungsaggregate, Beregnungsmaschinen) besteht. Diese Infrastruktur ist im Kreis Minden-Lübbecke für den Ackerbau, nicht vorhanden, da eine Bewässerung der Kulturen bisher nicht notwendig war. Im Gartenbau gibt es diese Infrastruktur hingegen schon (siehe Wasserrecht Winkelmann Tab. 8.4). Der Klimawandel stellt die Landwirte im Kreis Minden-Lübbecke vor neue Herausforderungen bei der Ertragssicherung. Häufigere und länger anhaltende Trockenperioden können zu Ertrags- und damit zu Einkommenseinbußen führen.

Wie viel Beregnung zur Verhinderung einer Ertragsminderung benötigt wird, haben KREINS ET. AL. (2015) untersucht. Für den Regierungsbezirk Detmold wurde der Wasserbedarf für die landwirtschaftliche und gärtnerische Beregnung für die Prognosezeiträume 1961-1990, 1990-2020 und 2021-2050 berechnet. Diese wurden für den Kreis Minden-Lübbecke entsprechend der Ackerfläche reduziert (Tab. 8.5). In Tab. 8.5 werden Modellprognosen hinsichtlich des Beregnungsbedarfes für 3 verschiedene Zeiträume dargestellt. Ein Beregnungsbedarf liegt vor, sobald der Wasserbedarf der Pflanzen nicht durch natürliche Regenfälle gedeckt werden kann und der Wassermangel bei den Pflanzen zu deutlichen Qualitäts- und Ertragseinbußen führen würde. Eine Beregnungswürdigkeit liegt bei Pflanzen vor, wenn durch die Bewässerung trotz zusätzlicher Kosten für die Beregnung ein wirtschaftlicher Mehrerlös erzielt wurde.

	Gesamt [m³/a]	Landwirtschaft [m³/a]	Gartenbau [m³/a]
1961-1990	283.360	40.480	242.880
1990-2020	344.080	80.960	263.120
2021-2050	850.080	445.280	404.800

Tab. 8.5: Modellprognosen des Beregnungsbedarfes in Minden-Lübbecke (Grundlage: KREINS et al, 2015)

In der ersten Periode (1961-1990) wird für Minden-Lübbecke ein Beregnungsbedarf von 283.360 m³/a errechnet. Dieser steigt in den folgenden Jahren kontinuierlich an. Prozentual steigt der Beregnungsbedarf in der Landwirtschaft auf 1.100 %, während er im Gartenbau auf ca. 167 % steigt. Im Gartenbau wird im Kreis Minden-Lübbecke bereits heute beregnet, so dass der Anstieg geringer ausfällt (SCHIMMELPFENNIG et al, 2017). Für den Zeitraum 2021 bis 2050 wird für Minden-Lübbecke ein Gesamtberegnungsbedarf von 850.080 m³/a berechnet (KREINS et al, 2015).

Die Prognosen wurden ursprünglich für den Regierungsbezirk Detmold erstellt und für diese Studie anhand der Ackerflächengrößen auf den Kreis Minden-Lübbecke übertragen. Die Firma Winkelmann stellt mit ihren derzeitigen Wasserrechten von über 500.000 m³/a im Gartenbau eine Ausnahme dar, die in dieser Übertragung nicht berücksichtigt werden können. Dennoch liefern die Modellprognosen einen guten Überblick über die zu erwartende Steigerung des Beregnungsbedarfs, der für die weitere Analyse herangezogen werden kann. Der berechnete Beregnungsbedarf entspricht einer Mengensteigerung auf ca. 320 %, ist aber im Vergleich zu anderen Kreisen (z. B. Landkreis Celle: beantragte Wasserrechte 32 Mio. m³/a) gering. Diese Mengensteigerung zeigt, dass die Beregnungsbedürftigkeit in den kommenden Jahrzehnten steigt.

Um abzuschätzen, ob die höhere Beregnungsbedürftigkeit auch tatsächlich zu einer höheren Beregnung führt, wird abgeschätzt, ob die Investitionen wirtschaftlich sind. Das höchste Mehrertragspotenzial liegt bei den Hackfrüchten Speisekartoffeln und Zuckerrüben (LÜTTGER et al, 2005). Diese werden im Kreis Minden-Lübbecke jedoch nur auf 1.888 ha der 53.705 ha Ackerfläche angebaut (LANDESBETRIEB IT.NRW, 2025). Am häufigsten werden im Kreis Minden-Lübbecke verschiedene Getreidearten mit 34.675 ha und Mais mit 9.934 ha (Tab. 8.6) angebaut (LANDESBETRIEB IT.NRW, 2025).

Bodennutzungsart	Fläche [ha]
Ackerfläche (Gesamt)	53.705
Getreide	34.675
Hackfrüchte	1.891
Mais	9.934
Sonstiges	7.205

Tab. 8.6: Übersicht über den Ackeranbau in Minden Lübbecke im Jahre 2020 (Quelle: LANDESBETRIEB IT.NRW, 2025)

Während das Mehrertragspotenzial bei Hackfrüchten zwischen 626 €/ha (Kartoffeln) und 218 €/ha (Zuckerrüben) liegt, ist es bei Getreide (zwischen 3 und 93 €/ha) und Mais (31 €/ha) vergleichsweise gering (LÜTTGER et al, 2005). Bei Getreide ist das Ertragssteigerungspotenzial durch Beregnung sortenabhängig, aber im Vergleich zu Hackfrüchten gering (LÜTTGER et al, 2005). Das Profitpotenzial ist bei dieser Bepflanzung mäßig, weshalb die Beregnung nur bei geringen Investitionskosten in die Infrastruktur wirtschaftlich sein kann.

Um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen, werden die Investitionskosten abgeschätzt. So lässt sich ermitteln, ob es für die landwirtschaftlichen Betriebe wirtschaftlich ist, in die benötigte Technik zu investieren. Die Landwirte benötigen zur Förderung des Grundwassers Brunnen, eine Maschine zur Verteilung des Wassers, eine Beregnungspumpe und das Rohrgestänge zum Transport des Wassers zwischen dem Verteiler und der Pumpe. Zur Abschätzung der Investitionskosten wird als Wasserverteiler mit einer mobilen Rohrtrommel gerechnet, da dies die häufigste Ausbringungsart ist. Die Kosten für den Brunnenbau und die Maschinen sind in Tab. 8.7 dargestellt.

Bauteil	Neu (Ø)	Gebraucht (Ø)
Rohrtrommel	45.000	15.000
Beregnungspumpe	25.000	15.000
Rohrgestänge	5.400	2.500
Brunnen: 20 m Tiefe	10.500	
Brunnen: 40 m Tiefe	23.500	
Brunnen: 80 m Tiefe	45.000	

Tab. 8.7: Kostenübersicht der Komponenten für die Beregnung von Ackerflächen (Quelle: Eigene Ermittlung)

Es wurde für neue Maschinen und für 16 Brunnen mit je 40 m Tiefe (SCHIMMELPFENNIG et al, 2017) kalkuliert. Die Investitionskosten belaufen sich auf ca. 450.000 €. Die Investitionskosten können auch niedriger sein, da die Maschinen gebraucht gekauft werden können und die Brunnenbaukosten von der Tiefe und der Bauweise abhängen. Für durchschnittlich große landwirtschaftliche Betriebe (keine Großbetriebe) sind diese Investitionskosten eine große Hürde.

Ob die landwirtschaftlichen Betriebe im Kreis Minden-Lübbecke in die Infrastruktur investieren, hängt von der Wirtschaftlichkeit ab (LÜTTGER et al, 2005). Das heißt, der Mehrerlös durch die Beregnung muss größer sein als die Kosten der Beregnung. Dies ist bei den hohen Investitionskosten und der geringen Beregnungsbedürftigkeit fraglich. Zudem haben die angebauten Feldfrüchte einen Fokus auf Getreide, was ein geringeres Mehrertragspotenzial besitzt.

Es ist unwahrscheinlich, dass die landwirtschaftlichen Betriebe in den nächsten Jahrzehnten mit der Beregnung ihrer Ackerkulturen beginnen, da die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist. Eine Beregnung durch einzelne Betriebe ist nicht auszuschließen, würde aber die Erteilung neuer Wasserrechte voraussetzen.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass die derzeitigen Wasserrechte der Wasserversorger und Großbetriebe auch für die Zukunft ausreichend sind. Darüber hinaus ist eine Erhöhung des Grundwasserbedarfs durch eine beginnende Beregnung von Ackerflächen infolge zunehmender Trockenperioden aufgrund der hohen Anfangsinvestitionskosten und der geringen Wirtschaftlichkeit unwahrscheinlich.

8.3 Abschätzung der erlaubnisfreien Grundwasserentnahme

Die mengenmäßige Ermittlung der erlaubnisfreien Grundwasserentnahme erfolgt durch Abschätzung der erlaubnisfreien Verbräuche der Sektoren Haushalte, Gartenbewässerung, Kleingärten und Landwirtschaft/ Tierhaltung. Bei einigen der bilanzierten Grundwasserentnahmen handelt es sich ggf. nicht um erlaubnisfreie, sondern um nicht erlaubte Grundwasserentnahmen. Diese sind dennoch aufgeführt worden. Zur Vereinfachung und Vereinheitlichung wird im Folgenden für die genannten Entnahmen der Begriff „erlaubnisfreie Entnahme“ genutzt.

8.3.1 Private Haushalte

Die erlaubnisfreie Grundwasserentnahme aus privaten Haushalten umfasst alle Haushalte, die nicht an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen sind und einen eigenen Brunnen für die Wasserversorgung im Haus nutzen. Diese Haushalte mit eigenem Brunnen müssen dem Gesundheitsamt gemeldet werden. Beim Gesundheitsamt Minden-Lübbecke sind aktuell 450 Haushalte mit eigener Wasserversorgung gemeldet.

+ nicht an die zentrale Wasserversorgung angeschlossene Haushalte: 450

Zur mengenmäßigen Abschätzung der Grundwasserentnahme wurde die Anzahl der Haushalte mit der durchschnittlichen Haushaltsgröße in Personen (LANDESBETRIEB IT.NRW 2024) multipliziert. Die ermittelte Personenanzahl wird mit dem durchschnittlichen Wasserverbrauch pro Person (LANDESBETRIEB IT.NRW 2019) multipliziert und auf das Jahr hochgerechnet.

+ Durchschnittliche Personenzahl pro Haushalt: 2,06

+ Durchschnittlicher Wasserverbrauch pro Person:138,4 [l/d]

$$Wasservebrauch\ in\ privaten\ Haushalten = 450 * 2{,}06 * 138{,}4\ \frac{l}{d} * 365\ d$$

$$= 46.828\ \frac{m^3}{a}$$

8.3.2 Gartenbewässerung

Die mengenmäßige Quantifizierung der Gartenbewässerung erfolgt in mehreren Arbeitsschritten. Dafür wird zwischen den städtisch geprägten Gebieten von Bad Oeynhausen und Minden und dem ländlich geprägten Rest des Kreises unterschieden. Das Vorgehen in den beiden Bereichen ist analog. Zur Ermittlung der Anzahl der Haushalte wird die Einwohnerzahl (MINDEN-LÜBBECKE, 2018) durch die durchschnittliche Haushaltsgröße in Personen (LANDESBETRIEB IT.NRW, 2023) dividiert. In den städtisch geprägten Gebieten wird angenommen, dass 1/3 der der Haushalte einen Garten besitzt und 1/3 der Gartenbesitzer zusätzlich über einen Brunnen verfügt. In den ländlichen Regionen des Kreises wird davon ausgegangen, dass 2/3 der Haushalte einen Garten besitzen und jeder zweite Gartenbesitzer zusätzlich über einen Brunnen verfügt.

+ Einwohnerzahl Kreis Minden-Lübbecke (ländlich geprägt): 180.089
+ Einwohnerzahl Kreis Minden Lübbecke (städtisch geprägt): 130.320
+ Durchschnittliche Personenzahl pro Haushalt: 2,06
+ Anteil der Haushalte mit Garten im ländlichen Raum: 2/3
+ Anteil der Gartenbesitzer im ländlichen Raum mit Brunnen: 1/2
+ Anteil der Haushalte mit Garten im städtischen Raum: 1/3
+ Anteil der Gartenbesitzer im städtischen Raum mit Brunnen: 1/3

$$Brunnenbesitzer\ ländlicher\ Raum: \frac{180.089}{2{,}06} * \frac{2}{3} * \frac{1}{2} = 29.141$$

$$Brunnenbesitzer\ städtischer\ Raum: \frac{130.320}{2{,}06} * \frac{1}{3} * \frac{1}{3} = 7.029$$

Im Kreis Minden-Lübbecke sind die Grundwasserflurabstände regional unterschiedlich. Der Grundwasserflurabstand darf nicht zu groß sein, da Gartenpumpen keine große Saughöhe haben. Daher wird davon ausgegangen, dass in Gebieten mit einem Grundwasserflurabstand > 5 m kein Gartenbrunnen für die Gartenbewässerung vorhanden ist. Es wird davon ausgegangen, dass in Gebieten, in denen die Böden an der Oberfläche eine geringe Leitfähigkeit aufweisen oder in denen Festgestein ansteht, keine Gartenbrunnen vorhanden sind. Die Siedlungsgebiete, in denen kein oberflächennaher Grundwasserhemmer vorhanden ist und der Grundwasserflurabstand < 5 m beträgt, sind in Abb. 8.1 grün gekennzeichnet. In den rosa eingefärbten Bereichen ist ein Brunnenbau nur schwer realisierbar.

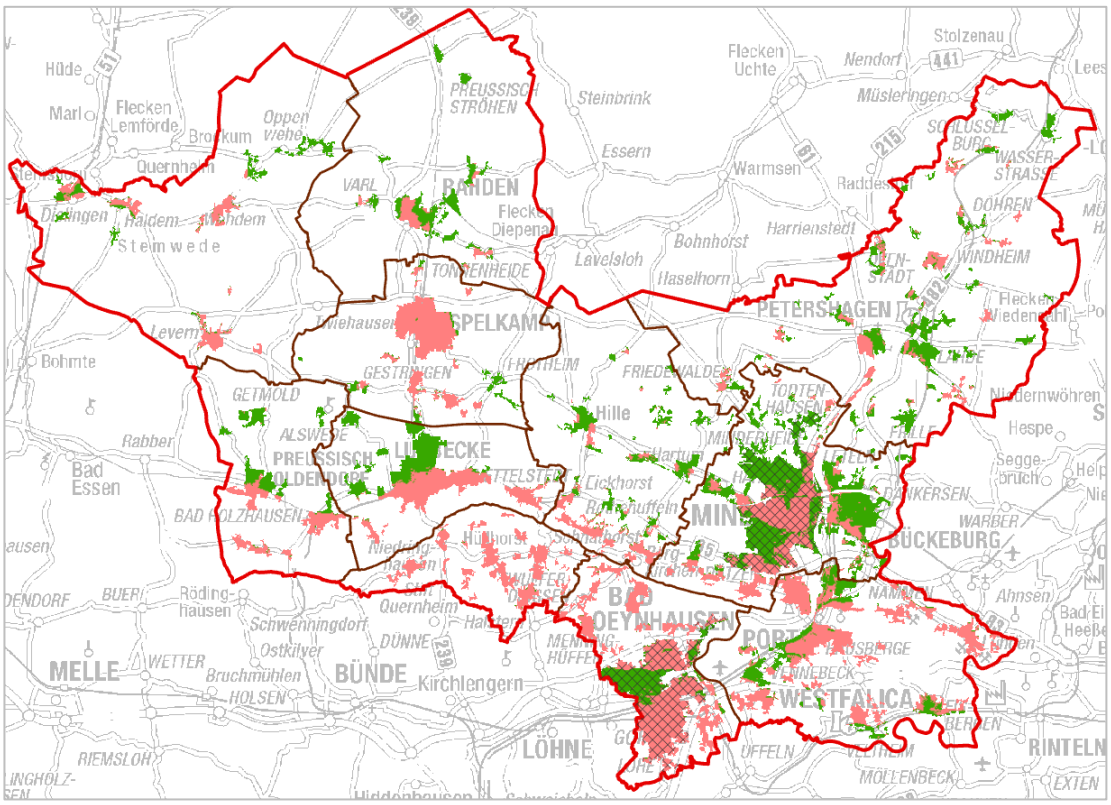


Abb. 8.1: Die Siedlungsgebiete im Kreis Minden-Lübbecke: grün = Brunnen möglich, rosa = Brunnen sehr unwahrscheinlich; Kreuzschraffur = Städtisch geprägte Gebiete

Der Flächenanteil des für Brunnen geeigneten Siedlungsgebiets berechnet sich aus den in Abb. 8.1 grün eingefärbten Bereichen innerhalb der mit Kreuzschraffur gekennzeichneten Zonen.

+ Flächenprozent der für Brunnen geeigneten Siedlungsgebieten: 41,76%

$$Haushalte\ mit\ potenziellen\ Brunnen = (29.141 + 7.029) * 0{,}4176 = 15.105$$

Die Bewässerungsdauer wird unter Berücksichtigung der Sommertage (Höchsttemperaturen > +25°C) (WETTERPROGNOSE-WETTERVORHERSAGE 2024), der Bewässerungshäufigkeit (GÄRTNER PÖSCHKE 2024) und der Bewässerungsdauer pro Tag bestimmt.

+ Sommerwettertage (+25°C): 50,4 d/a

+ Sommerwettertage, an denen bewässert wird: alle 3 Tage

+ Bewässerungsdauer pro Tag: 3 h

$$Bewässerungsdauer = \frac{50{,}4\ \frac{d}{a}}{3\ d} * 3\ h = 50{,}4\ \frac{h}{a}$$

Zur Quantifizierung des Grundwasserverbrauchs pro Stunde, wird der Verbrauch eines Rasensprengers herangezogen (VSR- GEWÄSSERSCHUTZ E.V. 2024).

+ Rasensprenger Verbrauch: 0,6 m³/h

Der gesamte Wasserverbrauch für die Gartenbewässerung ergibt sich durch Multiplikation der Faktoren und Subtraktion der genehmigten Mengen.

+ Genehmigtes Volumen: 1.320 m³/a

$$Verbrauch\ durch\ Gartenbewässerung = 15.105 * 50{,}4\ \frac{h}{a} * 0{,}6\ \frac{m^3}{h} - 1.320 \frac{m^3}{a}$$

$$= 455.455\ \frac{m^3}{a}$$

Private Swimmingpools werden in deutschen Gärten immer beliebter. Diese Pools werden entweder mit Leitungswasser oder mit Brunnenwasser gefüllt. Wie viel Prozent der Pools mit Brunnenwasser befüllt werden, konnte trotz intensiver Recherchen nicht ermittelt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass hierfür eine nicht unerhebliche Menge aus dem Grundwasser entnommen wird.

8.3.3 Kleingärten

Zur Ermittlung der erlaubnisfreien Grundwasserentnahme der Kleingärten wurde die Fläche von 5 der 7 Kleingärten mit Hilfe von Google Earth vermessen. Die Fläche wird dann mit dem jährlichen Wasserverbrauch von Gartenflächen von 60 l/(m²*a) multipliziert (LANDESVERBAND BERLIN DER GARTENFREUNDE E.V. 2024). Zwei Kleingartenkolonien sind an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen und werden daher nicht berücksichtigt.

Kleingarten	Fläche
KGV Am Fort C	49.557 m²
KGV Bärenkampen	19.347 m²
KGV Witenkind	34.680 m²
KGV Erholung	19.131 m²
KGV Bunte Brücke	15.973 m²
Gesamtfläche	138.688 m²

Tab. 8.8: Kleingärten mit den zugehörigen ausgemessenen Flächen

+ Gesamtfläche Kleingärten: 138.688 m²

+ Bewässerungsmenge im Garten: 60 l/(m²*a)

$$Jährlicher\ Wasserverbrauch\ der\ Kleingärten = 138.688\ m^2 * 60\ \frac{l}{m^2 * a} = 8.321\ \frac{m^3}{a}$$

8.3.4 Viehwirtschaft

Die erlaubnisfreie Grundwasserentnahme in der Landwirtschaft erfolgt hauptsächlich durch die Tierhaltung. Die Quantifizierung des Wasserverbrauchs der Tiere erfolgt nach Tierarten (Rind, Schwein, Huhn, Einhufer).

Rind

Der Wasserverbrauch einer Kuh/eines Rindes variiert je nach Wachstumsstadium und Nutzung. Die Unterteilung zur Berechnung des Wasserverbrauchs erfolgt nach Milchkuh und nach den verschiedenen Altersstufen des männlichen Rindes (siehe **Anhang 10**). Die Anzahl der Tiere in den Unterteilungen werden mit dem jeweiligen Trinkwasserverbrauch der Tiere (DLG-MERKBLATT 399 2014) multipliziert. Insgesamt ergibt sich ein jährlicher Wasserverbrauch der Rinder von 520.633 m³/a.

Schwein

Der Wasserverbrauch in der Schweinehaltung wurde, wie der Wasserverbrauch der Rinder bestimmt. Die Anzahl der Schweine in den verschiedenen Wachstumsstadien und Nutzungsarten (siehe **Anhang 10**) werden mit dem entsprechenden Wasserverbrauch (DLG-MERKBLATT 464 2021) multipliziert. Unterschieden wurde in den Wachstumsstadien zwischen Saugferkel, Absetzferkel, Zuchtsauen und zwischen den Gewichtsklassen der Mastschweine. Daraus ergibt sich ein jährlicher Wasserverbrauch der Schweine von 846.664 m³/a.

Huhn

Der Wasserverbrauch der Hühner ergibt sich aus der Anzahl der Hühner (siehe **Anhang 10**) multipliziert mit dem Wasserbedarf (BAUERNZEITUNG 2022). Der Gesamtwasserbedarf der Hühner beträgt 56.109 m³/a.

Einhufer

Der Wasserverbrauch der Einhufer ergibt sich aus der Anzahl der Tiere (siehe **Anhang 10**) multipliziert mit dem durchschnittlichen Wasserverbrauch (EQUIVA 2024). Der Gesamtwasserbedarf der Einhufer beträgt 19.559 m³/a.

Gesamtwasserverbrauch durch Viehwirtschaft

Der Gesamtwasserverbrauch der Tierhaltung ergibt sich aus der Summe der Einzelverbräuche und beläuft sich auf 1.442.965 m³/a. Davon werden die genehmigten Grundwasserentnahmen (99.458 m³/a) und das Wasser aus der öffentlichen Wasserversorgung (178.598 m³/a) subtrahiert. Der erlaubnisfreie bzw. nicht erlaubte Wasserverbrauch der Landwirtschaft/Viehhaltung beläuft sich auf 1.164.909 m³/a

8.3.5 Summe der erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen je Bilanzraum

Die zuvor ermittelten Summen der erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen wurden für den Kreis Minden-Lübbecke als Ganzes gebildet. Die Aufteilung der Gesamtentnahmen auf die einzelnen Bilanzräume wurde für die differenzierte Bilanzierung vorgenommen und erfolgte für jeden der 4 Sektoren einzeln.

Für die Berechnung wurde die Fläche der Bilanzräume in den einzelnen Gemeinden berechnet und auf Prozentwerte umgerechnet. In den folgenden Berechnungen wurde mit den Flächenanteilen der Bilanzräume an den Gemeinden weitergerechnet.

Als Grundlage für die Berechnungen stehen die gleichen Quellen wie in Kap. 8.3.1, 8.3.2, 8.3.3 und 8.3.4 zur Verfügung. Diese beinhalten neben den Zahlen Nutztiere und den Einwohnerzahlen für den gesamten Kreis auch die der einzelnen Gemeinden. Die Berechnungen für die Landwirtschaft und die Gartenbewässerung wurden analog zu den zuvor in Kap. 8.3.2 und 8.3.4 durchgeführten Berechnungen für diese Bereiche durchgeführt. Die Grundwasserentnahmen der Kleingärten wurden entsprechend ihrer geografischen Lage den einzelnen Bilanzräumen zugeordnet. Die Verteilung der erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen der privaten Haushalte, die nicht an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen sind, erfolgte anhand der Flächenanteile der einzelnen Bilanzräume am gesamten Kreis. Dies war notwendig, da nur ein Wert für den gesamten Kreis vorliegt. Mit diesen Werten wurden die folgenden Berechnungen für die privaten Haushalte analog zu den Berechnungen im Kapitel 8.3.1 durchgeführt.

Die erlaubnisfreie Grundwasserentnahme je Bilanzraum ist in Tab. 8.9 dargestellt. Darin sind neben der Summe der erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen der Gemeinden auch die Grundwasserentnahmen der einzelnen Sektoren aufgeführt.

Bilanzraum	Wasserverbrauch [m³/a]				
	Private Haus-halte	Garten-be-wässerung	Klein-gär-ten	Viehwirt-schaft	Gesamt
Große Aue Lockergestein im Süden 1	3.035	40.038	-	61.908	104.981
Große Aue Lockergestein im Süden 2	646	9.143	-	21.352	31.141
Große Aue Lockergestein links	3.719	18.327	-	168.020	190.065
Große Aue Lockergestein rechts	2.704	15.780	-	119.866	138.351
Hunte rechts Festgestein 1.1	5	671	-	1.559	2.235
Hunte rechts Festgestein 1.2	2.059	45		105	2.210
Hunte rechts Lockergestein 1	435	8.091	-	98.006	106.532
Hunte rechts Lockergestein 2	2.513	3.868	-	9.018	15.399
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 1	738	14.934	-	58.076	73.748
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.1	124	12.539	-	2.446	15.109
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.1	148	2.105		411	2.664
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.3	1.139	2.523		492	4.155
Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 1	4.583	29.745	-	173.367	207.695
Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 2	1.730	29.935	-	69.527	101.193
Mittellippische Trias-Gebiete 1	1.224	4.074	-	2.846	8.144
Nördliche Herforder Mulde 1	1.723	40.594	-	56.651	98.967
Nördliche Herforder Mulde 2	419	12		27	457
Nordlippische Trias-Gebiete 1	773	11.230	-	4.886	16.889
Oberweser-Hameln	2	31	-	6	39
Petershäger Kreide	1.241	9.868	-	25.945	37.054
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 1	1.538	25.166	-	6.271	32.974
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 2	.145	19.458	-	3.796	24.399
Werre-Bega-Else-Talung 1	272	3.407	-	2.380	6.058
Weser Lockergestein links 1	288	1.709	-	6.646	8.642
Weser Lockergestein links 2	1.503	8.931	-	34.732	45.166
Weser Lockergestein links 3	5.641	62.661	4.390	104.192	176.883
Weser Lockergestein rechts	4.003	34.129	3.932	79.690	121.753
Wiehengebirge 1.1	1.394	17.143	-	22.637	41.174
Wiehengebirge 1.2	191	2.862	-	2.432	5.485
Wiehengebirge 1.3	190	3.344	-	1.901	5.435
Wiehengebirge 2.1	1.074	13.934	-	16.662	31.671
Wiehengebirge 2.2	131	1.856	-	1.760	3.746
Wiehengebirge 2.3	498	7.302	-	7.297	15.097
Gesamt	46.828	455.455	8.321	1.164.909	1.675.513

Tab. 8.9: Die erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen der einzelnen mit den einzelnen Grundwasserentnahmen der Sektoren

8.3.6 Gesamtschätzung erlaubnisfreie Grundwasserentnahme

+ Private Haushalte: 46.828 m³/a
+ Gartenbewässerung: 455.455 m³/a
+ Kleingartenkolonien: 8.321 m³/a
+ Viehwirtschaft: 1.164.909 m³/a

Durch Addition der Einzelverbräuche der Sektoren ergibt sich ein Grundwasserverbrauch durch erlaubnisfreie Grundwasserentnahmen von 1.675.513 m³/a.

Die Schätzung basiert auf einer umfassenden Recherche sowie diversen Anfragen bei den zuständigen Ämtern, Kammern und Verbänden. Das Resultat weist eine gewisse Unschärfe auf, da eine Vielzahl von Einflussfaktoren eine genauere Schätzung erschwert. Insgesamt wird das Resultat dem realen Wert nahekommen und liegt aller Wahrscheinlichkeit nach über der tatsächlichen, erlaubnisfreien Grundwasserentnahme. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in einigen Fällen aufgrund von fehlenden Daten Werte auf der sicheren Seite angenommen wurden. Weiterhin handelt es sich nicht strikt um erlaubnisfreie Grundwasserentnahmen, sondern zum Teil um nicht erlaubte Grundwasserentnahmen. Die erlaubnisfreien Grundwasserentnahmen werden bei der Ermittlung der Dargebotsreserve nicht berücksichtigt, jedoch als Hinweis im Bilanzierungswerkzeug vermerkt.

9 Konzeptvorschlag

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die Grundlagen für eine Bilanzierung des Grundwasserdargebots sowie einer daraus herzuleitenden nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve dargestellt. Im Folgenden werden die Festlegungen und Ergebnisse der Betrachtungen beschrieben. Daraus wird dann das Konzept zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve im Kreis Minden-Lübbecke erstellt.

Das **Grundwasserdargebot** wird aus der Grundwasserneubildung nach mGROWA im Zeitraum 1991-2020 (siehe Kap. 6.1) hergeleitet. Klimawandelszenarien (siehe Kap. 6.2) werden nicht für die Festlegung des Grundwasserdargebots verwendet, da die Ergebnisse nicht robust sind. Sie werden allerdings als Vergleich mit berechnet und dargestellt, um einen Überblick über die mögliche zukünftige Bandbreite der Ausnutzung des Grundwasserdargebots zu geben. Trockenwetterabschnitte (siehe Kap. 6.1) werden nicht berücksichtigt, da der Grundwasserspeicher einen Puffer gegenüber Trockenperioden bietet und diese durch kurze feuchte Perioden wieder ausgeglichen werden können. Die Trockenwetterdekade von 2011-2020 wird zum Vergleich berechnet und dargestellt.

Weitere Bestandteile werden **nicht im Grundwasserdargebot berücksichtigt**. Dies ist die Infiltration aus Oberflächengewässern (siehe Kap. 6.3), weil eine Quantifizierung auf Basis der vorliegenden Datengrundlage nicht möglich ist. Weiterhin werden die Direktabflusskomponenten (siehe Kap. 6.4) nicht berücksichtigt, da sie keine zeitliche Konstanz oder mengenmäßige Relevanz aufweisen. Die Wassermenge, die durch Kläranlagen (siehe Kap. 6.5) in Vorfluter eingeleitet werden, werden in der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da eine qualitative und räumliche Berücksichtigung der Einleitung und Nutzung sehr komplex ist. Die Wassermenge aus Kleinkläranlagen (siehe Kap. 6.6) wird nicht berücksichtigt, weil sie verhältnismäßig gering ist und nicht bei allen Einleitungen eindeutig feststeht, ob sie ins Grundwasser einleiten. Niederschlagsversickerungsanlagen (siehe Kap. 6.7) werden nicht berücksichtigt, da die Menge gering ist und durch die implizite Berücksichtigung in mGROWA keine gesonderte explizite Berücksichtigung vorgenommen werden kann.

Das **gewinnbare Grundwasserdargebot** wird ermittelt, indem es gleich dem Grundwasserdargebot gesetzt wird (siehe Kap. 7.1). Dies geschieht, da die vorliegende Datenbasis die Bestimmung eines nicht gewinnbaren Dargebots nicht zulässt. Zudem würde dem Nutzer vorgegriffen werden, da in einer Ergiebigkeitsbetrachtung, die örtlich differenziert zu erfolgen hat, die tatsächliche Gewinnbarkeit und der für die Gewinnung erforderliche Aufwand ermittelt wird.

Das gewinnbare Grundwasserdargebot wird in zwei Schritten gemindert, um das **nutzbare Grundwasserdargebot** zu erhalten. Diese Minderungen ergeben sich aus der Bestimmung eines Mindestwasserabflusses in den Oberflächengewässern und der Bestimmung der Grundwasserneubildung in den grundwasserabhängigen Landökosystemen.

Für die Bestimmung des **Mindestwasserabflusses in Oberflächengewässern** wird eine Studie der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA, 2019) herangezogen (siehe Kap. 7.2). Hier wird differenziert nach Basiseinzugsgebieten ein Abfluss ermittelt, der in mittleren Jahren nicht unterschritten werden sollte. Diese Werte werden nach hydrogeologischen Großlandschaften aggregiert, da eine zu differenzierte Betrachtung zu Unstimmigkeiten in Bezug auf das Verhältnis Grundwasserneubildung zu Mindestwasserabfluss führte. Dieser Mindestwasserabfluss wird vom gewinnbaren Grundwasserdargebot abgezogen.

Bei **grundwasserabhängigen Landökosystemen** wird davon ausgegangen, dass in und um diese Gebiete kein Grundwasser entnommen wird. Zudem soll das in diesen Gebieten neu gebildete Grundwasser nicht an einem anderen Ort entnommen werden, um die räumliche Trennung zwischen Neubildung und Grundwasserentnahme zu beschränken. Die Minderung wird bestimmt, in dem die Grundwasserneubildung in grundwasserabhängigen Landökosystemen inklusive 50 m Saum ermittelt wird. Die positive Bilanz wird, nach Berücksichtigung der Minderung für den Mindestwasserabfluss, vom gewinnbaren Dargebot abgezogen. Eine negative Bilanz wird nicht weiter betrachtet, da diese bereits in die Ermittlung der Grundwasserneubildung des ganzen Bilanzraumes eingegangen ist (siehe Kap. 7.3).

Im Rahmen der Studie wurden weitere Einflüsse untersucht und **nicht als Minderungen berücksichtigt**. Die Versalzung (siehe Kap. 7.4) von Grundwasser wird als Hinweise mit vermuteter Quelle der Versalzung in das Bilanzierungswerkzeug aufgenommen. Eine Minderung des gewinnbaren Grundwasserdargebots erfolgt nicht, da die Datengrundlage für eine Quantifizierung nicht vorliegt. Die Übertragung von Wasser zwischen Bilanzräumen (siehe Kap. 7.5) wird als Hinweise in das Bilanzierungswerkzeug übernommen. Eine Änderung des gewinnbaren Grundwasserdargebots erfolgt nicht, da die Datengrundlage nur eine mäßige Datensicherheit aufweist. Eine Änderung des gewinnbaren Grundwasserdargebots durch Bergbau (siehe Kap. 7.6) erfolgt nicht, da die Datengrundlage dies nicht zulässt.

Vom so ermittelten nutzbaren Grundwasserdargebot werden die **aktuell genehmigten Grundwasserentnahmen** abgezogen. Im Bilanzierungswerkzeug werden Hinweise auf ggf. erlaubnisfreie oder nicht genehmigte Grundwasserentnahmen gegeben sowie auf zukünftigen zusätzlichen Wasserbedarf.

Das Ergebnis ist die **nutzbare Grundwasserdargebotsreserve**, die für weitere Wasserrechte zur Verfügung steht. Ist die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve negativ, da die Entnahmen größer sind als das nutzbare Dargebot, wird die nutzbare Dargebotsreserve auf Null gesetzt.

Das aus diesem Vorgehen resultierende Konzept ist als Fließschema in Abb. 9.1 dargestellt.

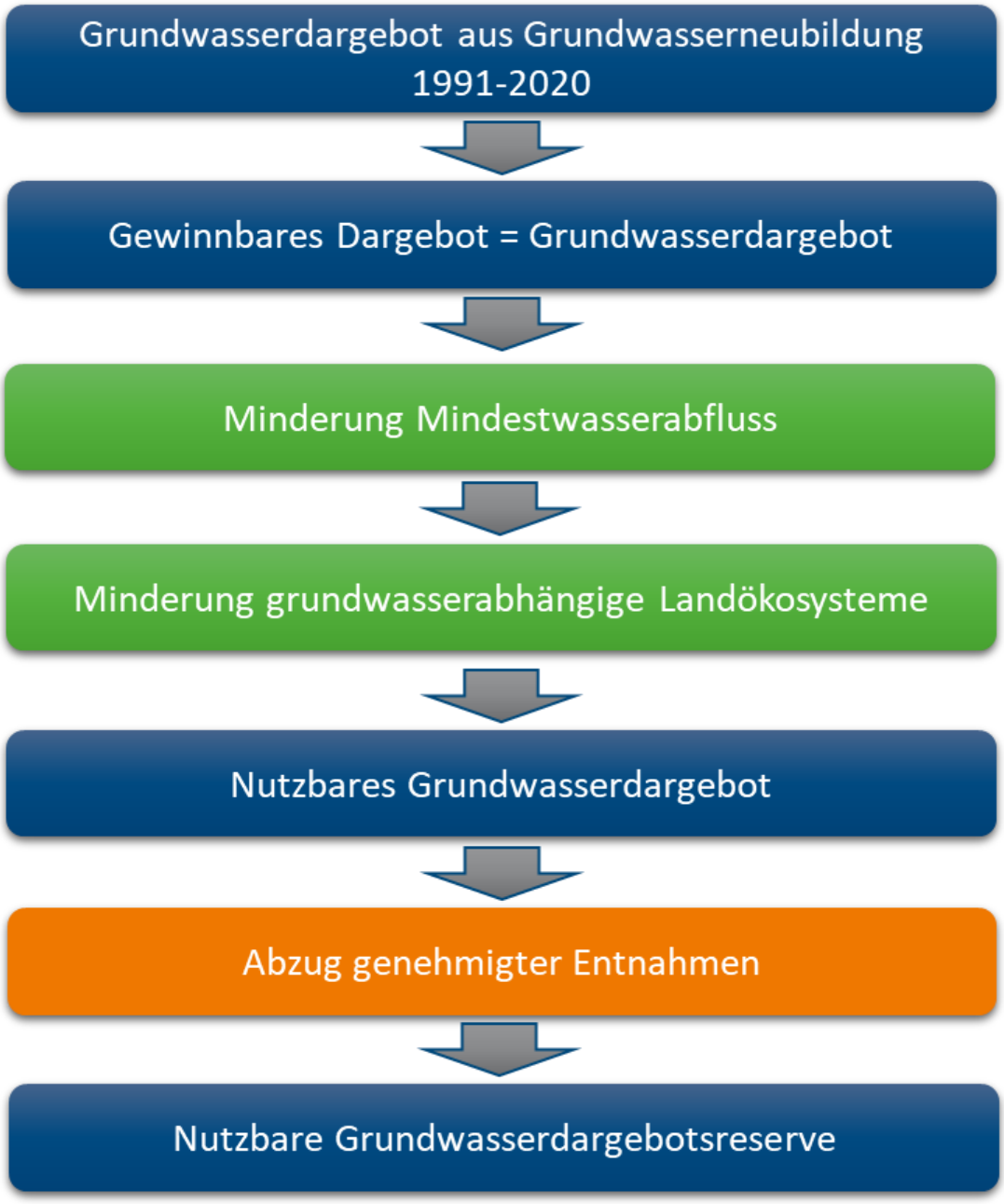


Abb. 9.1: Fließschema der Ermittlung des nutzbare Grundwasserdargebots entsprechend dem aufgestellten Konzept

Die Aufteilung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve auf die **administrativen Einheiten** erfolgt über die Bilanzräume. Basis für die Betrachtung sind die Grundwasserkörper die dort, wo es sinnvoll erschien, räumlich in weitere Bilanzräume unterteilt wurden. Eine weitere Unterteilung in Bilanzräume erfolgte an administrativen Grenzen, also Kreis- und Landesgrenzen. Im Bilanzierungswerkzeug (siehe Kap. 10) werden die Daten für die Grundwasserkörper neben denen der Bilanzräume dargestellt, so dass unter Einbezug der zuständigen Behörden eine Bewirtschaftung auf Grundwasserkörperebene erfolgen kann. Dabei werden die Dargebote und Reserven auf Grundwasserkörperebene über eine Addition der jeweiligen Bilanzglieder der einzelnen Bilanzräume ermittelt. Dadurch kann es sein, dass für den Grundwasserkörper eine verbleibende Nutzbare Dargebotsreserve angezeigt wird, obwohl die Entnahmen die Nutzbare Dargebotsreserve über den gesamten Grundwasserkörper übersteigen. Die Ergebnisse der Bilanzierung sind in Kap. 11 dargestellt und bewertet.

10 Bilanzierungswerkzeug

Für den Kreis Minden-Lübbecke wurde auf Basis des Konzepts ein Bilanzierungswerkzeug aufgestellt. Hier finden die in Kap. 9 beschriebenen Grundwasserdargebote und die jeweiligen Minderungen Eingang und werden auf die Bilanzräume und Grundwasserkörper angewendet. Im Ergebnis kann von den Genehmigungsbehörden somit beurteilt werden, ob eine ausreichende nutzbare Grundwasserdargebotsreserve für ein beantragtes Wasserrecht verfügbar ist.

Das Bilanzierungswerkzeug ist in MS Excel aufgebaut, um die Nutzung und Pflege möglichst einfach zu gestalten. Es besteht aus den in Tab. 10.1 aufgeführten und erläuterten Tabellenblättern.

Tabellenblatt	Beschreibung	Zu Pflegen
Steuerung	Steuerungsmöglichkeiten für Ergebnistabelle und Datenblatt	-
Datenblatt	Datenblatt für einen Bilanzraum sowie dessen Grundwasserkörper mit allen Berechnungen und Hinweisen zur Ermittlung der nutzbaren Dargebotsreserve	-
Ergebnistabelle	Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve für das ausgewählte Szenario als Überblick über alle Bilanzräume und Grundwasserkörper zur detaillierten Beurteilung der Daten	-
KA_Einleitung	Basisdaten für den Hinweis Kläranlageneinleitungen	x
WR_MiLK	Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen der UWB Minden-Lübbecke	x
WR_L	Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen der UWB Lippe	x
WR_H	Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen der UWB Herford	x
WR_BR_Detmold	Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen der Bezirksregierung Detmold	x
WR_BR_Arnsberg	Wasserrechte und tatsächliche Grundwasserentnahmen der Bezirksregierung Arnsberg	x
Istzustand_Basis	Basisdaten für den Zeitraum 1991-2020 inkl. tatsächlichen Grundwasserentnahmen nach Bilanzraum und Hinweisen zur Übertragung zwischen Bilanzräumen, Beregnungsbedarf und Trends	-
Trockenwetter_ Basis	Basisdaten für die Trockenwetterdekade (Zeitraum 2011-2020)	-
Klimawandel_ Mittel_ Basis	Basisdaten für den Zeitraum 2031-2060 nach dem Median des Klimwandelszenarium RCP4.5	-
Klimawandel_ Feucht_Basis	Basisdaten für den Zeitraum 2031-2060 nach dem Klimaszenario **R26_MP1_CLM** für die hydrogeologische Großlandschaft **Westfälisches Tiefland** und **R85_MP2_R09** für das **Weserbergland**	-

Tabellenblatt	Beschreibung	Zu Pflegen
Klimawandel_ Trocken_Basis	Basisdaten für den Zeitraum 2031-2060 nach dem Klimaszenario R85_MI5_CLM	-

Tab. 10.1: Aufbau des Bilanzierungswerkzeugs

Steuerung

In der Eingangstabelle „Steuerung“ kann das in dem Tabellenblatt „Ergebnistabelle“ zu verwendende Szenario aus den fünf berechneten Szenarien „Istzustand (1991-2020)“, „Trockenwetterdekade (2011-2020)“, „Klimawandel Mittel (2031-2060)“, „Klimawandel Feucht (2031-2060)“ und „Klimawandel Trocken (2031-2060)“ ausgewählt werden (siehe Abb. 10.1).

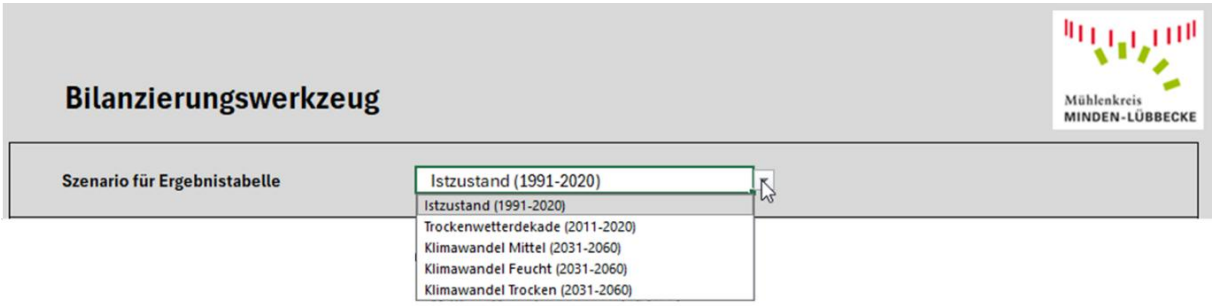


Abb. 10.1: Steuerung für Ergebnistabelle

Weiterhin können die Bezugszeiträume für die Szenarien „Trockenwetterdekade (2011-2020)“, „Klimawandel Feucht (2031-2060)“ und „Klimawandel Trocken (2031-2060)“ ausgewählt werden, die im Tabellenblatt „Datenblatt“ angezeigt werden sollen (siehe Abb. 10.2). Zu diesen Szenarien wurden neben der mittleren Grundwasserneubildung des Gesamtzeitraumes auch das Minimum des 5-jährigen gleitenden Mittels sowie das Minimum des 10-jährigen gleitenden Mittels berechnet, um jeweils einen worst-case in die Beurteilung mit aufnehmen zu können. Im Fall der „Trockenwetterdekade (2011-2020)“, die nur 10 Jahre umfasst, sind die mittlere Grundwasserneubildung und das 10-jährige gleitende Mittel identisch. Der Bezugszeitraum der Szenarien „Klimawandel Trocken (2031-2060)“ und „Klimawandel Feucht (2031-2060)“ wird dabei gleichgeschaltet, damit im Datenblatt vergleichbare Bezugszeiträume erscheinen. Für den Bezugszeitraum „Istzustand (1991-2020)“ wurden die Minima der gleitenden Mittel nicht berechnet, da festgelegt wurde, dass hiervon der Mittelwert verwendet werden soll. Für den Bezugszeitraum „Klimawandel Mittel (2031-2060)“ gilt dies ebenso.

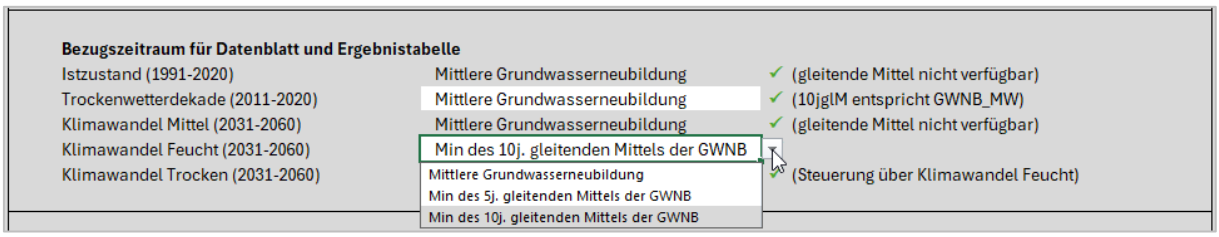


Abb. 10.2: Steuerung der Bezugszeiträume für das Datenblatt und die Ergebnistabelle

Sowohl für die „Ergebnistabelle“ als auch für das „Datenblatt“ kann zusätzlich ausgewählt werden, ob „alle Wasserrechte“ oder nur die Wasserrechte für die „öffentliche Wasserversorgung“ angezeigt werden sollen (siehe Abb. 10.3). Da Teile der Grundwasserkörper in Niedersachsen liegen und für diese Teile, die für die öffentliche Wasserversorgung vergebenen Wasserrechte nicht bekannt sind, werden im mittleren Teil des „Datenblatts“, in dem die Bilanzglieder auf Grundwasserkörperebene dargestellt werden, immer „alle Wasserrechte“ angezeigt.

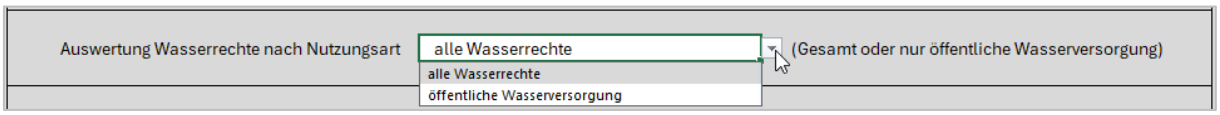


Abb. 10.3: Steuerung Wasserrechte

Ergebnistabelle

Das Tabellenblatt „Ergebnistabelle“ dient als Überblick über alle Bilanzräume und Grundwasserkörper zur detaillierten Beurteilung der Daten. Es beinhaltet die Grundwasserdargebote, die im Tabellenblatt „Steuerung“ festgelegt wurden. Weiterhin sind die Minderungen für den ökologischen Mindestwasserabfluss sowie für grundwasserabhängige Landökosysteme sowie die aktuellen Wasserrechte aufgeführt, die zur Berechnung des Nutzbaren Grundwasserdargebots und der Nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve erforderlich sind.

Zusätzlich werden folgende Hinweise in den letzten elf Spalten angegeben:

+ Zustrom von
+ Abstrom nach
+ Trend Grimm-Strele
+ Stockwerkstrennung
+ Potenzielle Versalzung

+ Prognose Wasserrechte
+ Prognostizierter zusätzlicher Beregnungsbedarf
+ Kläranlageneinleitung
+ Kläranlagendurchleitung
+ Tatsächliche Grundwasserentnahmen der letzten 5 Jahre
+ Erlaubnisfreie Grundwasserentnahmen.

Unterhalb der Daten zu den Bilanzräumen und Grundwasserkörpern sind zusätzlich die Summen der angegebenen Werte für den Kreis Minden-Lübbecke aufgeführt.

Datenblatt

Das Tabellenblatt „Datenblatt“ ist dreigeteilt. Im linken Bereich zeigt es sämtliche berechneten Werte und alle Hinweise für den in Zeile 3 ausgewählten Bilanzraum. Im mittleren Bereich werden die Daten des dazugehörigen Grundwasserkörpers aufgeführt und der rechte Bereich zeigt eine Übersichtskarte über alle Bilanzräume und Grundwasserkörper.

Der zu betrachtende Bilanzraum kann über ein Menü in Zelle D3 ausgewählt werden (siehe Abb. 10.4.

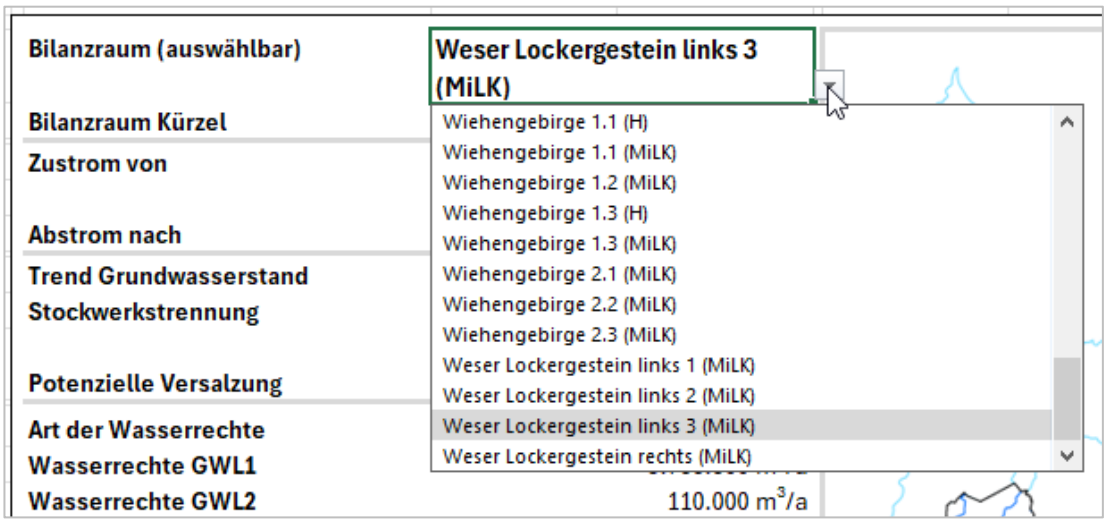


Abb. 10.4: Auswahl des Bilanzraums im Datenblatt

In der oberen Hälfte des **linken Bereichs** sind folgende Hinweise aufgeführt

+ Übertragungen von Grundwasser zwischen Bilanzräumen,

+ Qualitativer Trend nach Grimm-Strele im Grundwasserstand
+ Stockwerkstrennung vorhanden/nicht vorhanden/lokal vorhanden
+ Potenzielle Versalzung
+ Art der im Folgenden aufgeführten Wasserrechte (alle Wasserrechte oder öffentliche Wasserversorgung)
+ Wasserrechte im GWL1 und GWL2
+ Prognose der Wasserrechte
+ Prognostizierter zusätzlicher Beregnungsbedarf
+ Kläranlageneinleitungen und -durchleitungen
+ Tatsächliche Grundwasserentnahmen als Mittel aus den vergangenen 5 Jahren
+ Ausnutzung der Wasserrechte
+ Erlaubnisfreie Grundwasserentnahmen

Oben rechts ist eine Abbildung dargestellt, die den ausgewählten Bilanzraum rot umrandet darstellt.

Im mittleren Teil des linken Datenblatts befindet sich eine Tabelle, in der die Berechnungen der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve für alle fünf Klimaszenarien zum Vergleich dargestellt sind.

Im unteren Teil werden das Grundwasserdargebot, das Nutzbare Grundwasserdargebot und die Nutzbare Grundwasserdargebotsreserve aller fünf Klimaszenarien zur besseren Vergleichbarkeit als Balkendiagramm gezeigt.

Im **mittleren Bereich** sind äquivalent zum linken Teil diejenigen Werte aufgeführt, die auch für die Grundwasserkörper vorhanden sind. Dies umfasst die Wasserrechte und die Werte zu den fünf Klimaszenarien, die in Tabelle und Diagramm dargestellt sind. Auch im mittleren Teil wird der Grundwasserkörper rot umrandet in einer Abbildung dargestellt.

KA_Einleitung

Das Tabellenblatt KA_Einleitung enthält die Basisdaten zu den Wasserrechten und tatsächlichen Einleitmengen je Kläranlage im Kreis Minden-Lübbecke sowie der Summierung der Mengen je Bilanzraum. Die Daten dieses Tabellenblattes sind regelmäßig zu aktualisieren.

WR_MiLK, WR_L, WR_H, WR_BR_Detmold und WR_BR_Arnsberg

Die Tabellenblätter WR_MiLK, WR_L und WR_H enthalten die von den Unteren Wasserbörden der Kreise Minden-Lübbecke, Lippe und Herford im Untersuchungsgebiet vergebenen Wasserrechte sowie der tatsächlichen Grundwasserentnahmen im Mittel der letzten 5 Jahre. Zudem ist der Anteil der Grundwasserentnahmen angegeben, die von den Wasserrechten tatsächlich aus dem Grundwasser entnommen werden, damit Grundwasserentnahmen aus Oberflächengewässern für die Bilanzierung unberücksichtigt bleiben. Die Tabellenblätter WR_BR_Detmold und WR_BR_Arnsberg enthalten die gleichen Daten für die Wasserrechte, die die Bezirksregierungen Detmold und Arnsberg vergeben haben. Die Daten dieser Tabellenblätter sind regelmäßig zu aktualisieren. Dazu können die vorhandenen alten Rechte einfach gelöscht und/oder mit neuen überschrieben oder unten ergänzt werden.

Istzustand_Basis

Das Tabellenblatt „Istzustand_Basis“ enthält die Basisdaten der Bilanzräume im Untersuchungsgebiet, der Grundwasserkörperanteile in Niedersachsen sowie für die gesamten Grundwasserkörper. Dies umfasst folgende Daten für NRW:

+ Mittlere Grundwasserneubildung im Zeitraum 1991-2020
+ Minderung für grundwasserabhängige Landökosysteme
+ Minderung für ökologisch begründeten Mindestabfluss
+ Aktuelles Wasserrecht
+ Grundwasserentnahmen im Mittel der letzten 5 Jahre
+ Nutzbares Grundwasserdargebot
+ Nutzbare Grundwasserdargebotsreserve

Weiterhin sind die Basisdaten folgender Hinweise hier nach Bilanzraum aufbereitet vorhanden:

+ Potenzielle Versalzung als qualitative Bewertung
+ Zukünftiger Beregnungsbedarf
+ Erlaubnisfreie Entnahmen
+ Zukünftiges Wasserrecht

+ Übertragung zwischen Bilanzräumen als qualitative Bewertung und quantitative Abschätzung

+ Qualitativer und prozentualer Trend nach Grimm-Strele

+ Stockwerkstrennung

Für die in Niedersachsen liegenden Teile der Grundwasserkörper wurde die mittlere Grundwasserneubildung anhand von mGROWA22 im Zeitraum 1991-2020 bestimmt. Die aktuellen Wasserrechte, das nutzbare Grundwasserdargebot und die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve wurden MU (2024) entnommen.

Trockenwetter_Basis, Klimawandel_Mittel_Basis, Klimawandel_Feucht_Basis und Klimawandel_Trocken_Basis

Die Tabellenblätter der übrigen berücksichtigten Szenarien enthalten ebenfalls die Basisdaten der Bilanzräume im Untersuchungsgebiet, der Grundwasserkörperanteile in Niedersachsen sowie für die gesamten Grundwasserkörper. Dies umfasst folgende Daten für NRW:

+ Trockenwetter_Basis: Mittlere Grundwasserneubildung
    - im Zeitraum 2011-2020
    - Minimum des gleitenden 5-jährigen Mittels: Zeitraum 2016-2020
+ Klimawandel_Mittel_Basis: Mittlere Grundwasserneubildung im Zeitraum 2031-2060
+ Klimawandel_Trocken_Basis: Mittlere Grundwasserneubildung
    - Im Zeitraum 2031-2060
    - Minimum des 5-jährigen gleitenden Mittels (aus 2031-2060): Zeitraum 2044-2048
    - Minimum des 10-jährigen gleitenden Mittels (aus 2031-2060): Zeitraum 2040-2049
+ Klimawandel_Feucht_Basis: Mittlere Grundwasserneubildung
    - Im Zeitraum 2031-2060
    - Minimum des 5-jährigen gleitenden Mittels: Zeitraum 2049-2053
    - Minimum des 10-jährigen gleitenden Mittels: Zeitraum 2046-2055
+ Minderung für grundwasserabhängige Landökosysteme
+ Minderung für ökologisch begründeten Mindestabfluss

+ Nutzbares Grundwasserdargebot

+ Nutzbare Grundwasserdargebotsreserve

Für Niedersachsen liegen von mGROWA22 als Klimabeobachtung das 30jährige Mittel aus dem Zeitraum 1991-2020 vor sowie als Klimaszenarien die Minima, Maxima und Mittelwerte der Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 im Zeitraum 2031-2060. Weiterhin wurde eine Zeitreihenanalyse durchgeführt (Quelle: NIBIS®-Kartenserver), in deren Rahmen für jeden Grundwasserkörper die Grundwasserneubildungsabweichung vom langjährigen Mittelwert aus dem Zeitraum 1961 bis 2020 als Balkendiagramm dargestellt wurde. In Abb. 10.5 ist als Beispiel das Diagramm für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers *Nördliche Herforder Mulde* dargestellt.

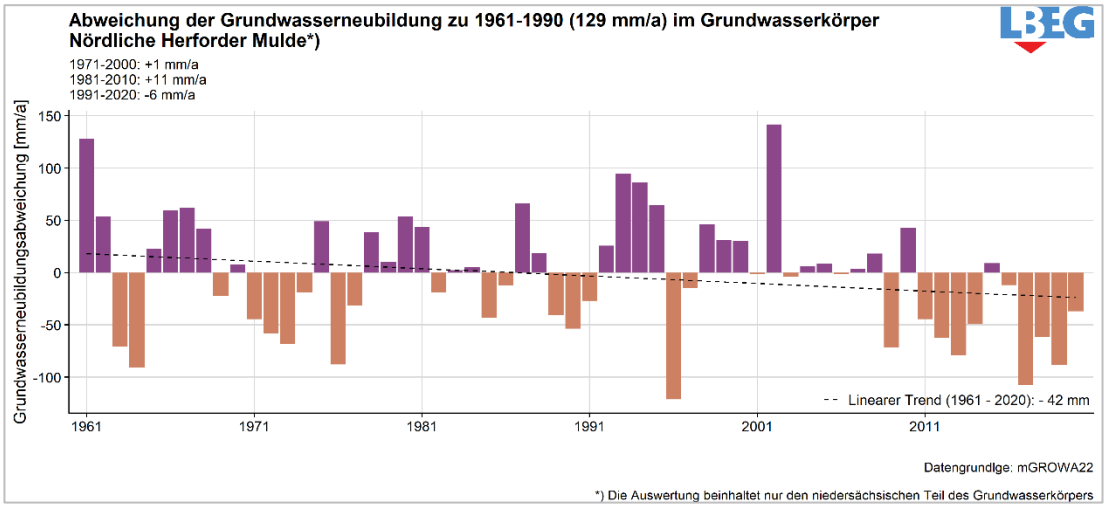


Abb. 10.5: Zeitreihenanalyse für den niedersächsischen Teil des Grundwasserkörpers *Nördliche Herforder Mulde*

Daher wurde die mittlere Grundwasserneubildung für die einzelnen Szenarien folgendermaßen bestimmt:

+ Trockenwetter_Basis: Die Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung für die Zeitreihen 2011-2020 und 2016-2020 erfolgte über die Auswertung der Ergebnisdarstellungen der Zeitreihenanalyse. Dabei wurden für die erforderlichen Jahre die Grundwasserneubildungsabweichungen aus dem Diagramm abgelesen und daraus die Grundwasserneubildung berechnet. Anschließend wurden die Grundwasserneubildungsmittelwerte berechnet.

+ Klimawandel_Mittel_Basis: Da ein mittleres Klimaszenario nicht vorliegt, wurde der Mittelwert der Grundwasserneubildung im Zeitraum 2031-2060 über den Mittelwert der Klimaszenarien RCP2.6 und RCP8.5 ermittelt.

+ Klimawandel_Trocken_Basis: Für das Szenario Klimawandel trocken (worst-case) wurden die minimalen Klimaszenarien aus RCP2.6 und 8.5 verglichen und das niedrigere verwendet. Dies wurde anhand eines statistischen Vergleichs der Grundwasserneubildung nach Grundwasserkörpern durchgeführt. Demzufolge sind die Werte des RCP8.5 min geringer als die des RCP2.6 min. Daher wird RCP8.5 min verwendet.

+ Klimawandel_Feucht_Basis: Für das Klimaszenario Klimawandel feucht (best-case) wurden die maximalen Klimaszenarien aus RCP2.6 und 8.5 verglichen und das höhere verwendet. Da im Westfälischen Tiefland andere Klimaszenarien als im Weserbergland die höchsten Werte aufwiesen, wurde hier differenziert. Nach der Statistik nach Grundwasserkörper sind im Westfälischen Tiefland die Werte des RCP2.6 max höher als die des RCP8.5 max. Im Weserbergland sind die Werte des RCP8.5 höher als die des RCP2.6. Daher wird für das Westfälische Tiefland das Klimaszenario RCP2.6 max verwendet und für das Weserbergland RCP8.5 max.

Die aktuellen Wasserrechte, das nutzbare Grundwasserdargebot und die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve wurden jeweils MU (2024) entnommen.

In Kap. 11 werden die mit Hilfe des Bilanzierungswerkzeugs ermittelten Ergebnisse erläutert und bewertet.

11 Ergebnisse

Das in Kap. 9 erstellte Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots und der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve im Kreis Minden-Lübbecke wurde mit dem in Kap. 10 vorgestellten Bilanzierungswerkzeug umgesetzt. Für jeden Bilanzraum wurden maßgebliche Größen wie Grundwasserdargebot, Minderungen, Grundwasserentnahmen ermittelt und daraus die jeweils verfügbare nutzbare Grundwasserdargebotsreserve berechnet. Weiterhin wurden, falls vorhanden, Hinweise für die Bewirtschaftung mit dargestellt. Die Ergebnisse der Bilanzierung sind in **Anhang 11** als Datenblätter aus dem Bilanzierungswerkzeug dargestellt und in **Anlage 24** als Karte mit Grundwasserdargebot und nutzbarer Grundwasserdargebotsreserve.

Die Leitfrage, die sich bei der Bilanzierung und auch bei der Bewirtschaftung des Grundwassers stellt, ist: „Steht aktuell und auch in Zukunft ein ausreichendes nutzbares Grundwasserdargebot für die aktuellen bzw. für die zukünftig prognostizierten Grundwasserentnahmen zur Verfügung?“. Vor diesem Hintergrund werden die Ergebnisse der Bilanzierung diskutiert und bewertet.

Bewertet wird der Istzustand mit der mittleren Grundwasserneubildung von 1991-2020. Wird das Grundwasserdargebot in allen Bilanzräumen des Kreises Minden-Lübbecke betrachtet, so fällt auf, dass es in einem Bilanzraum negativ ist. Dieser Bilanzraum ist *„Weser Lockergestein Links 1“.* Die Zehrung ist hier also größer als Grundwasserneubildung auf.

In Bilanzräumen, in denen dies der Fall ist und dennoch Grundwasserentnahmen stattfinden, die nachhaltig betrieben werden, liegt offensichtlich eine nicht plausible Bilanz vor. Dies kann durch eine Unsicherheit in der Berechnung der Grundwasserneubildung hervorgerufen sein, oder durch mögliche weitere, aber hier nicht berücksichtigte Dargebotsquellen, wie Zuströme aus Oberflächengewässern oder anderen Bilanzräumen. Im Fall „Weser Lockergestein Links 1“ handelt es sich um einen sehr kleinen Bilanzraum, der in der Weseraue liegt und eine entsprechend geringe Grundwasserneubildung aufweist. Weiterhin liegt er in einer Weserschleife, so dass es zu einer deutlichen Infiltration von Oberflächenwasser kommen wird, wenn hohe Grundwasserentnahmen getätigt werden würden. Die genehmigten Grundwasserentnahmen in diesem Bilanzraum sind jedoch null.

In diesem Fall ist also kein Handlungsbedarf gegeben. Sollten zukünftig oder landesweit weitere Fälle auftreten, in denen das Grundwasserdargebot null oder negativ ist, ist im Wasserrechtsverfahren der Nachweis zu erbringen, dass die beantragte Grundwasserentnahme nachhaltig möglich ist. Weiterhin sollte geprüft werden, ob die Datengrundlage erweitert werden kann, um ein plausibles Grundwasserdargebot abbilden zu können.

In drei der Bilanzräume sind die genehmigten Grundwasserentnahmen größer als das Grundwasserdargebot. Diese Bilanzräume sind *„Große Aue Lockergestein rechts“*, *„Große Aue Lockergestein im Süden 1“* und *„Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.1“*. In diesen Bilanzräumen sollte die Bilanz näher betrachtet werden. Dies gilt für diese drei Bilanzräume und auch für weitere Bilanzräume, die bei der Anwendung eines landesweiten Systems ein rechnerisches Defizit aufweisen.

+ *„Große Aue Lockergestein rechts“* weist einen fallenden Trend nach Grimm-Strele auf. Die Grundwasserneubildung ist aufgrund des geringen Grundwasserflurabstandes gering. Weiterhin sind in diesem Bilanzraum auch Kulturstaue installiert. Zusätzlich werden erhebliche Mengen durch Kläranlagen in die Vorfluter des Bilanzraumes eingeleitet und durch die Vorfluter durchgeleitet. Die Wasserbilanz in diesem Bilanzraum ist somit nicht ohne weitergehende Betrachtung zu beurteilen.

+ *„Große Aue Lockergestein im Süden 1“* weist einen fallenden Trend nach Grimm-Strele auf. Der Bilanzraum weist einen hohen Zustrom aus dem südlich gelegenen Bilanzraum auf. Weiterhin werden erhebliche Mengen durch Kläranlagen in die Vorfluter des Bilanzraumes eingeleitet.

+ *„Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.1“* weist ein hohes Wasserrecht für das Bergwerk Wohlverwahrt-Nammen auf. Die tatsächliche Grundwasserentnahme ist allerdings deutlich geringer. Zudem handelt es sich um einen abtauchenden Grundwasserleiter, dessen Wasser nicht durch andere Grundwasserentnahmen genutzt wird.

Alle drei Beispiele zeigen, dass die Überschreitung des berechneten Grundwasserdargebots durch die vergebenen Wasserrechte nicht automatisch bedeutet, dass die Grundwasserentnahmen nicht nachhaltig sind. Sie zeigen hauptsächlich, dass nicht im Konzept erfassbare Einflüsse betrachtet und, nach Möglichkeit quantifiziert, werden müssen. Weiterhin kann die Grundwasserneubildung und somit das Grundwasserdargebot detailliert untersucht werden, um die Ergebnisse des großskaligen Modells mGROWA zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten.

In 11 Bilanzräumen beträgt die nutzbare Grundwasserdargebotsreserve null. Zum Teil liegen hohe Grundwasserentnahmen vor oder auch fallende Trends nach Grimm-Strele. Ob das (nutzbare) Grundwasserdargebot tatsächlich ausgenutzt ist, ist ohne zusätzliche Betrachtung weiterer Bilanzglieder wie z. B. Infiltration von Oberflächengewässern oder Zuströmen aus oberhalb gelegenen Bilanzräumen, nicht abschließend zu beurteilen. Hier wäre eine vertiefende Betrachtung von den oben genannten Punkten sowie eine Überprüfung der Grundwasserneubildung durchzuführen. Dies trifft insbesondere zu, wenn neue Grundwasserentnahmen aus diesen Bilanzräumen beantragt werden.

In 12 Bilanzräumen wurden negative Trends nach Grimm-Strele berechnet. Ob die Ursache in einer zu hohen Grundwasserentnahme oder klimatisch bedingt ist, lässt sich nicht feststellen. Zum Ende des Zeitraumes, der für die Trendermittlung verwendet wurde, lag eine Trockenwetterdekade. Dadurch kann die Trendermittlung beeinflusst worden sein. Dies zeigt sich auch darin, dass in einigen Bilanzräumen mit fallendem Trend keine Grundwasserentnahmen verzeichnet sind. Dennoch sind fallende Trends ein Hinweis darauf, dass bei der Vergabe weiterer Wasserrechte der Nachweis der Nachhaltigkeit der neuen Grundwasserentnahmen geführt werden muss.

Die oben genannten Punkte zeigen, dass das Bilanzierungswerkzeug nicht als alleiniges Kriterium verwendet werden kann, welches über die Genehmigungsfähigkeit eines Wasserrechts entscheidet. Vielmehr ist es ein Werkzeug, welches eine Hilfestellung für die Bewirtschaftung geben kann und mögliche Spannungsräume und Defizite aufzeigen kann. Im Wasserrechtsverfahren werden ohnehin umfangreiche Nachweise für die Nachhaltigkeit und Verträglichkeit der beantragten Grundwasserentnahme erbracht. Bei einem durch das Bilanzierungswerkezug ermittelten potenziellen Defizit können ggf. weitere Nachweise erforderlich werden, um die bilanzraumweite Verträglichkeit der Grundwasserentnahme nachzuweisen und Wechselwirkungen mit den weiteren Grundwasserentnahmen nachzuweisen. Schlussendlich liegt die Entscheidung über zu erbringende Nachweise und die Genehmigung einer beantragten Grundwasserentnahme im Bewirtschaftungsermessen der Wasserbehörden.

12 Übertragbarkeit auf eine landesweite Methode

In dieser Studie wurden umfangreiche Daten ausgewertet und mögliche Bausteine für ein Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots und der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve entwickelt. Nicht alle Bausteine fanden Eingang in das finale Konzept. Dennoch ergeben sich aus den Untersuchungen und nicht verwendeten Bausteinen wertvolle Hinweise für die Entwicklung eines landesweiten Systems zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve in Nordrhein-Westfalen und somit zu einer Übertragbarkeit auf andere Kreise und kreisfreie Städte.

Festlegung der Bilanzraumgrenzen

Die Bilanzraumgrenzen sollten in ganz Nordrhein-Westfalen überprüft und ggf. abgeändert werden. Hierzu sollte die Grundwasseroberfläche des überarbeiteten Grundwassermodells einbezogen werden.

Bilanzraumgrenzen sollten entlang von Fließgewässern oder Wasserscheiden gezogen werden. Weiterhin sollten kleine Bilanzräume nach Möglichkeit vermieden werden, da hier Unsicherheiten in den Eingangsdaten ein größeres Gewicht im Ergebnis haben werden. Die Bilanzräume sollten zusammenhängend sein und nicht aus mehreren Teilen bestehen. Auch sollten ggf. schmale Bereiche von Lockergesteinsaquiferen (z. B. im Bereich von Fließgewässern) in Festgesteinsbilanzbereiche integriert werden, da eine Bilanzierung zu kleinteiliger Bilanzräume größere Unsicherheiten beinhaltet. Weiterhin sollten Einzugsgebiete von Wasserfassungen oder Bergsenkungen in der Festlegung von Bilanzraumgrenzen berücksichtigt werden.

Für Sonderfälle wie Bergbaugebiete, Festgesteinsgrundwasserkörper oder abtauchende Grundwasserleiter müssen spezifische Regelungen und Anpassungen im Konzept vorgesehen werden. Diese Bereiche können die Grundwasserbilanz und die Übertragbarkeit der Ergebnisse erheblich beeinflussen. In der Regel haben die Wasserbehörden einen guten Überblick über die lokalen Besonderheiten, so dass diese in eine Anpassung der Bilanzräume mit einbezogen werden sollten.

Grundwasserneubildung nach mGROWA

Die Grundwasserneubildung ist eine maßgebliche Eingangsgröße zur Bestimmung des Grundwasserdargebots. Im Rahmen der Studie wurden Abweichungen der modelltechnisch ermittelten Grundwasserneubildung zu den messtechnisch erfassten Abflüssen festgestellt. Aus diesen Gründen sollte die landesweit vorliegende Grundwasserneubildung einer ausführlichen Prüfung unterzogen werden. Hierbei sollte vor allem geprüft werden, ob systematische Abweichungen vorliegen, die behoben werden können.

Für diese Prüfung sollte im Bereich der Einzugsgebiete von Oberflächenwasserpegeln ein Abgleich mit den Grundwassereinzugsgebieten erfolgen. Weiterhin sollten Wasserüberleitungen, also Förderung von Grundwasser und Einleitung von gereinigtem Abwasser berücksichtigt werden. Auf dieser Basis kann eine Bilanzierung und Ermittlung der Plausibilität der Grundwasserneubildung erfolgen. Diese Prüfung sollte in verschiedenen Regionen Nordrhein-Westfalens erfolgen, um unterschiedliche Einzugsgebietscharakteristika zu berücksichtigen. Bei stärkeren Abweichungen ist das Modell zu prüfen und zu korrigieren oder ggf. die Ergebnisse anzupassen.

Die Datengrundlage für mGROWA und der Zeitraum zur Bestimmung der mittleren Grundwasserneubildung sollte regelmäßig aktualisiert werden. Diese Aktualisierung kann z. B. alle 5 Jahre stattfinden. Auch Weiterentwicklungen von mGROWA können so berücksichtigt werden. Dadurch wird die Berechnungsgrundlage an aktuelle Werte angepasst und somit auch die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels sowie technische Neuerungen berücksichtigt und das Grundwasserdargebot auf dem aktuellen Stand der Technik und des Wissens berechnet.

Mindestwasserabfluss

Bei der Berechnung des Mindestwasserabflusses und dessen Abzug vom Grundwasserdargebot gab es Unstimmigkeiten. Aus diesem Grund sollte im Rahmen eines landesweiten Konzepts eine Prüfung des Verhältnisses von Mindestwasserabfluss, Pegelabfluss und Grundwasserneubildung vorgenommen werden. Hierbei sollten auch Entnahmen und Einleitungen berücksichtigt werden. Die Aggregierung des Mindestwasserabflusses sollte in verschiedenen Größenordnungen überprüft werden. Dies können z. B. Bilanzräume, Grundwasserkörper, Pegeleinzugsgebiete, Hydrogeologische Großlandschaften, Flusseinzugsgebiete oder andere ober- und unterirdische Einzugsgebiete sein. Im Rahmen dieser Prüfung sollte eine möglichst detaillierte Differenzierung des Mindestwasserabflusses erreicht werden, die durchgängig plausibel berechnet werden kann.

Landesweites Grundwassermodell

Ergebnisse des landesweiten Grundwassermodells wurden in Form der Grundwasseroberfläche bereits für diese Studie verwendet. Mittlerweile liegt eine Weiterentwicklung des Grundwassermodells vor, deren Ergebnisse noch nicht abschließend geprüft und freigegeben worden sind. Es bietet sich an, die Ergebnisse des Modells zu nutzen, um Informationslücken zu füllen, die zum jetzigen Zeitpunkt vorliegen.

So könnte das Modell genutzt werden, um unterirdische Einzugsgebiete zu bestimmen. Diese können dann in der Prüfung von mGROWA und Mindestwasserabfluss Berücksichtigung finden. Weiterhin kann das Modell genutzt werden, um die Infiltration aus Oberflächengewässern zu bestimmen. Auch die Übertragung von Grundwasser zwischen Bilanzräumen kann durch das Modell quantifiziert werden. Bei allen Anwendungsfällen ist eine Plausibilisierung unerlässlich, um Datenlücken nur mit robusten Daten zu füllen.

Einbezug der Akteure

Die zuständigen Wasserbehörden sollen in der Grundwasserbewirtschaftung die Ergebnisse des landesweiten Systems zur Ermittlung der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve anwenden. Weiterhin sind Fachdaten und Fachwissen der Wasserbehörden erforderlich, um das System mit Daten zu versorgen. Für die Eingabe der Wasserrechte sind ggf. Daten erforderlich, die bei den Wasserbehörden nicht regulär vorgehalten oder aus der Datenhaltung exportierbar sind. Dies können z. B. Entnahmetiefen oder die Zuordnung zu Bilanzräumen sein. Weiterhin wird bei der Festlegung von Bilanzraumgrenzen im Bereich Bergbau und abtauchenden Grundwasserleiter das Fachwissen der Wasserbehörden unverzichtbar sein. Aus diesem Grund ist es zu empfehlen, die späteren Anwender des Systems frühzeitig in den Prozess mit einzubeziehen.

13 Zusammenfassung

Im Rahmen der Pilotstudie im Kreis Minden-Lübbecke wurde ein Konzept zur nachhaltigen, mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers entwickelt, das als Grundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen dienen soll. Das Untersuchungsgebiet umfasst den Kreis Minden-Lübbecke und angrenzende Bereiche, die Grundwasserkörper mit dem Kreis Minden-Lübbecke teilen.

Kernstück des Gutachtens ist das entwickelte Konzept zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots und der nutzbaren Grundwasserdargebotsreserve. Ausgangspunkt ist die modelltechnisch bestimmte Grundwasserneubildung nach mGROWA, die als maßgebliche Größe für das Grundwasserdargebot herangezogen wird. Das gewinnbare Grundwasserdargebot wurde mit dem Grundwasserdargebot gleichgesetzt, da die Datenbasis keine differenzierte Minderung zuließ. Minderungen werden für die Sicherstellung des Mindestwasserabflusses in Oberflächengewässern sowie für den Schutz grundwasserabhängiger Landökosysteme vorgenommen. Weitere potenzielle Einflussfaktoren wie Infiltration aus Oberflächengewässern, Kläranlageneinleitungen und Kleinkläranlagen wurden geprüft, aber aufgrund der unzureichenden Datengrundlage oder geringer Relevanz nicht in die Bilanzierung aufgenommen. Einige dieser untersuchten Einflussfaktoren wurden als Hinweise für die Bewirtschaftung in das Konzept aufgenommen Die aktuellen genehmigten Grundwasserentnahmen wurden ermittelt und in das Konzept eingebunden.

Das entwickelte Konzept wurde in einem Bilanzierungswerkzeug umgesetzt, das eine transparente und nachvollziehbare Bewertung der Grundwassersituation in den einzelnen Bilanzräumen ermöglicht. Mit diesem Werkzeug können die Genehmigungsbehörden die Verfügbarkeit von Grundwasser für zusätzliche Wasserrechte differenziert beurteilen und Hinweise auf Unsicherheiten oder Defizite in der Bilanz erkennen. Die Ergebnisse zeigen, dass in einzelnen Bilanzräumen negative oder sehr geringe Grundwasserdargebote auftreten können. Diese können auf Unsicherheiten in der Datengrundlage oder auf nicht berücksichtigte Zuflüsse hinweisen. In solchen Fällen ist eine vertiefende Prüfung im Rahmen des Wasserrechtsverfahrens erforderlich.

Weiterhin wurde die Übertragbarkeit des Konzepts auf ein landesweites System diskutiert. Die Festlegung und Überprüfung der Bilanzraumgrenzen sollten landesweit durchgeführt und an die hydrogeologischen Gegebenheiten angepasst werden. Die Grundwasserneubildung nach mGROWA ist als zentrale Eingangsgröße im Vorfeld zu prüfen und regelmäßig zu aktualisieren. Die Aggregation und Plausibilisierung des Mindestwasserabflusses sollten auf verschiedenen räumlichen Ebenen erfolgen, um landesweit konsistente Ergebnisse zu erzielen. Das bestehende landesweite Grundwassermodell sollte genutzt werden, um Informationslücken zu schließen und die Bilanzierung weiter zu verbessern. Die frühzeitige Einbindung der zuständigen Wasserbehörden für die Datenerhebung und die Berücksichtigung regionaler Besonderheiten wird empfohlen.

Das entwickelte Konzept und das Bilanzierungswerkzeug bieten eine Grundlage für die nachhaltige Grundwasserbewirtschaftung und können als Modell für eine landesweite Anwendung dienen. Sie ermöglichen eine transparente, nachvollziehbare und anpassungsfähige Steuerung der Grundwasserressourcen im Sinne einer nachhaltigen Wasserwirtschaft.

Verfasser:
Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH

Celle, ...

Heidt + Peters
Die Ingenieure

Digital signiert von Timo Krüger
Grund: Ich bin der Autor des Dokuments
Datum: 19/Mai/2026

.....
Timo Krüger

14 Quellenverzeichnis

AD-HOC-AG_HYDROGEOLOGIE (2016): Regionale Hydrogeologie von Deutschland – Die Grundwasserleiter: Verbreitung, Gesteine, Lagerungsverhältnisse, Schutz und Bedeutung. 456; Geolog. Jahrbuch, Hannover

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

BAUERNZEITUNG (07.06.2022): Wie deckt man den Wasserbedarf von Legehennen richtig? [online] Homepage: Bauernzeitung URL: https://www.bauernzeitung.de/agrarpraxis/tierhaltung/tipps-wasserbedarf-legehennen-decken/ [Stand 05.02.2025]

BETZER, H.-J., DASSEL, W., DROZDZEWSKI, G., FARRENSCHON, J., GAWLIK, A., HEUSER, H., JUCH, D., RIBBERT, K.-H. & SKUPIN, K. (2003) Geologie im Weser- und Osnabrücker Bergland. Geologischer Dienst NRW, Krefeld

BLOMENHOFER, A., GUDERA, T., NEUMANN, J., SCHWEBLER, W., SPRENGER, W. & WINGERING, M. (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz - Untersuchungen auf Grundlage von WETTREG2003- und WETTREG2006-Klimaszenarien; KLIWA-Berichte, Heft 17, Abb. 2.3:Arbeitskreis KLIWA; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW); Bayerisches Landesamt für Umwelt (BLfU); Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG); Deutscher Wetterdienst (DWD).

BUG, J, PLINKE, A.-K., AFFELT, L. & HARDERS, D. (2021): Standortpotenzial grundwasserabhängiger Landökosysteme in Niedersachsen; GeoBerichte 43 Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (BFG) (2003): Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses. BfG-Bericht Nr. 1342: 103 S., Koblenz

BÜRO FÜR ANGEWANDTE HYDROLOGIE (2024): ArcEGMO, unter https://arcegmo.de/, abgerufen im April 2024

CEC (Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH) (2015): WETTREG, unter http://www.cec-potsdam.de/wettreg.html, abgerufen im April 2024

DELTA-H INGENIEURGESELLSCHAFT (2022): Dokumentation Grundwasserbilanzmodell NRW. delta-h Ingenieurgesellschaft, 11 2022.

DEUTLOFF, O., KÜHN-VELTEN, H., MICHEL, G. & SKUPIN, K. (1982): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1:100.000 - Erläuterung C 3918 Minden. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld

DIN 4049-3 (1994): Hydrologie Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie, Deutsches Institut für Normung e. V.; Berlin

DLG-MERKBLATT 399 (2014): Wasserversorgung für Rinder- Bauliche, technische und bedarfsgerechte Lösungen

DLG-MERKBLATT 464 (2021): Fütterung und Tierwohl beim Schwein – Teil B: Wasserversorgung und Futterhygiene

DWD (o.J.): Informationen zu den verfügbaren regionalen Klimaprojektionen.

ENGEL, N., MÜLLER, U., STADTMANN, R., HARDERS, D. & HÖPER, H. (2020) Auswirkungen des Klimawandels auf Böden in Niedersachsen; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.

EQUIVA (02.08.2023): Wasserbedarf eines Pferdes [online] Homepage: Equiva URL: https://www.equiva.com/ratgeber/pferdefuetterung/wasserbedarf#:~:text=Wasser%20ist%20wie%20f%C3%BCr%20jedes,bei%2030%20Litern%20pro%20Tag. [Stand 05.02.2025]

PÖTSCHKE (05.02.2025): Richtig gießen - darauf kommt es an - Infos & Tipps vom Profi [online] Homepage: Pötschke URL: https://www.poetschke.de/beratung/richtig-giessen-so-gehts/ [Stand 05.02.2025]

GEOLOGISCHER DIENST NRW [HRSG.] (2022): Geologie und Boden in Nordrhein-Westfalen, PDF überarbeitet, mit aktualisierten stratigraphischen Tabellen – 157 S., zahlr. Abb. u. Tab.; Krefeld.

GrwV (2010): Grundwasserverordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1802) geändert worden ist

HEIDT, L. (2009) Auswirkungen des Klimawandels auf die potenzielle Beregnungsbedürftigkeit Nordost-Niedersachsens, GeoBerichte 13 1/21; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.

HENNING, H. & HILGERT, T. (2007): Dränabflüsse – Der Schlüssel zur Wasserbilanzierung im nordostdeutschen Tiefland. In: Hydrogeologie und Wasserbewirtschaftung 51, H. 6 / 2007, S. 248-257

HERMANN, F. & WENDLAND, F. (2021): Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021 Teil IIa, LANUV-Fachbericht 110; Modellierung des Wasserhaushalts in Nordrhein-Westfalen mit mGROWA. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, 81 Seiten. https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/3_fachberichte/30110b.pdf.

HERMANN, F., WOLTERS T. & WENDLAND, F. (2021a): Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021 Teil IX, Begleitdokument zu den Steckbriefen im LANUV-Fachbericht 110 Teil IX – Projektionen der Grundwasserneubildung regional und landesweit in NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (Hrsg.), 16 Seiten

HERMANN, F., KEULER, K., WOLTERS, T., BERGMANN, S., EISELE, M. & WENDLAND, F. (2021b): Mit der Modellkette RCP-GCM-RCM-mGROWA projizierte Grundwasserneubildung als Datenbasis für zukünftiges Grundwassermanagement in Nordrhein-Westfalen, in: Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (201) 26:17-31, https://doi.org/10.1007/s00767-020-00471-x

HERRMANN, F., HÜBSCH, L., ELBRACHT, J., ENGEL, N., KELLER, L., KUNKEL, R. MÜLLER, U., RÖHM, H., VEREECKEN, H. & WENDLAND, F. (2017) Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Hydrologie u. Wasserbewirtschaftung, 61 (4), 244-260, 8 Abb., 2 Tab., Koblenz (BfG).

HGN-BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH (2021): Bilanzierung des Grundwasserdargebotes für das Land Brandenburg. Bericht im Auftrag des Landesamtes für Umwelt. Unveröffentlicht, Potsdam, 2021, unveröffentlicht

HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. G. (2005): Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und angewandte Hydrogeologie, 326 Seiten

HUEBENER, H. (2017): Deriving user-informed climate information from climate model ensemble results. In: Advances in Science and Research 14, S. 261-269

HYDOR (2010): Ermittlung grundwasserbeeinflusster oberirdischer Gewässer in Mecklenburg-Vorpommern. unveröffentlicht, HYDOR Consult GmbH, Berlin 2010

HYDROGEOLOGIE BERLIN-BRANDENBURG GMBH (1993): Grundwasservorratsprognose Ostbrandenburg – ehem. Bezirk Frankfurt/O., Berlin; 29.10.1993, unveröffentlicht

HYDROGEOLOGIE BERLIN-BRANDENBURG GMBH (1994): Grundwasservorratsprognose Südteil Land Brandenburg, HGN NL Torgau, 1994, unveröffentlicht

IPCC (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Genf, Schweiz, 151 Seiten

IPCC (2014) Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers - The Intergovernmental Panel on Climate Change, a United Nations body.

IPCC (2023): Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Klimawandel 2023: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen [Kernschreibteam, H. Lee und J. Romero (Hrsg)]. IPCC, Genf, Schweiz, S. 1–34. Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom März 2023. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn; Die Luxemburger Regierung, Luxemburg; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim, Bern; April 2024. doi: 10.48585/zmsz-dn82

KOTLARSKI, S., KEULER, K., CHRISTENSEN, O. B., COLETTE, A., DÉQUÉ, M., GOBIET, A., GOERGEN, K., JACOB, D., LÜTHI, D., VAN MEIJGAARD, E., NIKULIN, G., SCHÄR, C., TEICHMANN, C., VAUTARD, R., WARRACH-SAGI, K. & V. WULFMEYER (2014): Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. In: Geoscientific Model Development 7, S. 1297-1333

JORDAN, H. & WEDER, H.-J. (HRSG.) (1995): Hydrogeologie. - 2. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1995.

KREIENKAMP, F. (DWD), FRÜH, B. (DWD), KOTLARSKI, S. (METEOSCHWEIZ), LINKE, C. (LFU BB), OLEFS, M. (ZAMG), SCHAUSER, I. (UBA), SCHINKO, T. (IIASA), SCHWIERZ, C. (METEOSCHWEIZ), WALTER, A. (DWD) & ZIMMER, M. (LFU RP) (2022): Empfehlungen für die Charakterisierung ausgewählter Klimaszenarien

KREINS, P., HENSELER, M., ANTER, J., HERRMANN, F. & WENDLAND, F. (2015) Quantification of climate change impact on regional agricultural irrigation and groundwater demand, Water resources management, 29(10), 3585-3600

JORDAN, H. & WEDER, H.-J. (Hrsg.) (1995): Hydrogeologie. - 2. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1995.

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG) (2014): Verfahrensweise zur Abschätzung des nutzbaren Grundwasserdargebots von Grundwasserkörpern und seine Aufteilung auf die Teilkörper der unteren Wasserbehörden

LANDESAMT FÜR UMWELT BRANDENBURG (LFU) (2019): Mittlere Abflussspende für die Zeitreihe 1986-2015 (BAGLUVA), wh_bagluva8615, Potsdam, Stand: 26.2.2019

LANDESAMT FÜR UMWELT BRANDENBURG (LFU) (2022): Wasserversorgungsplanung Brandenburg – Sachlicher Teilabschnitt mengenmäßige Grundwasserbewirtschaftung. – Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) (Hrsg.): 68 S., Potsdam

LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT (LHW) (2022): Wasserhaushalt ArcEGMO 2017/2018. Datenbeschreibung. 3 S.

LANDESBETRIEB IT.NRW (2023): Privathaushalte (Hauptwohnsitzhaushalte) nach Haushaltsgröße [online] Homepage: Landesbetrieb IT.NRW URL: https://statistik.nrw/gesellschaft-und-staat/haushalte-und-familien/private-haushalte/privathaushalte-hauptwohnsitzhaushalte-nach-haushalts-groe%C3%9Fe [Stand 05.02.2025]

LANDESBETRIEB IT.NRW (22.07.2021): NRW: Trinkwasserverbrauch in Privathaushalten im Jahr 2019 gestiegen. [online] Homepage: Landesbetrieb IT.NRW URL: https://www.it.nrw/nrw-trinkwasserverbrauch-privathaushalten-im-jahr-2019-gestiegen-17469 [Stand 05.02.2025]

LANUV (2021): Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021 Teil IX. Projektionen der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen mit dem Wassserhaushaltsmodell mGROWA und dem Regionalen Klimaprojektionen Ensemble (ReKliEs) für Deutschland. LANUV-Fachbericht 110. Recklinghausen, 68 Seiten

LAWA (2011): Fachliche Umsetzung der WRRL – Teil 5. Bundesweite einheitliche Methode zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes

LAWA (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.

LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft) [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. 2019.

LÜTTGER, A., DITTMANN, B. & SOURELL, H. (2005): Leitfaden zur Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen; Land Brandenburg – Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung

MINDEN-LÜBBECKE (31.12.2019): Zahlen, Daten, Fakten – Bevölkerung. [online]: Homepage: Kreis Minden-Lübbecke URL: https://www.minden-luebbecke.de/Region/Zahlen-Daten-Fakten/Bev%C3%B6lkerung-Einwohnerverteilung/ [Stand 05.02.2025]

MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, MLV NRW (2020): Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen; 19. Auflage; Düsseldorf

NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (MU) (2018): Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers RdErl. d. MU v. 29. 5. 2015 – 23-62011/010 – VORIS 28200 – geändert durch RdErl. d. MU vom 13.11.2018, Nds. MBl. S. 1502

NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND KLIMASCHUTZ (MU) (2024): Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers RdErl. D. MU v. 23.04.2024 – 23-62011/010 – VORIS 28200 -

PAHLKE, U-W. (1998): Langzeitsicherheitsnachweis für den Versatzbau auf der Grube Wohlverwahrt-Nammen - Anlage 3.1: Geologische Barriere. Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen; Krefeld

PETERS, A. (2022): Ermittlung der ständig verfügbaren Grundwasservorräte in Thüringen. Vortrag im Rahmen der 28. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V. - Hydrogeologie in der der Praxis – Fallbeispiele der Staatlichen Geologischen Dienste am 25.03.2022, Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV (e. V.)

PFEIFER, S., BÜLOW, K., GOBIET, A., HÄNSLER, A., MUDELSEE, M., OTTO, J., RECHID, D., TEICHMANN, C. & JACOB, D. (2015): Robustness of Ensemble Climate Projections Analyzed with Climate Signal Maps: Seasonal and Extreme Precipitation for Germany. In: Atmosphere 6, S. 677-698

PRANGER, K. (Mai 2023): Wie viel Bewässerung braucht der Garten? [online]: Homepage: Landesverband Berlin der Gartenfreunde e. V. URL: https://www.gartenfreunde-berlin.de/news/wie-viel-bewaesserung-braucht-der-garten-/12527#:~:text=Pro%20Quadratmeter%20Gr%C3%BCnfl%C3%A4che%20werden%20laut,Hand%2C%20den%20Verbrauch%20zu%20reduzieren. [Stand 05.02.2025]

SCHEIHING, K. W. (2019) Klimawandel in Niedersachsen und mögliche Folgen für die Grundwasserbewirtschaftung: ein Review. Hydrologie u. Wasserbewirtschaftung, 63 (2), 85-97, 2 Abb., 2 Tab., Koblenz (BfG).

SCHIMMELPFENNIG, S., ANTER, J., HEIDECKE, C., LANGE, S., RÖTTCHER, K. & BITTNER, F. (2017) Bewässerung in der Landwirtschaft Tagungsband zur Fachtagung am 11./12.09.2017 in Suderburg; Thünen Working Paper 85

SCHWALM C.R., GLENDON S. & DUFFY P.B. (2020): RCP8.5 tracks cumulative CO_2 emissions. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117 (33) 19656-19657.

STAATSMINISTERIUM FÜR ENERGIE, KLIMASCHUTZ, UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMEKUL) (2022): Erlass zur Grundwasserbewirtschaftung. Aktenzeichen: 43-8602/3/7. 44 Seiten, Dresden

THÜRINGER MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND NATURSCHUTZ (TMUEN) (2022): Thüringer Niedrigwasserstrategie. Ergänzungsband zum Landesprogramm Gewässerschutz, 139 Seiten, Erfurt

UMWELTPLAN GMBH & FUGRO CONSULT GMBH (2011): H. Henning (UP), T. Hilgert (Fugro) et al.: Erfassung der Grundwasserressourcen Mecklenburg-Vorpommerns, 3. Etappe Landesweite Bearbeitung – Ausweisung und Klassifizierung der potenziell nutzbaren Ressourcen. Im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG MV). Güstrow. Dezember 2011. unveröffentlicht

UMWELTPLAN GMBH (2011): Bewertung der Grundwasserressourcen in Mecklenburg-Vorpommern. Methodischer Ansatz. Im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG MV), 34 Seiten, Güstrow

UMWELTPLAN GMBH et al (2014): Grundwasserressourcen Mecklenburg-Vorpommerns. Erläuterung zur Karte. Im Auftrag des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG MV), 26 Seiten, Güstrow

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

VEB HYDROGEOLOGIE NORDHAUSEN (1989): Grundwasservorratsprognose Bezirk Potsdam, Berlin, 1989

VSR-GEWÄSSERSCHUTZ E.V. (2025): Wasserverschwendung durch Rasensprenger vermeiden. VSR-Gewässerschutz e.V. URL: https://vsr-gewaesserschutz.de/grundwasserschutz/klimawandel-und-wasser/wasserverschwendung-durch-rasensprenger

WEDER, H.-J. & MEINERT, N., VEB HYDROGEOLOGIE NORDHAUSEN (1988): Die Grundwasservorratsprognose – ein Beitrag zur Grundwassererkundungsmethodik; Dissertation Bergakademie Freiberg

WEILAND, M. (o. D.): Wasserverfügbarkeit und Wasserbilanz in Sachsen-Anhalt unter Berücksichtigung der Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie zur nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressource Grundwasser. Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt

WETTERPROGNOSE-WETTERVORHERSAGE (15.4.2024): So war das Wetter im Sommer 2022: Extrem warm mit außergewöhnlicher Dürre - Sommerwetter der Superlative

WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 409) geändert worden ist

WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. In: R. Graham (Ed) Die Grundwässer der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung. S. 47-54, Remagen

ZEPP, H., KÖNIG, C., KRANL, J., BECKER, M., WERTH, B. & RATHJE, M. (2017): Implizite Berechnung der Grundwasserneubildung (RUBINFLUX) im instationären Grundwasserströmungsmodell SPRING. Eine neue Methodik für regionale, räumlich hochaufgelöste Anwendungen. In Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie (2017) 22:113-126.