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

Anhang 1
Analyse und Prüfung der Basisdaten

digitale Ausfertigung

März 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.

Divya Bhandary, M. Sc.

Cindy Attié, M. Sc.

Plan-/Kartenbearbeitung

Dipl.-Geoökol. Julia Hielscher

Jan Georg Becker, M. Sc.

Textbearbeitung

Jacqueline Wendt

Projektnummer

23214

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Plausibilitätsprüfung der Grundwasserkörpergrenzen 6
1.1 Plausibilitätsprüfung der Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse in NRW 7
1.1.1 Ausreißerprüfung bei Grundwassermessstellen 7
1.1.2 Vergleich der mittleren Grundwasserstände mit der mittleren modellierten Grundwasseroberfläche 8
1.2 Kohärenzprüfung der Grundwasseroberfläche an der Landesgrenze zu Niedersachsen 11
1.3 Grundwasserkörpergrenzen 13
2 Trendanalyse 15
2.1 Anforderungen an Datenreihen 16
2.2 Aufbereitung der Grundwasserstandszeitreihen 16
2.3 Ausreißertest /Plausibilitätsprüfung 19
2.4 Auswertungsmethoden 21
2.4.1 Trendanalyse über die Steigung der Regressionsgeraden 21
2.4.2 Statistische Signifikanz über Students t-Test 21
2.4.3 Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele 22
2.5 Ergebnisse der Trendanalyse über den 30jährigen Zeitraum 22
2.5.1 Bewertung der Steigung der Regressionsgeraden 23
2.5.2 Statistische Signifikanz über den Students t-Test 25
2.5.3 Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele 25
2.6 Abschnittsweise Trendanalyse 27
2.7 Fazit Trendanalyse 32
3 Plausibilität der Grundwasserneubildung nach mGROWA 33
4 Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen 37

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.1: Zusammenstellung der festgestellten Probleme und deren Lösung bei der Ausreißerprüfung im Rahmen der Plausibilitätsprüfung der modellierten Grundwasseroberfläche 7
Tab. 2.1: Anzahl Trendmessstellen pro Bilanzraum 18
Tab. 2.2: Wertebereiche für Trendbewertung des Grundwasserstands nach Grimm-Strele 22
Tab. 2.3: Ergebnisse der Trendanalyse über die Regressionsgeradensteigung 23
Tab. 2.4: Mittlere Steigung je Bilanzraum 24
Tab. 2.5: Ergebnisse der Trendanalysen nach Grimm-Strele 25
Tab. 2.6: Mittlere Trends nach Grimm-Strele je Bilanzraum 26
Tab. 2.7: Ergebnisse der Trendanalyse über die Regressionsgeradensteigung 28
Tab. 2.8: Mittlere Steigung der Regressionsgeraden je Bilanzraum 29
Tab. 3.1: Vergleich der Grundwasserneubildung mit dem MoMNQ nach WUNDT (1958) 35
Tab. 4.1: Übersicht der einzelnen Bilanzräume mit ihren jeweiligen flächenmäßigen Ausdehnungen, der Fließgewässerlängen und der potenziell drainierten Menge. 38

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Verteilung der absoluten Abweichungen der langjährigen Mittelwerte von der Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse 9
Abb. 1.2: Summenkurve der Abweichungen der Messstellen 10
Abb. 1.3: Darstellung der Kohärenzen der Grundwasserstände an der Kreisgrenze von Minden-Lübbecke (Blau = keine Grenze zu Niedersachsen; Rot = Inkohärent; Gelb = Kohärenz nicht kontrollierbar; Grün = Kohärent). 12
Abb. 2.1: Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet 15
Abb. 2.2: Beispielganglinie: grüne Kreise: hohe Abweichungen von der Ausgleichsgeraden, die aber wahrscheinlich klimatisch bedingt und somit keine Ausreißer sind; roter Kreis: vermuteter Ausreißer, der aber gemäß statistischer Auswertung definitionsgemäß kein Ausreißer ist. 20
Abb. 2.3: Mittlere Steigung je Bilanzraum 24
Abb. 2.4: Mittlere Trends nach Grimm-Strele je Bilanzraum 27
Abb. 2.5: Anteile der Messstellen mit positivem/negativem Trend der Jahresmittelwerte 28
Abb. 2.6: Mittlere Steigung je Bilanzraum im Zeitraum 1991-2000 30
Abb. 2.7: Mittlere Steigung je Bilanzraum im Zeitraum 2001-2010 31
Abb. 2.8: Mittlere Steigung je Bilanzraum im Zeitraum 2011-2020 32
Abb. 3.1: Oberflächenwasserpegel mit Einzugsgebiet im Projektgebiet 34

Anhang

Anhang 1 Ausreißerprüfung Grundwassermessstellen

Anhang 2 Prüfung der Grundwasserkörper

Anhang 3 Stammdaten der Messstellen für die Trendanalyse

Anhang 4 Ganglinien der Rohdaten und Monatsmittelwerte der Trendmessstellen

Anhang 5 Ganglinien der Jahreswerte der Trendmessstellen Protokoll des Ausreißertests der Grundwassermessstellen der Trendanalyse

Anhang 6 Protokoll des Ausreißertests der Grundwassermessstellen der Trendanalyse

Anhang 7 Statistische Auswertungen zu den Ganglinien der Grundwassermessstellen - Trendanalyse

Anhang 8 Statistische Auswertungen zu den Ganglinien der Grundwassermessstellen - abschnittsweise Trendanalyse

Anhang 9 Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen

Anlagen

Anlage 1	Abweichungen der 30-jährigen Mittewerte von der mittleren Grundwasseroberfläche	M. 1 : 200.000
Anlage 2	Bilanzräume	M. 1 : 100.000
Anlage 3	Trendanalyse – Steigung der Regressionsgeraden	M. 1 : 200.000
Anlage 4	Trendanalyse – Trend nach Grimm-Strele der Jahresmittelwerte	M. 1 : 200.000

1 Plausibilitätsprüfung der Grundwasserkörpergrenzen

Die bestehenden Grundwasserkörpergrenzen im Kreis Minden-Lübbecke wurden ursprünglich durch den Geologischen Dienst NRW für die Anwendung der WRRL entwickelt. Es ist also zunächst fachlich zu prüfen, ob die vorliegenden Grundwasserkörper auch als Bilanzräume zur nachhaltigen mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers nutzbar sind. Für die im Untersuchungsgebiet liegenden Grundwasserkörper erfolgte eine Überprüfung ihrer Grenzen innerhalb von Nordrhein-Westfalen.

Innerhalb von Nordrhein-Westfalen wird zur Prüfung der Grundwasserkörpergrenzen zunächst die Plausibilität der Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse 2006-2015 geprüft, da diese eine maßgebliche Grundlage zur Abgrenzung der Grundwasserkörper darstellt. 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. Für die Plausibilitätsprüfung wird ein langjähriger Mittelwert der jeweiligen Messstellenzeitreihen verwendet, damit einzelne trockene oder nasse Jahre kein zu großes Gewicht in der Mittelwertbildung haben. Üblicherweise wird in solchen Fällen ein 30-jähriges Mittel verwendet. Daher werden zunächst alle Messstellen ermittelt, die gemäß den Angaben in der gelieferten Stammdatentabelle eine Zeitreihe >30 Jahre aufweisen (1.497), bei denen der letzte Wert jünger als der 01.01.2020 ist (1.181), die einen Messbezugspunkt aufweisen (1.163) und die im oberflächennahen Grundwasserleiter ausgefiltert sind (1.072). Anschließend werden zunächst deutliche Ausreißer entfernt und dann langjährige Mittelwerte gebildet. Diese werden mit der gelieferten Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse 2006-2015 verglichen.

Für die Prüfung der Grundwasserkörpergrenzen an der Grenze zwischen Niedersachsen und Nordrheinwestfalen wird die Hydrogeologische Karte 1 : 50.000 – Lage der Grundwasseroberfläche (Quelle: ®NIBIS) hinzugezogen. Diese Grundwasseroberfläche wurde anhand von Grundwasserstandsmessungen von Messstellen sowie Stichtagsmessungen hergeleitet, die auf mittlere Wasserstandsverhältnisse umgerechnet wurden.

Auf Basis der plausibilisierten Grundwasseroberfläche sowie weiterer Daten wie Festgesteinsgrenze und dem Verlauf von Vorflutern werden die vorliegenden Bilanzräume hinsichtlich der Plausibilität ihrer Abgrenzungen geprüft. Als Ergebnis wurden die Grenzen teilweise verschoben oder gänzlich verändert. Dabei wurden die Bilanzräume flächig betrachtet. Eine Aufteilung aufgrund möglicherweise vorliegender Stockwerkstrennungen erfolgte nicht, solange keine Hinweise auf eine deutliche Trennung vorlagen.

1.1 Plausibilitätsprüfung der Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse in NRW

Die Plausibilitätsprüfung der modellierten Grundwasseroberfläche wurde anhand von Grundwasserstandsmessungen vorgenommen. Die Zeitreihen wurden zunächst auf Ausreißer und Messfehler geprüft. Im Anschluss wurden gemittelte Messwerte mit der modellierten Grundwasseroberfläche verglichen und das Ergebnis des Vergleichs bewertet.

1.1.1 Ausreißerprüfung bei Grundwassermessstellen

Zur Plausibilisierung der modelltechnisch ermittelten Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse 2006-2015 wird ein langjähriger Mittelwert der Grundwasserstandsmessungen verwendet. Da einzelne Ausreißer im Vergleich zu einer langjährigen Zeitreihe ein nur geringes Gewicht haben, ist hierfür keine ausführliche Ausreißerprüfung erforderlich. Stattdessen werden Ausreißer anhand der Schwankungsbreite der allgemeinen Statistik der Messstellen im Zeitraum Januar 1990 bis Dezember 2023 herausgesucht. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da er mindestens 30 Jahre lang sein sollte, aber Messstellen zugelassen wurden, deren Ganglinie am 01.01.2020 endet.

Das heißt, wenn die Schwankungsbreite >10 m beträgt, wird die Ganglinie der Messstelle geprüft und möglicherweise vorhandene Ausreißer korrigiert oder entfernt. Insgesamt wurden 66 Werte von 41 Messstellen entfernt und 24 weitere Werte von 24 Messstellen korrigiert (siehe Tab. 1.1). In **Anhang 1** ist die detaillierte Tabelle der Ausreißerprüfung aufgeführt. Wird dabei festgestellt, dass die Ganglinie an sich unplausibel ist, wird diese Messstelle für die Plausibilitätsprüfung der Grundwasseroberfläche nicht berücksichtigt.

Problem	Anzahl Messstellen	Anzahl Werte	Umgang
Abstich gleich Null	12	13	entfernt
Abstich um 10 m falsch	7	7	korrigiert
Vertippt: z.B. Zahlendreher	7	7	korrigiert
Vertippt: Null fehlt in Abstich	2	2	korrigiert
Vertippt: Komma an falscher Stelle	8	8	korrigiert
Nicht feststellbar	29	53	entfernt
Gesamt	65	90	

Tab. 1.1: Zusammenstellung der festgestellten Probleme und deren Lösung bei der Ausreißerprüfung im Rahmen der Plausibilitätsprüfung der modellierten Grundwasseroberfläche

Die Ganglinien der Messstellen WE 2B BR WEHE RAHDN, WE 5A BR WEHE RAHDN, HA 1A BR HARLINGHSN, HA 2 BR HARLINGHSN, LG 2a BR GEHLENBECK, WH 8 BR HADDENHAUS, MP 7B BR PORTASTRS, MP 10B BR PORTASTRS, MP 17A BR PORTASTRS, MP 18A BR PORTASTRS, MP 20A BR PORTASTRS, SU 17B BR SUEDHEMME, SU 18A BR SUEDHEMME, HE 2 BR HEDEM, HE 4 BR HEDEM, HE 6 BR HEDEM, HE 7 BR HEDEM, HE 77 HEDEM, HE 79 HEDEM, HE 1A BR HEDEM, HE 5A BR HEDEM, HE 6A BR HEDEM, HE 7A BR HEDEM, WR 2A BR ROTHENUFFN, PS2102 SPRENGELWG, PS2109 SPRENGELWG, PS2117 SPRENGELWG, HB 2 BR BEGATAL, HB 3 BR BEGATAL, LH 18 HARDISSEN, FLASI BR FLACHSSIEK, LOHE BR LOHE OEYNH, BA 3 BR AHLE, BA 8 BR AHLE, BA 11ABR AHLE, BA 14ABR AHLE, BH 2 BR HABIGHORST, BH 3 BR HABIGHORST, BH 4 BR HABIGHORST, BH 6 BR HABIGHORST, BH 7 BR HABIGHORST, BH 8A BR HABIGHORST, BB 1 BR BILLERKE, BB 2 BR BILLERKE, BB 3 BR BILLERKE, BB 6A BR BILLERKE und DHK 21 D HELLSIEK sind unplausibel. Sie zeigen z. B. nicht erklärbare deutliche Sprünge in der Ganglinie, einen Niveauwechsel oder der Wasserstand liegt oberhalb der Geländeoberkante. Diese Messstellen werden im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Es verbleiben dann 1.025 Messstellen für die weitere Prüfung.

1.1.2 Vergleich der mittleren Grundwasserstände mit der mittleren modellierten Grundwasseroberfläche

Anschließend werden mit der Software AquaInfo die allgemeinen Statistiken der Messstellen für den Zeitraum 1990 bis 2023 neu berechnet. Die allgemeinen Statistiken beinhalten neben dem Mittelwert auch das Anfangs- und Enddatum der Ganglinie, die Anzahl der Messwerte und an statistischen Werten Minimum, Maximum, Schwankungsbreite, Standardabweichung und Varianz.

Der langjährige Mittelwert jeder Messstelle wird mit der Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse im Zeitraum 2006 bis 2015 verglichen. Die Differenzen liegen zwischen -49 und +37 m. Bei Abweichungen >10 m von der Grundwasseroberfläche werden die Ganglinien einzeln auf Plausibilität geprüft. Wird festgestellt, dass die Ganglinien unplausibel sind, werden sie im Weiteren nicht berücksichtigt. Dies trifft auf die Messstellen MH1106 HUXHOEHE, HE 82 HEDEM, HE 95 HEDEM, HE 96 HEDEM und BB 8 BILLERKE zu. Die Messstelle DO 718 DEP DOEREN liegt im Vergleich zu den in den nahe liegenden weiteren Messstellen auf einem unplausiblen Höhenniveau und wird deshalb ebenfalls nicht weiter berücksichtigt. Die Messstellen HE 112 HEDEM und DI 14 DIELINGEN liegen außerhalb des Kreis Minden-Lübbecke auf niedersächsischem Gebiet und können somit nicht mit der mittleren Grundwasseroberfläche verglichen werden, da diese nur für Nordrhein-Westfalen vorliegt. Die Messstellen FL 4 FLACHSSIEK, FL 5 FLACHSSIEK, FL 6 FLACHSSIEK, FL 10 FLACHSSIEK und FL 11 FLACHSSIEK haben entgegen den Angaben in der vom LANUV zur Verfügung gestellten Stammdatentabelle erst ab 11/2010 Messwerte, wodurch die Zeitreihendauer deutlich kleiner ist als 30 Jahre. Es verbleiben insgesamt 1.012 Messstellen für die weitere Prüfung.

In Abb. 1.1 ist die Verteilung der Abweichungen des 30-jährigen Mittelwertes je Messstelle von der mittleren Grundwasseroberfläche an dem jeweiligen Standort dargestellt. In Abb. 1.2 ist die Anzahl der Grundwassermessstellen mit einer bestimmten absoluten Abweichung als Summenkurve dargestellt. Die Verteilung der Abweichungen ist rechtsschief, d. h. es gibt mehr Messstellen, deren 30-jähriger Mittelwert unterhalb der mittleren Grundwasseroberfläche als oberhalb derselben liegt (siehe Abb. 1.1). Aus Abb. 1.2 ergibt sich, dass 50 % der Messstellen eine absolute Abweichung <1,0 m, 71 % der Messstellen <2,0 m und 82 % der Messstellen <3,0 m aufweisen.

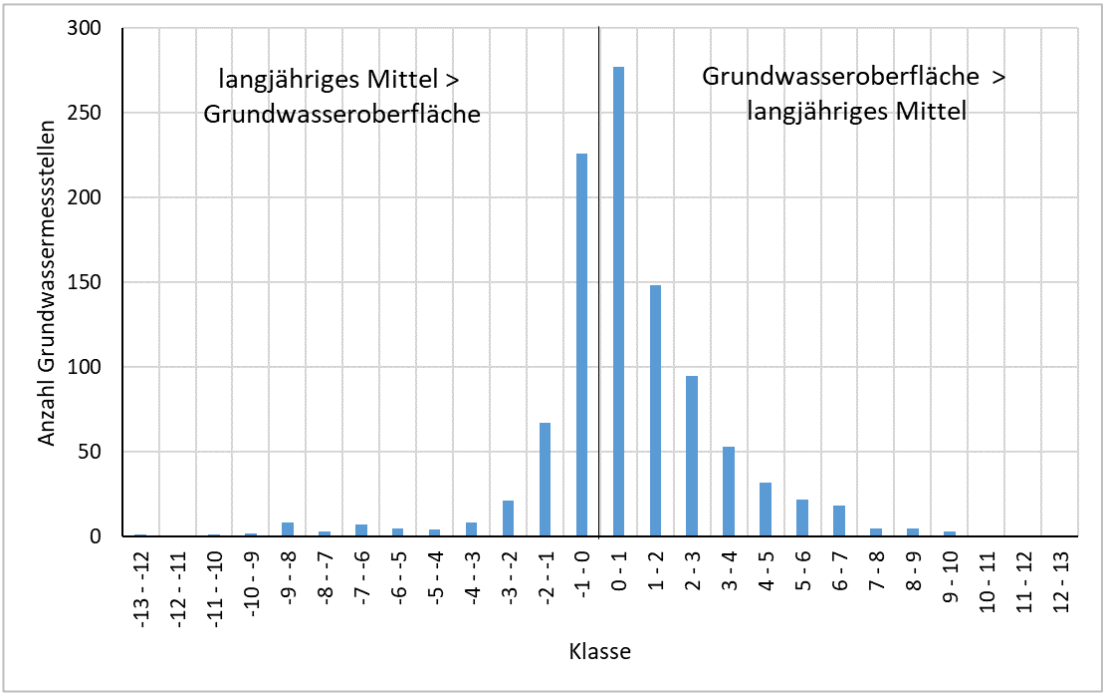


Abb. 1.1: Verteilung der absoluten Abweichungen der langjährigen Mittelwerte von der Grundwasseroberfläche für mittlere Verhältnisse

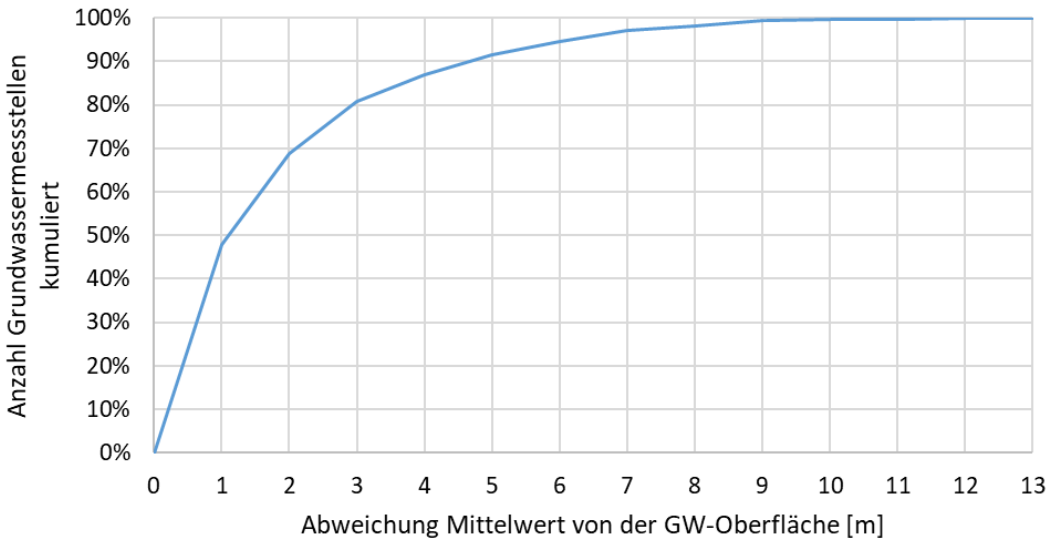


Abb. 1.2: Summenkurve der Abweichungen der Messstellen

Anschließend wurden die Abweichungen der 30-jährigen Mittelwerte von der mittleren Grundwasseroberfläche lagemäßig dargestellt (siehe **Anlage 1**). Daraus ergibt sich, dass höhere Abweichungen teilweise inselartig, teilweise gleichmäßig verteilt, in fast allen Grundwasserkörpern vorkommen. In den Bereichen mit festgestellten Abweichungen wurde geprüft, ob sich durch die Korrektur der Abweichungen das Gefälle der Grundwasseroberfläche im Vergleich zur mittleren Grundwasseroberfläche ändern würde. Dies ist mit Ausnahme eines Bereiches südöstlich von Porta Westfalica nicht der Fall.

Im östlichen Stadtgebiet von Porta Westfalica befindet sich das Trinkwasserschutzgebiet Porta Westfalica-Holzhausen-Eisbergen. Die Abweichungen von der mittleren Grundwasseroberfläche sind hier vergleichsweise gleichmäßig verteilt. Bei vielen Messstellen würde die Grundwasserfließrichtung korrekt dargestellt, bei einigen Messstellen würden andere Grundwasserfließrichtungen entstehen. Möglicherweise ist dies dem sehr heterogenen Untergrund in diesem Bereich geschuldet. Da in diesem Bereich der Grundwasserkörper im Wesentlichen durch Festgestein im Untergrund abgegrenzt ist und nicht durch Wasserscheiden, die aus der Grundwasseroberfläche hervorgehen, ist dies allerdings für die weitere Betrachtung nicht relevant.

Insgesamt ist die mittlere modellierte Grundwasseroberfläche mit Bezug auf das Grundwassergefälle plausibel und kann in der vorliegenden Form für die Abgrenzung der Grundwasserkörper genutzt werden.

1.2 Kohärenzprüfung der Grundwasseroberfläche an der Landesgrenze zu Niedersachsen

Für die Kohärenzprüfung der Grundwasseroberfläche an der Landesgrenze zu Niedersachsen wurden die Grundwassergleichen verglichen. Zusätzlich wird die Ausdehnung der Fest- und Lockergesteine berücksichtigt. Die Grundwasseroberfläche in Niedersachsen sowie die Fest- und Lockergesteinsgrenzen in Nordrhein-Westfalen stammen aus den Hydrogeologischen Karten 1 : 50.000 (HK50) der jeweiligen Bundesländer. Die Grundwasseroberfläche in NRW 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. Betrachtet werden die nördliche, westliche und östliche Grenze des Kreises Minden-Lübbecke. Die Südgrenze wird nicht betrachtet, da keine Grenze zu Niedersachsen besteht.

An der **östlichen Grenze** von Minden-Lübbecke wird in Niedersachsen überwiegend Festgestein angenommen. Eine Ausnahme bildet der nördlichste Grenzabschnitt. In den Niedersächsischen Festgesteinen wird keine Grundwasseroberfläche ausgewiesen, da ein flächendeckend verbreiteter, räumlich zusammenhängender Grundwasserleiter meist nicht vorhanden ist. Eine Darstellung der Grundwasseroberfläche mit Grundwassergleichen ist somit nicht praktikabel und wird in Festgestein nicht umgesetzt. Infolgedessen kann keine Kohärenzprüfung durchgeführt werden. Die Grundwassergleichen im nördlichsten Bereich der Ostgrenze sind sehr ähnlich und können als kohärent angesehen werden.

Westlich des Stemweder Berges an der **nördlichen Landesgrenze** sind die Grundwasserhöhen gleich. Auf der Höhe des Stemweder Berges ist in Minden-Lübbecke aufgrund der Höhenlage die Dichte an Grundwassergleichen hoch. In Niedersachsen wird an diesem Standort Festgestein angenommen, so dass hier keine Grundwassergleichen vorhanden sind und ein Abgleich der Grundwassergleichen nicht vorgenommen werden kann. Östlich des Stemweder Berges ist die 40 m NHN-Grundwassergleiche im Vergleich zu Nordrhein-Westfalen um einige Kilometer nach Norden verschoben. Daher werden für diesen Bereich in NRW höhere Grundwasserstände angenommen als in Niedersachsen. Nach Osten stimmen die Grundwasserstände bis Höhe Diepenau überein. Bei Diepenau liegt die niedersächsische Grundwassergleiche von 40 m NHN einige Kilometer weiter nördlich als in Minden-Lübbecke. Der Grundwasseroberflächenhöhenunterschied ist in diesem Bereich kleiner als 2,5 m. Östlich von Diepenau liegen in Minden-Lübbecke die 45 und 50 m NHN-Grundwassergleichen. Der Grundwasserstand an der 45 m NHN-Grundwassergleiche stimmt nahezu überein. Der Grundwasserstand in Niedersachsen in Höhe der 50 m NHN-Grundwassergleiche ist um ca. 2,5 m niedriger angesetzt als in Minden-Lübbecke. Diese nicht vorhandene Kohärenz bleibt bis Höhe Ovenstädt bestehen. Bei Ovenstädt fällt der Grundwasserspiegel innerhalb von 1 km von 45

auf 35 m NHN, dieser Bereich der Landesgrenze ist kohärent. In Höhe des Schleusenkanals besteht eine Inkohärenz bei einem Grundwasserstand von 30 m NHN. Dieser Grundwasserstand wird in Niedersachsen erst einige Kilometer nördlicher angesetzt. Die übrigen Grundwasserstände an der nördlichen Landesgrenze sind kohärent. Trotz einiger Verschiebungen der Grundwassergleichen sind die Grundwasserstände ähnlich und die Grundwasserfließrichtung gleich.

An der **westlichen Landesgrenze** von Minden-Lübbecke zu Niedersachsen wird im südlichen Teil, bis Höhe Preußisch Oldendorf, in Niedersachsen Festgestein angenommen. Daher sind dort keine Grundwassergleichen ermittelt worden, so dass die Kohärenz nicht überprüft werden kann. Nördlich von Preußisch Oldendorf verringert sich der Grundwasserstand bis Levern von 55 auf 45 m NHN. In Niedersachsen liegt in diesem Bereich der Grundwasserspiegel zwischen 50 und 45 m NHN, wodurch im Vergleich zu Minden-Lübbecke eine Inkohärenz besteht. Darüber hinaus befindet sich die 45 m NHN-Grundwassergleiche ca. 2 km nördlicher als in Minden-Lübbecke. Oberhalb der in Niedersachsen liegenden 45 m NHN-Isolinie sind die Grundwasserstände an der westlichen Landesgrenze kohärent. Zusammenfassend besteht für die westliche Grenze nur im nördlichen Teil eine Kohärenz, da ansonsten die Grundwasserstände in Niedersachsen geringer sind oder für Niedersachsen keine Grundwassergleichen aufgrund des Festgesteins vorliegen. Die Grundwasserfließrichtung ist kohärent.

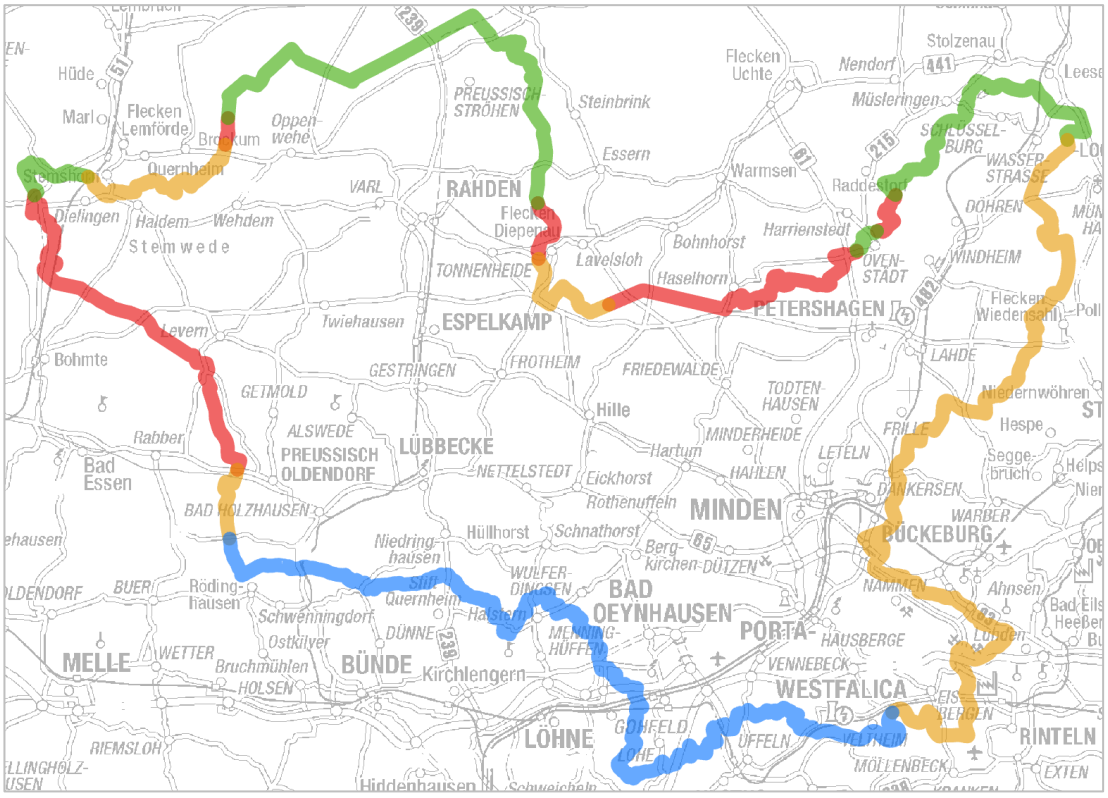


Abb. 1.3: Darstellung der Kohärenzen der Grundwasserstände an der Kreisgrenze von Minden-Lübbecke (Blau = keine Grenze zu Niedersachsen; Rot = Inkohärent; Gelb = Kohärenz nicht kontrollierbar; Grün = Kohärent).

Das Ergebnis des Abgleichs ist in Abb. 1.3 dargestellt. Die größten Inkohärenzen der Grundwasserstände bestehen in den Bereichen, in denen aufgrund der Festgesteine in Niedersachsen keine Grundwassergleichen ermittelt wurden. Die übrigen Inkohärenzen sind auf geringfügige Abweichungen der zwei HK50 zurückzuführen. Die Grundwasserfließrichtung ist immer kohärent. Zusammenfassend stimmen die Grundwasserstände an der Landesgrenze zu Niedersachsen weitestgehend überein. Die Unterschiede können durch die unterschiedlichen Berechnungsmethoden entstanden sein. In Niedersachsen wurde die mittlere Grundwasseroberfläche anhand von Stichtagsmessungen vom Januar 1993 ermittelt, die einen mittleren Grundwasserstand der Zeitreihe von 1990 – 2000 darstellen. Lücken im Datenbestand wurden, soweit es fachlich vertretbar schien, um Grundwasserstandsmessungen aus anderen Zeiträumen ergänzt. In NRW hingegen wurde die mittlere Grundwasseroberfläche im Zeitraum 2006 bis 2015 mithilfe von Modellierungen ermittelt.

1.3 Grundwasserkörpergrenzen

Die primäre Einteilung der Grundwasserkörper erfolgte durch den Geologischen Dienst NRW auf Grundlage hydrogeologischer und hydraulischer Grenzen und unter Berücksichtigung der oberirdischen Einzugsgebiete der Oberflächengewässer (Flussgebiete, Teileinzugsgebiete nach WRRL). Zusätzlich erfolgte im Jahr 2021 eine Unterteilung der Grundwasserkörper in sogenannte Teil-Grundwasserkörper durch das LANUV zur Anwendung von Vorgaben aus der allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung nitratbelasteter Gebiete (AVV GeA). Hierzu wurden erneut hydraulische und hydrogeologische Datengrundlagen verwendet mit dem Ziel, die vorhandenen Grundwasserkörper noch weiter zu unterteilen, soweit möglich und zur Darstellung der Nitratbelastung mit Stand der Daten 2021 ("Ausweisungsmessnetz") erforderlich.

Zum Zwecke der nachhaltigen mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers werden die vorhandenen Grundwasserkörpergrenzen in Hinblick auf die Art des Untergrunds (Hydrogeologische Karte 1:100.000 – Grundwasserleiter, im Folgenden HK100), das Grundwassergefälle gemäß der mittleren Grundwasseroberfläche und den Verlauf der großen Oberflächengewässer, wie z. B. Weser und Werre, geprüft. Das Ziel der Prüfung ist es, homogene Bilanzräume für die Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots zu erhalten. In **Anhang 2** werden die bisher festgelegten Grundwasserkörper kurz hinsichtlich der genannten Parameter beschrieben und dann die durchgeführten Anpassungen genannt.

Aus den ursprünglich 19 Grundwasserkörpern, die Flächengrößen von rd. 0,045 bis 447 km² mit einer Gesamtfläche von 2.110 km² aufwiesen, wurden durch die in **Anhang 2** genannten Anpassungen 48 Bilanzräume gebildet. Dabei wurden räumlich getrennte Teilgebiete von Grundwasserkörpern vollständig getrennt, schmale Streifen einzelner Grundwasserkörper den angrenzenden Grundwasserkörpern zugewiesen, Grenzen entsprechend des Verlaufs von Wasserscheiden oder der Grenzen zwischen Lockergestein und Festgestein verschoben oder große Grundwasserkörper entlang von innerhalb der Grundwasserkörper liegenden Wasserscheiden aufgeteilt. Darüber hinaus befindet sich in den Grundwasserkörper *Wiehengebirge*, *Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge* und *Hunte rechts Festgestein* eine hydraulisch isolierte Schicht, aufgrund derer weitere Unterteilungen in Bilanzräume durchgeführt wurden.

Die erarbeiteten Bilanzräume weisen Flächengrößen von rd. 0,032 bis 228 km² auf. Vier der Bilanzräume, nämlich *Mittellippische Trias-Gebiete 2*, *Nordlippische Trias-Gebiete 2*, *Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 3* und *Werre-Bega-Else-Talung 2*, welche Flächengrößen von 3,1 bis 228 km² aufweisen, liegen vollständig außerhalb des Kreisgebietes Minden-Lübbecke. Diese werden im Weiteren nicht berücksichtigt. Somit verbleiben 44 Bilanzräume mit einer Gesamtfläche von 1.568 km² in der weiteren Bearbeitung. Diese sind in **Anlage 2** dargestellt. In **Kap. 18 von Anhang 2** sind die erarbeiteten Bilanzräume mit Abkürzungen und Flächengrößen tabellarisch zusammengestellt.

Für die landesweite Umsetzung der Bildung von Bilanzräumen ist insbesondere auf die Strömungsrichtung des Grundwassers und den Verlauf großer Oberflächengewässer zu achten. Letztere sowie Wasserscheiden sollten Grenzen von Bilanzteilräumen bilden. Weiterhin sollten die entstehenden Bilanzräume räumlich zusammenhängen und möglichst nicht zu kleinteilig werden. Schmale Streifen von Lockergesteinsaquiferen sollten daher ggf. mit dem umgebenden Festgesteinsaquifer zusammengefasst werden und umgekehrt. Sind Trinkwasser- oder Heilquellenschutzgebiete vorhanden, die über potenzielle Bilanzraumgrenzen hinausgehen, ist im Einzelfall zu prüfen, ob die Bilanzraumgrenzen entsprechend verschoben werden sollten.

2 Trendanalyse

Die Trendanalyse erfolgt anhand der vom LANUV gelieferten Grundwassermessstellenstammdaten und -zeitreihen. Innerhalb des Untersuchungsgebiets befinden sich davon 2.057 Grundwassermessstellen. In Abb. 2.1 sind die gelieferten Grundwassermessstellenstandorte nach Betreiber dargestellt. Es sind neben den Messstellen vom Land NRW auch zahlreiche Messstellen der Wasserwerksbetreiber sowie von Firmen vorhanden. Die Bereiche, in denen Porengrundwasserleiter vorliegen, werden durch die Grundwassermessstellen überwiegend gut abgedeckt. Daher wird die Trendanalyse mit diesem umfangreichen Datensatz durchgeführt.

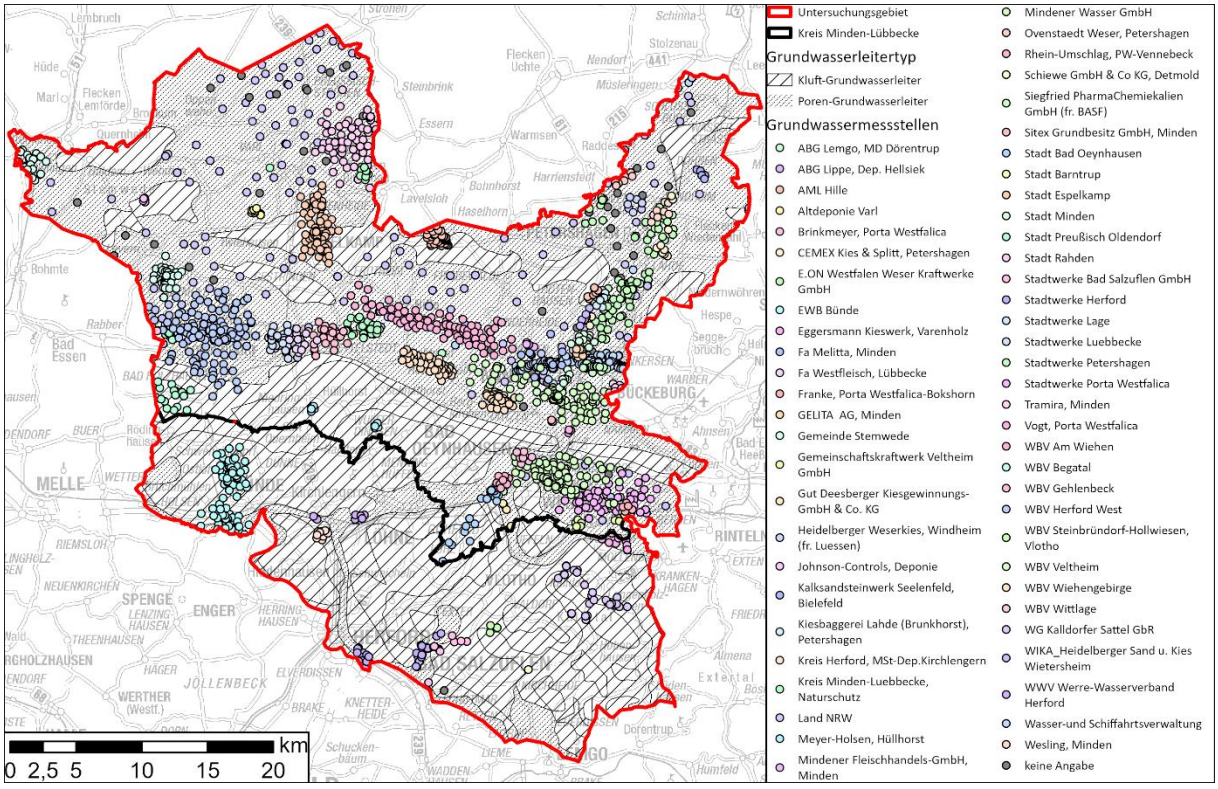


Abb. 2.1: Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet

2.1 Anforderungen an Datenreihen

Damit die Ergebnisse der Trendanalyse belastbar sind, müssen die verwendeten Datenreihen bestimmte Kriterien erfüllen (siehe LAWA, 2011):

+ Zunächst ist darauf zu achten, dass die **Datenreihen ausreichend lang** sind. Optimal sind Datenreihen mit einer Zeitreihe von 30 Jahren. Kürzere Datenreihen sollten nur in Ausnahmefällen hinzugenommen werden, wenn sie nach hydrogeologischer Prüfung geeignet sind. Dadurch kann der Einfluss kurzfristiger, natürlicher klimatischer Schwankungen ausgeglichen werden. Gemäß LAWA (2011) hat sich gezeigt, dass in unbeeinflussten Gebieten der 30-jährige Trend nahezu den Wert Null hat und somit Abweichungen von diesem Wert in der Regel auf anthropogene Beeinflussungen des Grundwasserspiegels hindeuten. Die Zeitreihen sollten allerdings nicht kürzer als 15 Jahre sein.

+ Normale **hydrologische Schwankungen** (Luftdruckeinfluss, Jahresgang) sind bei der Trendbetrachtung zu berücksichtigen. Hier bietet sich ein direkter Vergleich mit von Grundwasserentnahmen unbeeinflussten Messstellen in vergleichbarer hydrogeologischer Situation an.

+ Darüber hinaus wird empfohlen, die Trendanalyse mit **Klimabetrachtungen** zu kombinieren, da auch bei 30-jährigen Reihen eine klimatische Beeinflussung des Grundwasserstandes auftreten kann. Auf diese Weise werden trendverursachende klimatische Entwicklungen bei der Trendanalyse berücksichtigt.

+ Der **Messturnus** sollte mindestens monatlich, besser wöchentlich sein.

+ Messstellen aus **tieferen Grundwasserstockwerken** sollten nur dann berücksichtigt werden, wenn daraus Grundwasser gefördert wird oder hydraulische Verbindungen zwischen den Stockwerken relevant werden.

+ Der **Messzeitraum** sollte zur besseren Vergleichbarkeit, insbesondere hinsichtlich der klimatischen Entwicklung möglichst **einheitlich** sein und möglichst aktuelle Daten enthalten.

2.2 Aufbereitung der Grundwasserstandszeitreihen

In der vom LANUV zur Verfügung gestellten Stammdatentabelle standen unter anderem auch Informationen zum Datum des ersten und letzten Messwertes, zur Anzahl der Messwerte und zum Turnus der Wasserstandsmessungen.

Um die Auswahl der Messstellen an die in Kap. 2.1 dargestellten Anforderungen anzupassen, wurden zunächst die Messstellen mit halbjährlichem und zweimonatlichem Turnus sowie Messstellen, die nur Einzelwerte aufweisen, aussortiert. Weiterhin wurden Messstellen aussortiert, deren letzter Wert vor dem 01.01.2020 gemessen wurde. Somit wurde als einheitlicher Messzeitraum der Zeitraum von 1991 bis mindestens 2020 angestrebt, der auch für die übrigen Auswertungen der Pilotstudie angesetzt wurde. Sofern neuere Grundwasserstandsdaten geliefert wurden (teilweise bis Ende 2023), wurden diese ebenfalls verwendet. Anhand der Daten erster Wert und letzter Wert wurde die Dauer der Messreihe berechnet. Alle Messstellen mit einer Messreihe <30 Jahre wurden aussortiert. Danach verbleiben von den ursprünglich 2.109 noch 1.051 Messstellen.

Da ein mindestens wöchentlicher Messturnus für die Trendmessstellen angestrebt wird, was über 30 Jahre insgesamt 1.560 Werten entsprechen würde, werden im Weiteren auch Messstellen mit zu wenig Werten ausgeschlossen. Um Messstellen mit häufiger Datenaufzeichnung, die aber möglicherweise in 30 Jahren auch kleinere Lücken aufweisen, nicht komplett auszuschließen, wurde die gewünschte minimale Messwertanzahl auf 1.000 reduziert. Nach dem Ausschluss aller Messstellen mit weniger als 1.000 Messwerten verblieben dann noch 84 Messstellen, die das Bearbeitungsgebiet schon recht gut abdecken. Allerdings fehlen in einigen Bereichen Messstellen, so dass z. B. auch nicht in allen Bilanzräumen Trendmessstellen vorhanden sind. Daher wurden in den Gebieten anhand einer optischen Überprüfung der Ganglinien 43 weitere Messstellen für die Trendanalyse ausgewählt.

Insgesamt werden für die Trendanalyse somit 127 Messstellen ausgewählt. Die Stammdaten der ausgewählten Messstellen sind in **Anhang 3** aufgeführt. In den Bilanzräumen *Hunte rechts Festgestein 1.2 (Minden-Lübbecke), Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 2.1, 2.2 und 2.3 (Minden-Lübbecke), Nördliche Herforder Mulde 1 (Herford), Nördliche Herforder Mulde 2 (Herford und Minden-Lübbecke), Oberweser Hameln (Minden-Lübbecke)*, *Werre-Bega-Else-Talung 1 (Minden-Lübbecke)*, *Wiehengebirge 1.1 (Herford)*, *Wiehengebirge 1.2*, *1.3*, *2.2* und *2.3 (Minden-Lübbecke)* sind keine Messstellen lokalisiert. In den Bilanzräumen *Mittellippische Trias-Gebiete 1 , Nördliche Herforder Mulde 1 (Minden-Lübbecke), Nördliche Triasgebiete 1 (Herford)* und *Werre-Bega-Else-Talung 1 (Herford)* sind jeweils einige Messstellen vorhanden. Allerdings weisen diese alle eine Zeitreihenlänge kleiner als 15 Jahre auf, die entweder durch den späten Beginn oder durch lange Lücken innerhalb der Zeitreihen verursacht wird. Sie entsprechen somit nicht den Vorgaben der Trendanalyse und können nicht verwendet werden. In allen anderen Bilanzräumen konnten Grundwassermessstellen für die Trendanalyse identifiziert werden. Die Anzahl der Trendmessstellen je Bilanzraum ist in Tab. 2.1 aufgeführt.

Für alle Messstellen wurden Ganglinien der Rohdaten, der Monatsmittel sowie der Jahresmittel, -minima und -maxima erstellt. Die Rohdaten und Monatsmittel wurden in einem Diagramm dargestellt (siehe **Anhang 4**) und die Jahresminima/-mittelwerte/-maxima in einem weiteren (siehe **Anhang 5**). Weiterhin wurden die Regressionsgeraden aller dieser Ganglinien ermittelt und dargestellt. Dabei wurden die statistischen Jahreswerte eines Jahres nur dann berücksichtigt, wenn mindestens sechs Werte vorhanden waren.

Zur Beurteilung der Trends nach Grimm-Strele wurde zusätzlich für die Auswertung der Jahresmittelwerte der Schwankungsbereich je Messstelle bestimmt und das Verhältnis der Steigung der Regressionsgeraden zum Schwankungsbereich ermittelt.

Grundwasserkörper	**Kreis**	**Bilanzraum**	**Anzahl Messstellen Trendanalyse**
Große Aue Lockergestein links	Minden-Lübbecke	GALL_ML	7
Große Aue Lockergestein rechts	Minden-Lübbecke	GALR_ML	4
Große Aue Lockergestein im Süden 1	Minden-Lübbecke	GALS1_ML	23
Große Aue Lockergestein im Süden 2	Minden-Lübbecke	GALS2_ML	3
Hunte rechts Festgestein 1.1	Minden-Lübbecke	HRF1.1_ML	2
Hunte rechts Lockergestein 1	Minden-Lübbecke	HRL1_ML	3
Hunte rechts Lockergestein 2	Minden-Lübbecke	HRL2_ML	6
Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 1	Minden-Lübbecke	KSP1_ML	5
Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 2	Minden-Lübbecke	KSP2_ML	3
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 1	Minden-Lübbecke	KSW1_ML	1
Mittellippische Trias-Gebiete 1	Herford	MTG1_H	2
Mittellippische Trias-Gebiete 1	Lippe	MTG1_L	3
Nördliche Herforder Mulde 3	Herford	NHM3_H	3
Nordlippische Trias-Gebiete 1	Lippe	NTG1_L	3
Nordlippische Trias-Gebiete 1	Minden-Lübbecke	NTG1_ML	2
Petershäger Kreide	Minden-Lübbecke	PK_ML	3
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 1	Minden-Lübbecke	TWW1_ML	7
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 2	Lippe	TWW2_L	3
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 2	Minden-Lübbecke	TWW2_ML	7
Wiehengebirge 1.1	Minden-Lübbecke	WG1.1_ML	5
Wiehengebirge 1.3	Herford	WG1.3_H	1
Wiehengebirge 2.1	Minden-Lübbecke	WG2.1_ML	1
Weser Lockergestein links 1	Minden-Lübbecke	WLL1_ML	1
Weser Lockergestein links 2	Minden-Lübbecke	WLL2_ML	5
Weser Lockergestein links 3	Minden-Lübbecke	WLL3_ML	17
Weser Lockergestein rechts	Minden-Lübbecke	WLR_ML	7
Summe			**127**

Tab. 2.1: Anzahl Trendmessstellen pro Bilanzraum

2.3 Ausreißertest /Plausibilitätsprüfung

Vor der Analyse der Zeitreihen wird ein Ausreißertest und eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt. Dazu wird eine statistische Methode verwendet und diese mit einer fachlichen Prüfung kombiniert. Dabei werden zunächst die Ganglinien der Rohdaten auf Ausreißer in Anlehnung an LAWA (2011), **Anlage 1** geprüft.

Dazu wird die bereits berechnete Regressionsgerade der Zeitreihe verwendet und es werden die Residualwerte der Messwerte gegen die jeweiligen Werte der Regressionsgeraden berechnet.

Der Nachweis eines Ausreißers ergibt sich wie folgt:

Man berechne $r^* = \frac{a_R - y_R}{s_R} \cdot \sqrt{\frac{n}{n-1}}$

Mit
- a_R ausreißerverdächtiger Residualwert
- y_R Mittelwert der Residualwerte
- s_R Standardabweichung der Residualwerte
- n Anzahl der Wertepaare

Das Ergebnis r* wird dann anhand der r - Tabelle (Ausreißertest nach NALIMOV, Zahlen von G. GOTTSCHALK; LAWA (2011): **Anhang 1** der **Anlage 1**) beurteilt.

Bei	$r^* < r(95) < r(99) < r(99{,}9)$	liegt definitionsgemäß kein Ausreißer vor
Wenn	$r(95) < r^* < r(99) < r(99{,}9)$,	dann ist a_R wahrscheinlich ein Ausreißer
Oder	$r(95) < r(99) < r^* < r(99{,}9)$,	dann ist a_R signifikant ein Ausreißer
Oder	$r(95) < r(99) < r(99{,}9) < r^*$,	dann ist a_R hochsignifikant ein Ausreißer

Dieses Verfahren wurde ursprünglich für die Prüfung von hydrochemischen Parametergangliniен entwickelt. Zur Beurteilung von Grundwasserstandsganglinien muss zusätzlich die klimatische Entwicklung berücksichtigt werden. Ganglinienverläufe, die in einzelnen Jahren durch sehr nasses oder sehr trockenes Klima stark von der Regressionsgeraden abweichen, können trotzdem plausibel sein (siehe Abb. 2.2). Daher wird jeder über die statistische Methode gefundene Messfehler fachlich begutachtet.

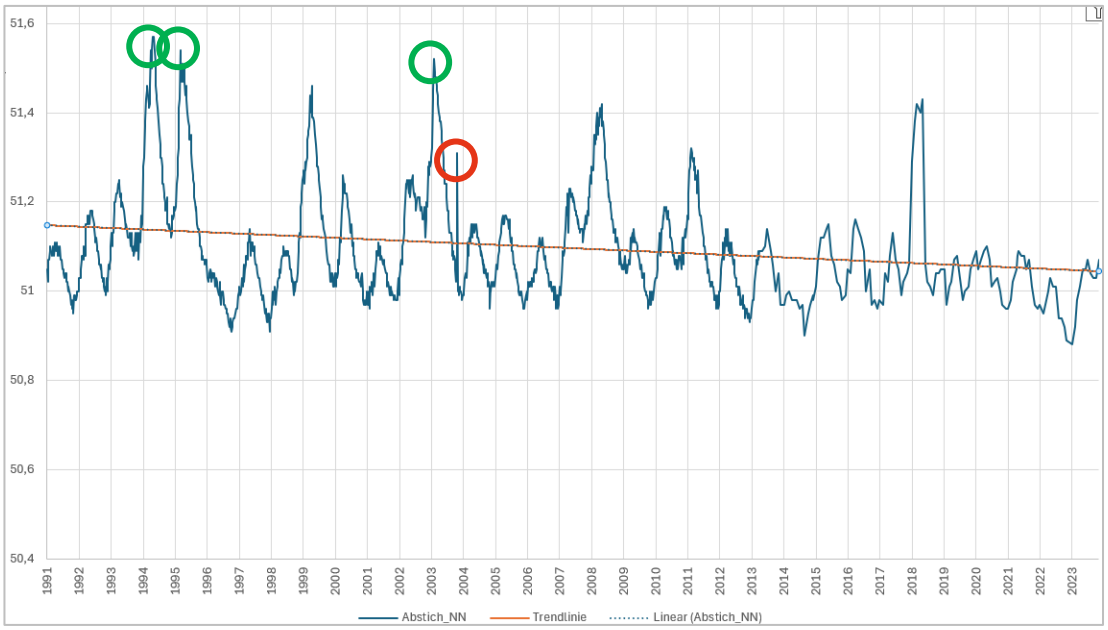


Abb. 2.2: Beispielganglinie: grüne Kreise: hohe Abweichungen von der Regressionsgeraden , die aber wahrscheinlich klimatisch bedingt und somit keine Ausreißer sind; roter Kreis: vermuteter Ausreißer, der aber gemäß statistischer Auswertung definitionsgemäß kein Ausreißer ist.

Das Vorgehen des Ausreißertests ist daher wie folgt:

+ Statistische Berechnung eines potenziellen Messfehlers über die Abweichung jedes Messwertes im Vergleich zur Regressionsgeraden der Zeitreihe (Residualwert)
+ Objektive fachliche Begutachtung des potenziellen Messfehlers/Messwertes
+ Ggf. Korrektur des Messfehlers
+ Entfernung des Messfehlers, wenn der Messwert als Messfehler identifiziert wurde, oder des Residualwertes, wenn es sich nach fachlicher Begutachtung um einen plausiblen Messwert handelt
+ Wiederholung der statistischen Berechnung, bis kein weiterer potenzieller Messfehler mehr ausgegeben wird

In **Anhang 6** sind die Ergebnisse und Maßnahmen der Ausreißerprüfung aufgeführt.

2.4 Auswertungsmethoden

Zur Bewertung der Trendanalyse werden drei alternative Methoden verwendet und im Folgenden beschrieben. Die Ergebnisse werden in Kap. 2.5 dargestellt.

2.4.1 Trendanalyse über die Steigung der Regressionsgeraden

Für alle Messstellen wurde die Steigung der Regressionsgeraden nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet und die Steigung in cm/a ermittelt. Dabei wurden sowohl die Monatsmittelwerte als auch die Jahresminima, Jahresmittelwerte und Jahresmaxima bewertet. Die Ergebnisse werden entsprechend der Wertebereiche in Tab. 2.2 beurteilt.

Wertebereich	Bewertung
< 1 cm pro Jahr	Fallend
-1 bis +1 cm pro Jahr	Gleichbleibend
>1 cm pro Jahr	steigend

Tab. 2.2: Wertebereiche für Trendbewertung des Grundwasserstands anhand der Regressionsgeraden

2.4.2 Statistische Signifikanz über Students t-Test

Die Ermittlung der statistischen Signifikanz eines Trends erfolgt auf Basis einer anerkannten statistischen Methode. Die vorgegebene Methode ist in **Anlage 1** von LAWA (2011) näher erläutert. Dabei wird zunächst der lineare Trend jeder Zeitreihe durch eine einfache Regressionsanalyse ermittelt. Anschließend wird ein Students t-Test durchgeführt.

Bei diesem Test wird die Hypothese $\beta = \beta_0$ gegen die Alternative $\beta \neq \beta_0$ geprüft. In diesem Fall ist $\beta_0 = 0$. Es wird also die Hypothese $\beta = 0$, d. h. y ist nicht abhängig von x bzw. es gibt keinen signifikanten Trend, gegen $\beta \neq 0$, d. h. y ist abhängig von x bzw. es gibt einen abnehmenden oder ansteigenden signifikanten Trend, geprüft.

1. Schritt: Wahl der Signifikanzzahl α^* (5 %, 1 % oder dgl.). Hier wird $\alpha^* = 5$ % ausgewählt.

2. Schritt: Bestimmung einer Zahl c aus der Students t-Verteilung in LAWA (2011), **Anlage 1**, **Anhang 2** mit n-2 Freiheitsgeraden. Für Grundwasserstandszeitreihen mit deutlich >200 Wertepaaren, was bei allen Messstellen der Fall ist, ergibt sich für eine 95 %ige Wahrscheinlichkeit ein Wert von c = 1,65.

3. Schritt: Aus der Stichprobe (x1,y1),.....,(xn,yn) wird berechnet

   + Die Standardabweichung von x: s_x^2

   + Die Standardabweichung von y: s_y^2

+ Die Steigung der Regressionsgeraden: a_1 und

+ $A = (n-1) \cdot (s_y^2 - a_1^2 \cdot s_x^2)$

4. Schritt: Berechnung von

$$t_0 = \sqrt{\frac{s_x^2 (n-1)(n-2)}{A}} \cdot |a_1 - \beta_0|$$

Anschließend wird der sich aus den aktuellen Wertepaaren ergebende Wert t_0 mit dem theoretisch-statistischen Wert c verglichen. Ist $t_0 \leq c$, so wird die Hypothese angenommen. Ist dagegen $t_0 > c$, so wird sie verworfen und die Alternative als zutreffend angesehen.

2.4.3 Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele

Eine weitere Methode zur Ganglinienauswertung ist die nach GRIMM-STRELE (2003). Dabei wird das Verhältnis der Steigung der Regressionsgeraden in cm pro Jahr zur Spannweite der Extremwerte in der Zeitreihe in m (entspricht % pro Jahr) gebildet. Somit wird für jede Messstelle die Steigung der Regressionsgeraden zu der Spannweite der jeweiligen Extremwerte, d. h. der Differenz von maximalem und minimalem Monats- bzw. Jahreswert der Zeitreihe ins Verhältnis gesetzt. Anschließend werden die Wertebereiche entsprechend Tab. 2.3 bewertet.

Wertebereich	Bewertung
< -2 % pro Jahr	Stark fallend
-2 % bis -1 % pro Jahr	Fallend
-1 % bis +1 % pro Jahr	Gleichbleibend
+1 % bis +2 % pro Jahr	steigend
>+2 % pro Jahr	Stark steigend

Tab. 2.3: Wertebereiche für Trendbewertung des Grundwasserstands nach Grimm-Strele

2.5 Ergebnisse der Trendanalyse über den 30jährigen Zeitraum

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Trendanalyse für den kompletten 30-jährigen Zeitraum nach den Methoden „Bewertung der Steigung der Regressionsgeraden“, „Statistische Signifikanz über den Students t-Test“ und „Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele“ dargestellt.

2.5.1 Bewertung der Steigung der Regressionsgeraden

Die Ergebnisse der Trendanalyse mittels Steigung der Regressionsgeraden für die Monatsmittelwerte, die Jahresminima, Jahresmittelwerte und Jahresmaxima sind in **Anhang 7** aufgeführt und in Tab. 2.4 zusammengefasst. Insgesamt liegen bei den 127 geprüften Messstellen je nach Datengrundlage Trends zwischen -13,2 (Jahresminima) und +8,6 cm/a (Jahresmaxima) vor. Dabei weisen zwischen 38 und 51 Messstellen einen geringen Trend zwischen -1 und +1 cm/a auf. Die übrigen Messstellen weisen überwiegend einen fallenden Trend auf. Nur einzelne Messstellen, zwischen 4 und 6, weisen einen steigenden Trend von >1 cm/a auf.

Steigung [cm/a]	**Monats-mittelwerte**	**Jahres-minima**	**Jahres-mittelwerte**	**Jahres-maxima**
Minimum	-11,8	-13,2	-10,3	-10,0
Mittelwert	-1,8	-1,3	-1,6	-1,9
Maximum	6,7	7,9	7,6	8,6
		Anzahl Messstellen		
<-5	10	2	9	15
-5 bis -2,5	23	16	21	27
-2,5 bis -1	46	54	50	40
-1 bis +1	44	51	43	38
+1 bis +2,5	2	1	2	5
+2,5 bis +5	1	2	1	1
>5	1	1	1	1
Summe	127	127	127	127

Tab. 2.4: Ergebnisse der Trendanalyse über die Regressionsgeradensteigung

In **Anlage 3** sind die Steigungen der Messstellen dargestellt. Dabei wird ebenfalls deutlich, dass fallende Trends deutlich überwiegen. Nordöstlich von Preußisch-Oldendorf scheinen sich deutlich fallende Trends zu konzentrieren, was allerdings auch daran liegen kann, dass es in dem Bereich sehr viele für die Trendanalyse geeignete Messstellen mit vielen Messwerten gibt. Messtellen mit einem steigenden Trend >1 cm/a gibt es insgesamt vier, HE134 HEDEM, MH1229 HUXHOEHE, SU 2 SUEDHEMMER und WG20 POGGENKRUG. Diese befinden sich alle nördlich oder südlich des Wiehengebirges.

Für eine Auswertung je Bilanzraum werden nur die Bilanzräume ausgewertet, in denen mindestens drei Trendmessstellen vorhanden sind. Diese sind in Tab. 2.5 aufgeführt. Es sind 15 Bilanzräume innerhalb des Kreises Minden-Lübbecke und vier weitere in den Kreisen Herford und Lippe. Bei allen Bilanzräumen sind die mittleren Trends negativ. Lediglich die Jahresminima bei GALS2_ML und die Jahresmaxima bei KSP1_ML weisen einen leicht positiven Trend auf. In Abb. 2.3 sind diese Werte grafisch dargestellt.

Bilanzraum	Anzahl Mess-stellen	Monats-mittelwerte [cm/a]	Jahres-minima [cm/a]	Jahres-mittelwerte [cm/a]	Jahres-maxima [cm/a]
GALL_ML	7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,4
GALR_ML	4	-2,3	-2,3	-2,3	-1,8
GALS1_ML	23	-3,3	-2,1	-3,1	-4,1
GALS2_ML	3	-0,1	0,2	-0,1	-1,1
HRL1_ML	3	-1,8	-1,6	-1,7	-1,6
HRL2_ML	6	-3,4	-2,0	-3,1	-4,8
KSP1_ML	5	-0,9	-1,3	-0,9	0,1
KSP2_ML	3	-1,0	-0,9	-1,0	-0,5
PK_ML	3	-0,9	-0,4	-0,8	-0,9
TWW1_ML	7	-0,7	-0,2	-0,5	-0,6
TWW2_ML	7	-2,0	-1,7	-2,0	-2,1
WG1.1_ML	5	-2,5	-1,3	-2,3	-1,2
WLL2_ML	5	-1,0	-0,8	-1,0	-1,1
WLL3_ML	17	-1,1	-0,8	-1,1	-1,5
WLR_ML	7	-0,8	-0,6	-0,8	-1,4
MTG1_L	3	-4,0	-2,4	-4,0	-5,1
NHM3_H	3	-2,6	-2,2	-2,5	-2,6
NTG1_L	3	-4,3	-4,9	-3,7	-2,3
TWW2_L	3	-2,0	-2,0	-1,8	-1,6

Tab. 2.5: Mittlere Steigung je Bilanzraum

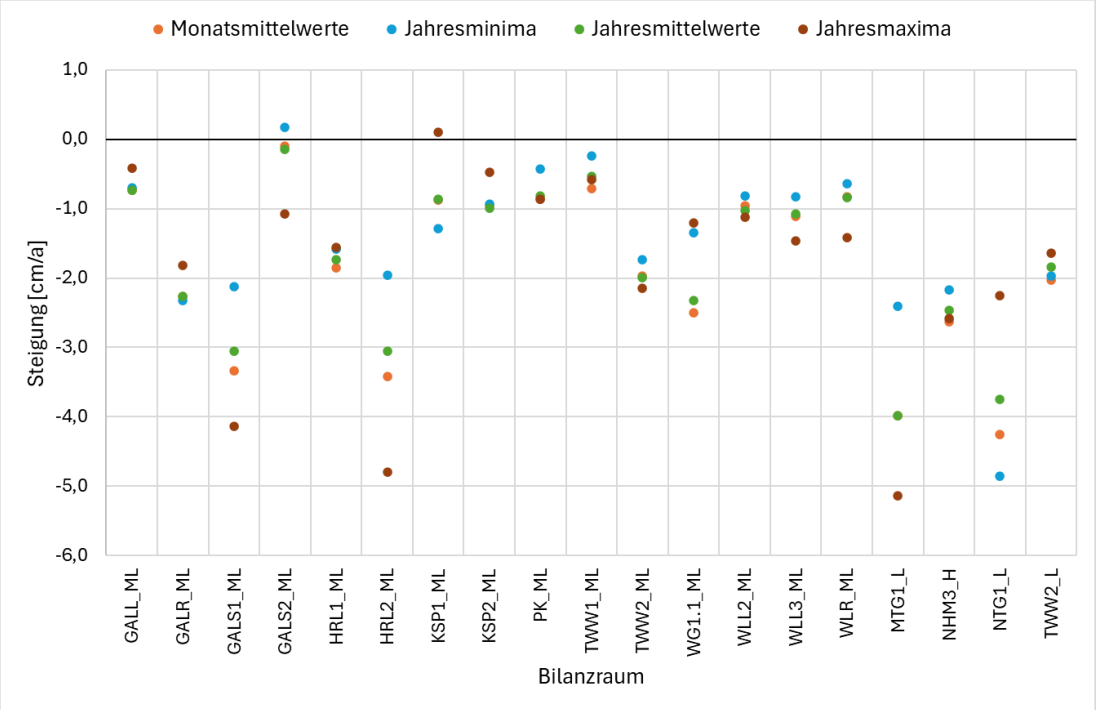


Abb. 2.3: Mittlere Steigung je Bilanzraum

2.5.2 Statistische Signifikanz über den Students t-Test

Von den 127 geprüften Messstellen weist nach diesem Test keine einzige Messstelle einen signifikanten Trend auf, da die sich ergebenden t_0-Werte deutlich kleiner sind als der Kontrollwert c = 1,65. Somit ist davon auszugehen, dass diese Methode für den vorliegenden Anwendungsfall nicht geeignet ist.

2.5.3 Ganglinienauswertung nach Grimm-Strele

Für alle Messstellen wurden die Monatsmittelwerte, die Jahresminima, Jahresmittelwerte und Jahresmaxima bewertet. Die Ergebnisse sind in **Anhang 7** aufgeführt und in Tab. 2.6 zusammengefasst. Insgesamt liegen bei den 127 geprüften Messstellen je nach Datengrundlage Trends nach Grimm-Strele zwischen -2,4 % und +2,2 % vor. Dabei weisen zwischen 49 und 102 Messstellen einen gleichbleibenden Trend auf, zwischen 23 und 74 Messstellen einen fallenden oder stark fallenden und zwischen 2 und 6 Messstellen einen steigenden oder stark steigenden. Die Trends der Jahreswerte sind sich dabei relativ ähnlich, die der Monatswerte weichen ab, da dort die Extremwerte eine größere Rolle spielen und somit die Schwankungsbreiten jeweils höher sind als bei den Zeitreihen mit Jahreswerten.

Trend nach Grimm-Strele	**Monats-mittelwerte**	**Jahres-minima**	**Jahres-mittelwerte**	**Jahres-maxima**
Minimum	-1,7%	-2,4%	-2,4%	-2,5%
Mittelwert	-0,6%	-0,8%	-1,0%	-0,8%
Maximum	1,4%	2,1%	2,2%	2,6%
		Anzahl Messstellen		
Stark fallend	0	3	6	4
Fallend	23	53	68	59
Gleichbleibend	102	66	49	58
steigend	2	4	3	5
Stark steigend	0	1	1	1
Summe	127	127	127	127

Tab. 2.6: Ergebnisse der Trendanalysen nach Grimm-Strele

Die Trends der Jahresmittelwerte wurden in **Anlage 4** als Karte dargestellt, um die räumliche Verteilung auszuwerten. Durch die Berücksichtigung der Schwankungsbreite der Messstellen verschiebt sich die aus **Anlage 3** bekannte Trendverteilung, bei der die Steigung der Regressionsgeraden berücksichtigt wurde. Nach Grimm-Strele liegen stark fallende Trends nicht nordöstlich von Preußisch-Oldendorf, sondern im östlichen Stadtgebiet von Porta Westfalica, bei Bad Salzuflen, südlich von Dielingen und östlich von Rahden. Die einzige Messstelle mit stark steigendem Trend liegt im Bereich des Großen Torfmoores (GW 24A GEESTMOORD).

Auch die Trends nach Grimm-Strele wurden je Bilanzraum ausgewertet. Auch hier werden nur die Bilanzräume berücksichtigt, in denen mindestens drei Trendmessstellen vorhanden sind. Dies sind 15 Bilanzräume im Kreis Minden-Lübbecke und vier in den Kreisen Herford und Lippe. Diese sind in Tab. 2.7, oben die Bilanzräume von Minden-Lübbecke, unten die übrigen, und Abb. 2.4 aufgeführt. Auffallend ist, dass lediglich in KSP1_ML bei den Jahresmaxima ein positiver Trend zu verzeichnen ist (in Tab. 2.7 grün markiert). Alle anderen Trends sind mehr oder weniger stark negativ.

Dabei weisen bei der Auswertung der Jahresmittelwerte von den 19 Bilanzräumen zwölf einen fallenden (in Tab. 2.7 orange markiert) und sieben einen gleichbleibenden Trend (blau markiert) auf. Die Jahresminima zeigen in neun Bilanzräumen einen fallenden und in zehn Bilanzräumen einen gleichbleibenden Trend. Die Jahresmaxima sind in nur fünf Bilanzräumen fallend und in 14 Bilanzräumen gleichbleibend.

Bilanzraum	Anzahl Messstellen	Monatsmittelwerte	Jahresminima	Jahresmittelwerte	Jahresmaxima
GALL_ML	7	-0,4%	-0,7%	-0,9%	-0,4%
GALR_ML	4	-0,9%	-1,5%	-1,5%	-0,8%
GALS1_ML	23	-0,8%	-0,9%	-1,2%	-1,2%
GALS2_ML	3	-0,1%	-0,1%	-0,2%	-0,6%
HRL1_ML	3	-0,7%	-1,1%	-1,4%	-1,0%
HRL2_ML	6	-0,7%	-0,7%	-1,1%	-1,4%
KSP1_ML	5	-0,4%	-1,0%	-1,0%	0,2%
KSP2_ML	3	-0,4%	-0,7%	-0,9%	-0,4%
PK_ML	3	-0,5%	-0,6%	-0,9%	-0,8%
TWW1_ML	7	-0,7%	-0,9%	-1,1%	-0,9%
TWW2_ML	7	-1,1%	-1,4%	-1,6%	-1,4%
WG1.1_ML	5	-0,6%	-0,6%	-1,1%	-0,4%
WLL2_ML	5	-0,5%	-1,2%	-1,1%	-0,5%
WLL3_ML	17	-0,4%	-0,5%	-0,5%	-0,5%
WLR_ML	7	-0,4%	-0,6%	-0,7%	-1,0%
MTG1_L	3	-1,0%	-1,1%	-1,6%	-1,7%
NHM3_H	3	-0,9%	-1,0%	-1,3%	-1,1%
NTG1_L	3	-0,8%	-1,5%	-1,4%	-0,7%
TWW2_L	3	-0,4%	-1,2%	-1,1%	-0,6%

Tab. 2.7: Mittlere Trends nach Grimm-Strele je Bilanzraum

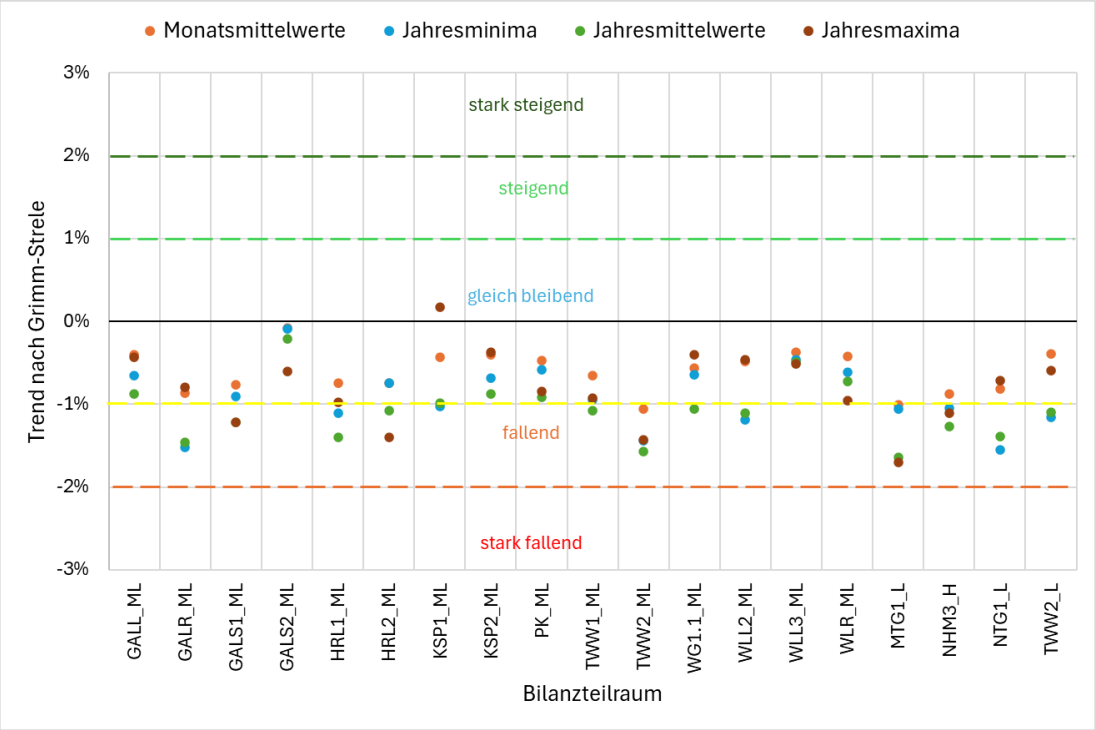


Abb. 2.4: Mittlere Trends nach Grimm-Strele je Bilanzraum

2.6 Abschnittsweise Trendanalyse

Zusätzlich zur Trendanalyse über den 30-jährigen Zeitraum wurden die Trends auch in 10-jährigen Zeitabschnitten innerhalb der 30 Jahre analysiert. Dabei wurden die Trends über die Steigung der Regressionsgeraden der Jahresminima, Jahresmittelwerte und Jahresmaxima für alle Messstellen und die Zeiträume **1991-2000**, **2001-2010** und **2011-2020** ermittelt.

Die Ergebnisse der Trendanalyse für die drei zehnjährigen Zeiträume sind in **Anhang 8** aufgeführt und in Tab. 2.8 zusammengefasst. Insgesamt liegen bei den 127 geprüften Messstellen im Zeitraum **1991-2000** Trends zwischen -30,2 und +74,0 cm/a vor (beide im Jahresmaximum), im Zeitraum **2001-2010** zwischen -18,1 und +53,3 cm/a (beide im Jahresmittelwert) und im Zeitraum **2011-2020** -36,7 und +21,2 cm/a (im Jahresminimum und Jahresmaximum).

Die Trends der Jahresmittelwerte zeigen im Zeitraum **1991-2000** bei 37 Messstellen (29 %) einen gleichbleibenden Trend zwischen -1 und +1 cm/a, im Zeitraum **2001-2010** bei 42 Messstellen (33 %) und im Zeitraum **2011-2020** bei 27 Messstellen (21 %). Deutlichere Trends der Jahresmittelwerte sind im Zeitraum **1991-2000** bei 47 Messstellen (37 %) negativ und bei 43 Messstellen (34 %) positiv, im Zeitraum **2001-2020** bei 70 Messstellen (55 %) negativ und 15 Messstellen (12 %) positiv und im Zeitraum **2011-2020** bei 89 Messstellen (70 %) negativ und 11 Messstellen (9 %) positiv.

Steigung [cm/a]	Zeitraum 1991-2000			Zeitraum 2001-2010			Zeitraum 2011-2020		
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum
Minimum	-21,3	-20,9	-30,2	-17,1	-18,1	-17,4	-36,7	-27,5	-17,2
Mittelwert	0,0	0,3	1,9	-1,5	-0,9	-1,4	-3,7	-3,1	-1,5
Maximum	31,5	41,2	74,0	51,1	53,3	51,5	7,5	5,6	21,2
				Anzahl Messstellen					
<-5	16	16	4	18	8	21	36	29	21
-5 bis -2,5	14	12	18	31	21	17	26	28	21
-2,5 bis -1	14	19	21	29	41	24	30	32	19
-1 bis +1	38	37	31	29	42	44	24	27	37
+1 bis +2,5	20	19	15	10	9	12	3	5	16
+2,5 bis +5	16	14	16	7	4	5	5	5	7
>5	9	10	22	3	2	4	3	1	6
Summe	127	127	127	127	127	127	127	127	127

Tab. 2.8: Ergebnisse der Trendanalyse über die Regressionsgeradensteigung

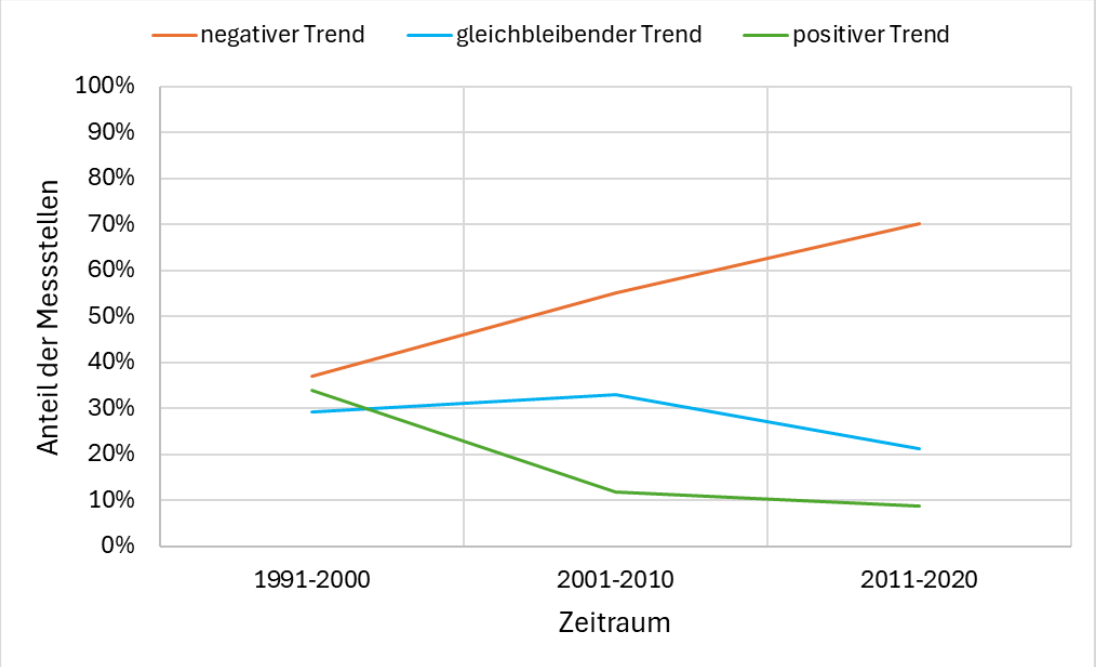


Abb. 2.5: Anteile der Messstellen mit positivem/negativem/gleichbleibendem Trend der Jahresmittelwerte

In Abb. 2.5 sind die Anteile der Messstellen mit negativem, gleichbleibendem und positivem Trend der Jahresmittelwerte je 10-jährigem Zeitraum dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Anteil an Messstellen mit gleichbleibenden Trends über die Zeiträume erst leicht zu- und dann deutlich abnimmt. Die Anzahl der Messstellen mit negativem Trend nimmt über die drei Zeiträume deutlich zu. Umgekehrt verhält es sich mit den Messstellen mit positiven Trends. Im Zeitraum **2001-2010** gibt es deutlich weniger Messstellen mit positivem Trend als im Zeitraum **1991-2000**, im Zeitraum **2011-2020** sinkt die Anzahl leicht weiter.

Für eine Auswertung je Bilanzraum werden nur die Bilanzräume ausgewertet, in denen mindestens drei Trendmessstellen vorhanden sind. Diese sind in Tab. 2.9 aufgeführt. Es sind 15 Bilanzräume innerhalb des Landkreises Minden-Lübbecke und vier weitere in den Landkreisen Herford und Lippe. Trends zwischen -1 und +1 cm/a sind in schwarz dargestellt, zwischen -1 und -5 cm/a in orange, <-5 cm/a in rot, zwischen +1 und +5 cm/a in hellgrün und >+5 cm/a in dunkelblau.

Bilanzraum	Anzahl Messstellen	Zeitraum 1991-2000			Zeitraum 2001-2010			Zeitraum 2011-2020		
		Minimum [cm/a]	Mittelwert [cm/a]	Maximum [cm/a]	Minimum [cm/a]	Mittelwert [cm/a]	Maximum [cm/a]	Minimum [cm/a]	Mittelwert [cm/a]	Maximum [cm/a]
GALL_ML	7	0,3	-0,9	-1,7	-2,4	-1,6	-1,4	-1,4	-0,9	1,3
GALR_ML	4	-0,9	-1,5	-1,0	-4,4	-5,1	-5,5	-0,6	0,4	1,9
GALS1_ML	23	-0,8	-1,2	0,9	-4,8	-2,4	-3,9	-5,2	-5,7	-5,5
GALS2_ML	3	0,4	-0,1	2,0	-2,5	-1,5	-1,4	-1,5	-2,1	-1,4
HRL1_ML	3	1,5	1,5	1,4	-2,5	-1,2	-0,3	-1,4	-0,2	1,2
HRL2_ML	6	1,3	0,1	-0,1	-3,2	-2,7	-6,2	-8,6	-7,0	-5,4
KSP1_ML	5	-0,7	-1,7	-2,6	-3,9	-1,5	-0,1	-3,0	-1,7	1,5
KSP2_ML	3	0,6	-0,6	-0,3	-2,6	-1,3	-1,0	-7,1	-5,0	-0,6
PK_ML	3	-0,3	-0,2	2,4	-0,8	-0,4	-0,1	0,9	-0,4	0,2
TWW1_ML	7	2,5	3,3	4,6	7,1	7,0	5,7	-10,0	-7,6	-3,7
TWW2_ML	7	-0,2	1,5	1,8	-0,9	-2,2	-3,7	-3,0	-2,6	-1,9
WG1.1_ML	5	-5,0	-6,7	0,6	-5,2	-1,6	-0,1	-3,3	-1,4	-0,1
WLL2_ML	5	-1,1	-1,1	-0,1	-0,7	-0,4	0,0	-1,0	-2,3	-0,2
WLL3_ML	17	1,8	2,4	4,3	1,1	0,1	-0,6	-2,5	-2,4	-1,8
WLR_ML	7	0,5	1,3	2,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,6	-0,8	-1,0
MTG1_L	3	-2,1	-2,8	-1,2	-2,6	-2,7	-1,7	-5,1	-3,1	-1,7
NHM3_H	3	-4,8	-6,4	-5,1	-0,5	-1,9	-2,5	-14,3	-11,2	-6,7
NTG1_L	3	1,0	12,7	23,9	-2,8	-2,3	-1,1	-1,4	-0,9	-1,4
TWW2_L	3	-9,8	-8,5	-8,0	1,4	1,0	5,7	-5,9	-0,9	10,6

Tab. 2.9: Mittlere Steigung der Regressionsgeraden je Bilanzraum

Im Zeitraum **1991-2000** liegen gleichbleibende Trends in 10 (Minimum), 5 (Mittelwert) und 5 (Maximum) Bilanzräumen vor. In 5 (Minimum), 8 (Mittelwert) und 6 (Maximum) Bilanzräumen sind die Trends negativ und in 4 (Minimum), 6 (Mittelwert) und 8 (Maximum) Bilanzräumen sind sie positiv. Dabei fällt der Bilanzraum NTG1_L durch die besonders hohen positiven Trends ins Auge, die dadurch entstanden sind, dass die Zeitreihen im ersten Zeitraum nicht 10, sondern nur 5 Jahre lang sind und die Grundwasserstände in diesem Zeitraum insbesondere bei einer Messstelle (KS 8 G -M1) stark steigen. Die mittleren Steigungen je Bilanzraum sind in Abb. 2.6 dargestellt.

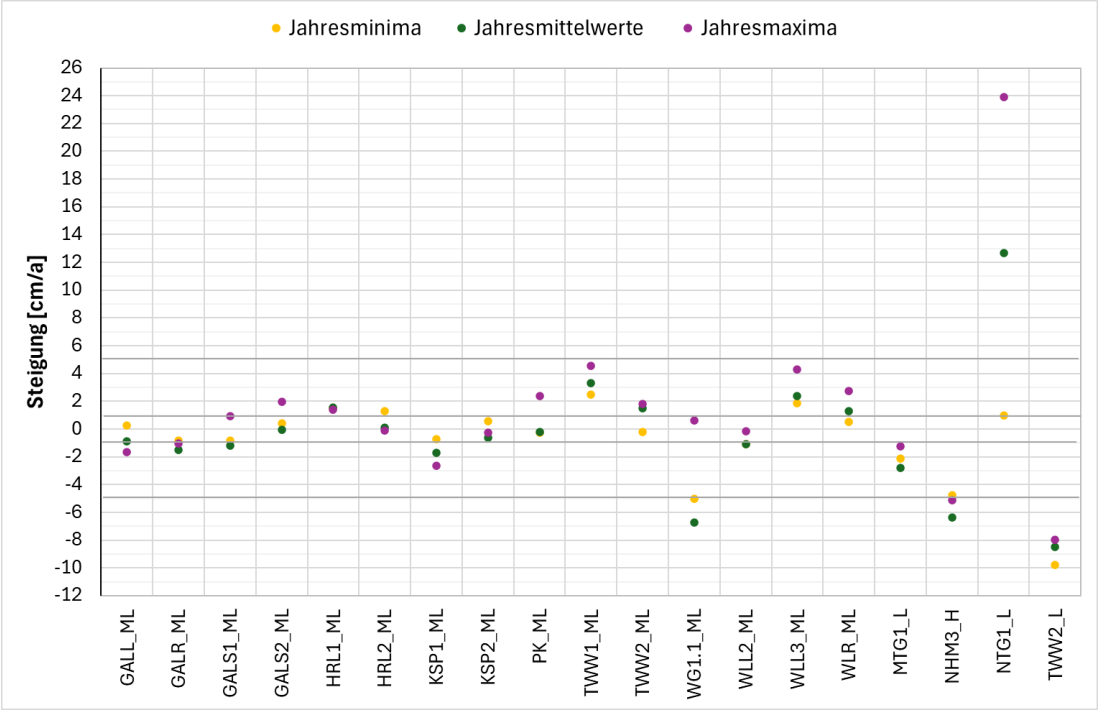


Abb. 2.6: Mittlere Steigung je Bilanzraum im Zeitraum 1991-2000

Im Zeitraum **2001-2010** weisen 5 (Minimum), 4 (Mittelwert) und 7 (Maximum) Bilanzräume einen gleichbleibenden Trend zwischen -1 und +1 cm/a auf. Einen positiven Trend haben 3 (Minimum), 2 (Mittelwert) und 2 (Maximum) Bilanzräume und 11 (Minimum), 13 (Mittelwert) und 10 (Maximum) Bilanzräume einen negativen (siehe auch Abb. 2.7). Damit sind die Trends insgesamt im Vergleich zum Zeitraum davor negativer geworden. Dies bestätigen auch Tab. 2.8 und Abb. 2.5.

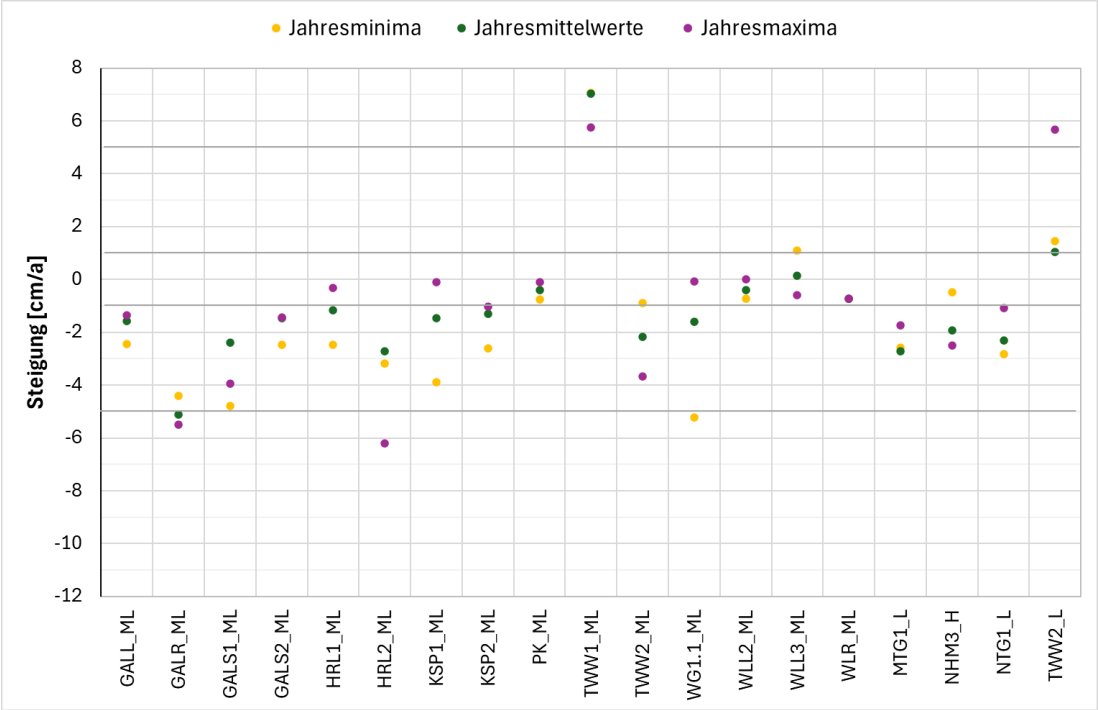


Abb. 2.7: Mittlere Steigung je Bilanzraum im Zeitraum 2001-2010

Im Zeitraum **2011-2020** weisen 4 (Minimum), 7 (Mittelwert) und 4 (Maximum) Bilanzräume einen gleichbleibenden Trend auf. Einen positiven Trend haben 5 Bilanzräume ausschließlich bei den Jahresmaxima und 15 (Minimum), 12 (Mittelwert) und 10 (Maximum) Bilanzräume weisen einen negativen Trend auf (siehe auch Abb. 2.8). In diesem Zeitraum gibt es zudem vermehrt stark negative Trends, wie z. B. in den Bilanzräumen HRL2_ML, TWW1_ML und NHM3_H.

Insgesamt ist daher mit Ausnahme einiger Abweichungen über die drei ausgewerteten Zeiträume ein Zunehmen von negativen Trends im Untersuchungsgebiet festzustellen.

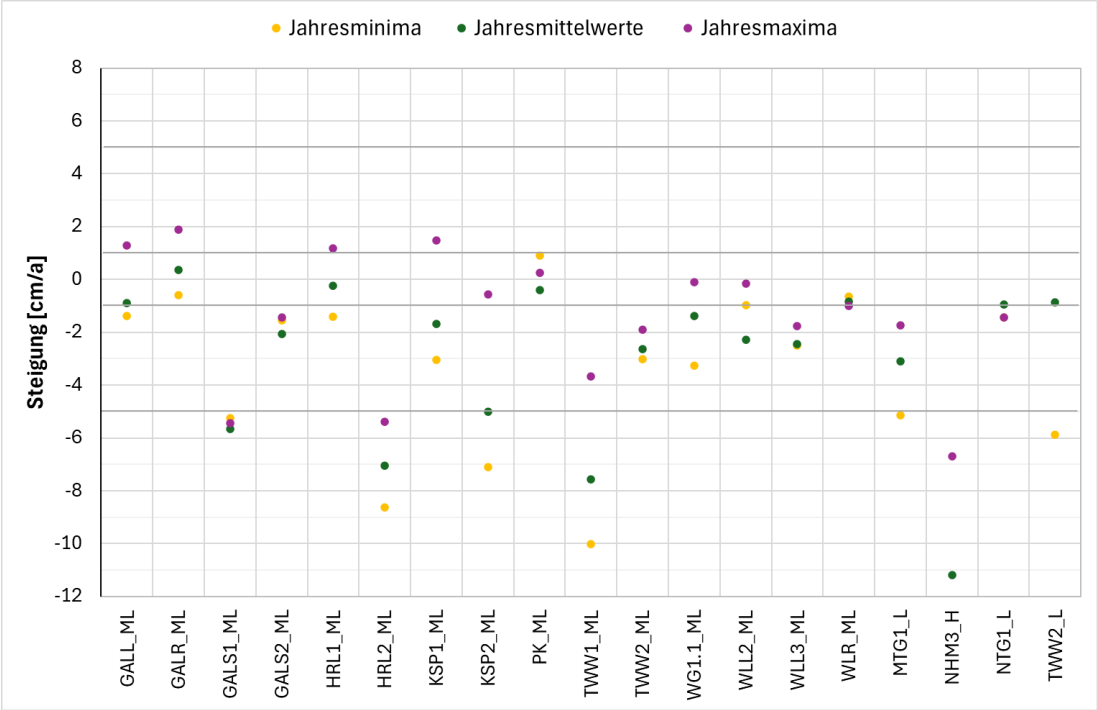


Abb. 2.8: Mittlere Steigung je Bilanzraum im Zeitraum 2011-2020

2.7 Fazit Trendanalyse

Die Trendbetrachtung hat gezeigt, dass für aussagekräftige Trends die Anforderungen an die Grundwasserstandszeitreihen hoch sind. Es gibt im Untersuchungsgebiet zwar viele Grundwassermessstellen, allerdings weisen nur wenige über die geforderte lange Zeit die Datenqualität auf, die für eine Trendanalyse erforderlich ist. Somit können nicht für alle Bilanzräume ausreichend viele Grundwassermessstellen gefunden werden, mit denen aussagekräftige Trends berechnet werden können.

Aus diesem Grund wird davon abgesehen, anhand der Trends eine Minderung des Grundwasserdargebots vorzunehmen. Stattdessen wird der mittlere Trend nach Grimm-Strele je Bilanzraum in Form der qualitativen Bewertung als Hinweis in das Bilanzierungswerkzeug mit aufgenommen und es obliegt den Genehmigungsbehörden, diese bei neuen Anträgen mit zu berücksichtigen.

3 Plausibilität der Grundwasserneubildung nach mGROWA

Die Grundwasserneubildung ist ein maßgeblicher Faktor in der Bestimmung der Wasserbilanz eines Gebietes. Tatsächlich gemessen werden kann die Grundwasserneubildung nur in einem Lysimeter. Hier wird die unter realen Bedingungen durch einen Bodenkörper sickernde Wassermenge gemessen. Auch hierbei gibt es Ungenauigkeiten, z. B. hinsichtlich der Niederschlagsmessung oder der Vernachlässigung von Geländegefälle im Lysimeter. Zudem ist die Übertragung auf eine große inhomogene Fläche nicht möglich. Weiterhin gibt es verschiedene empirische Verfahren, die unterschiedliche Eingangsdaten, wie Niederschlag, Bodentyp, Landnutzung und viele mehr verwenden. Auch diese sind aufgrund ihrer Natur mit Unsicherheiten behaftet. Zudem sind sie nur mit großem Aufwand und Generalisierungen auf eine große Fläche zu übertragen. Eine weitere Methode ist die Messung des Abflusses und die Unterteilung der Abflusskurven in Direktabfluss sowie Basisabfluss. Dies ist nur dort möglich, wo langjährige Abflussmessungen vorliegen und zudem mit der Unsicherheit behaftet, dass Entnahmen und Einleitungen nicht berücksichtigt werden. In der Regel finden heute computergestützte Verfahren Anwendung, die die Wirkzusammenhänge über Formeln und Annahmen in eine flächenhaft differenzierte Grundwasserneubildung auf große Anwendungsgebiete übertragen können.

In Nordrhein-Westfalen steht flächendeckend die Grundwasserneubildung nach mGROWA zur Verfügung. Hier gehen unter anderem Niederschlag, Temperatur, Landnutzung, Topografie, Flurabstand und künstliche Entwässerung ein. Das Vorkommen von Schnee sowie kapillarer Aufstieg werden berücksichtigt und die Bodenfeuchte sowie der Abfluss berechnet. Der Abfluss wird unterteilt in Direktabfluss (Zwischenabfluss, Drainageabfluss, Urbaner Direktabfluss) und Grundwasserneubildung.

Weil die Grundwasserneubildung nach mGROWA flächendeckend auf Basis eines transparenten Modells vorliegt, ist geplant, diese für die Studie zu verwenden. Insbesondere, da mit dem Modell zeitlich hochaufgelöste Daten erzeugt und so auch Trockenperioden berücksichtigt werden können. Weiterhin wurden bereits Klimawandelszenarien berechnet, so dass die Auswirkungen des Klimawandels auf das zukünftige Grundwasserdargebot abgeschätzt werden können.

Die Grundwasserneubildung nach mGROWA wird ebenfalls einer Plausibilitätskontrolle unterzogen, um zu beurteilen, wie gut die Aussagequalität der Grundwasserneubildung ist. Hierzu wird ein Vergleich mit gemessenen Abflüssen im Projektgebiet durchgeführt.

Im Projektgebiet liegen 12 Oberflächenwasserpegel, von denen 10 Abflusswerte aufweisen. An den Pegeln Fiestel und Börninghausen liegen nur Wasserstandsdaten vor. Die Lage der Pegel sowie die Pegeleinzugsgebiete sind in Abb. 3.1 dargestellt.

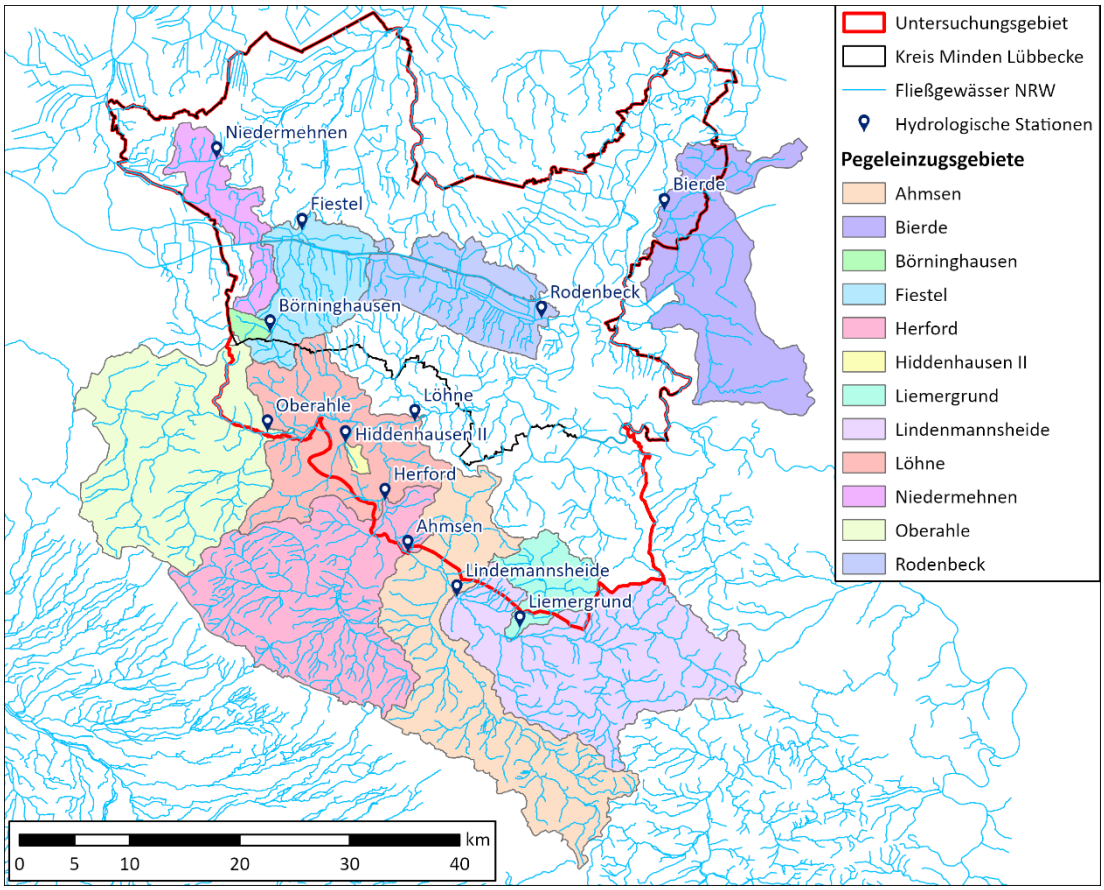


Abb. 3.1: Oberflächenwasserpegel mit Einzugsgebiet im Projektgebiet

An den Pegeln wurde der Wert MoMNQ nach WUNDT (1958) bestimmt. Bei der Berechnung des MoMNQ wird für jeden Monat der betrachteten Zeitreihe der minimale Abfluss ermittelt und diese minimalen monatlichen Abflüsse arithmetisch gemittelt. Das Ergebnis stellt den Basisabfluss und somit etwa die Grundwasserneubildung dar.

In Tab. 3.1 werden die Grundwasserneubildung nach mGROWA und die MoMNQ der Pegel miteinander verglichen. Die Grundwasserneubildung wird als langjähriges Mittel von 1991-2020 verwendet. Der MoMNQ wurde ebenfalls für diesen Zeitraum ermittelt, wenn die Ganglinien der Pegel ausreichend lang waren. Das war für alle betrachteten Pegel bis auf Niedermehnen und Rodenbeck der Fall. Für Niedermehnen wurde eine Zeitreihe von 1991-2019 verwendet und für Rodenbeck von 2003-2019.

Pegel	Einzugsgebiet [km²]	mGROWA [m³/a]	MoMNQ [m³/a]	Abweichung [%]
Ahmsen	594	109.180.020	121.131.703	-10
Bierde	200	12.700.305	9.494.789	34
Herford	870	140.185.670	168.772.525	-17
Hiddenhausen II	4	383.160	233.701	64
Liemergrund	53	8.228.785	3.904.069	111
Lindemannsheide	318	52.384.482	61.522.922	-15
Löhne	1.320	177.054.675	257.493.630	-31
Niedermehnen	62	1.297.710	4.145.172	-69
Oberahle	272	21.612.855	36.921.911	-41
Rodenbeck	113	9.249.776	9.183.966	1

Tab. 3.1: Vergleich der Grundwasserneubildung mit dem MoMNQ nach WUNDT (1958)

Anhand der Daten in Tab. 3.1 ist zu sehen, dass die Grundwasserneubildung nach mGROWA in unterschiedlichem Maße von dem ermittelten MoMNQ abweicht. Höhere Abweichungen treten hierbei vor allem bei den kleineren Einzugsgebieten Hiddenhausen II, Liemergrund und Niedermehnen auf. Alle weiteren Einzugsgebiete weisen einen Abweichungsbetrag von bis zu ca. 40 % auf. Werden die vier separaten Einzugsgebiete Bierde, Löhne (inklusive oberliegender Pegel), Niedermehnen und Rodenbeck gemeinsam betrachtet, liegt der mittlere Abweichungsbetrag bei ca. 29 %.

Die durchgeführte Bilanzierung berücksichtigt weder Grundwasserentnahmen noch Einleitungen in Oberflächengewässer. Dadurch ist eine Unsicherheit in der Plausibilitätsprüfung vorhanden. Das Einzugsgebiet des Pegels Liemergrund ist verhältnismäßig gebirgig, wodurch eine Unsicherheit im Abflussgeschehen entstehen kann. Das Einzugsgebiet Hiddenhausen II ist sehr klein, wodurch Abweichungen nicht innerhalb des Gebietes ausgeglichen werden können.

Eine Kompensation dieser Abweichungen zwischen Grundwasserneubildung und MoMNQ kann nur durch weitere gemessene Werte erfolgen. Hierbei sind sowohl Grundwasserentnahmen mit den dazugehörigen unterirdischen Einzugsgebieten zu berücksichtigen als auch Pegeleinzugsgebiete und die darin stattfindenden Einleitungen in Oberflächengewässer. Die Durchführung einer solchen Kompensation würde umfangreich und aufwändig werden. Zudem ist auch nach der Kompensation noch mit Abweichungen aufgrund von Unsicherheiten in der Datengrundlage sowie möglichen hydrogeologischen Einflüssen, die nicht erfasst wurden, zu rechnen. Weiterhin befindet sich mGROWA sowie dessen Datengrundlage in einer stetigen Weiterentwicklung. Dadurch wird sich die Prognosequalität der Grundwasserneubildung weiter verbessern.

Insgesamt ist das Ergebnis der Plausibilitätsprüfung der Grundwasserneubildung nach mGROWA, trotz der auftretenden Unsicherheiten, als gut zu bewerten. Dies trifft auch im Vergleich zu anderen Methoden zu, in denen ebenfalls Unsicherheiten auftreten. Insbesondere vor dem Hintergrund der hohen räumlichen Differenzierung, der bereits vorliegenden langjährigen Zeitreihen und der Möglichkeit, berechnete Klimaszenarien zu verwenden, ist die Verwendung von mGROWA landesweit eine gute Möglichkeit, auf bestehende Daten zuzugreifen. Damit besteht bei der Verwendung von mGROWA eine hohe Flexibilität in der Anwendung. Weiterhin wird mGROWA stetig weiterentwickelt und verbessert, so dass die Datenqualität zunehmen wird. Für einen landesweiten Einsatz empfiehlt sich die Prüfung der Bilanz an Oberflächenwasserpegeln unter Berücksichtigung von Entnahmen und Einleitungen. Bei stärkeren Abweichungen sollte eine Korrektur vorgenommen werden.

Die Grundwasserneubildung nach mGROWA wird im Rahmen der Studie als grundlegend plausibel angesehen und für diese Studie verwendet.

4 Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen

In der Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen wurde jeder Bilanzraum im Kreis Minden-Lübbecke einzeln betrachtet. In Tab. 4.1 sind die Bilanzräume, die nach mGROWA einen Drainageabfluss aufweisen, mit ihrer Fläche, der Fließgewässerlänge sowie der mittleren Drainageabflussmenge für den Zeitraum 2011 - 2020 nach mGROWA aufgeführt.

Zur Prüfung der Plausibilität der drainierten Flächen wurden diese in einem ersten Schritt hinsichtlich ihrer Nähe zu Oberflächengewässern überprüft. Befinden sich keine Oberflächengewässer in der Nähe der drainierten Flächen, können diese Bereiche ausgeschlossen werden, da das Wasser nicht abfließen kann. Unterstützend wurden Luftbilder herangezogen, um weitere Gräben, welche nicht in dem vorliegenden Oberflächengewässer-Shape enthalten sind, zu identifizieren.

Um die ersten Erkenntnisse zu bestätigen und offene Fragen zu klären, werden die Grundwasserflurabstände und das digitale Geländemodell herangezogen. Je größer der Flurabstand ist, desto unwahrscheinlicher ist eine potenzielle Drainierung der Fläche. Zusätzlich wurde die Boden-/ Gesteinskarte herangezogen, um schlecht leitende Untergründe zu identifizieren und so eventuell weitere potenzielle Entwässerungsflächen auszuschließen bzw. diese zu bestätigen. Die Bewertung der Drainagefläche erfolgt zunächst für jeden der Bilanzräume einzeln. Zum Schluss werden die Einzelbewertungen zusammen betrachtet und zu einer Gesamtbewertung zusammengefasst.

Die Einzelbewertung der Bilanzteilräume ist in **Anhang 9** detailliert erläutert.

Bilanzraum	Fläche [m²]	Fließgewässerlänge [m]	Drainageabfluss nach mGROWA [m³/a]
Große Aue Lockergestein im Süden 1	77.652.533	194.479	3.524.205
Große Aue Lockergestein im Süden 2	22.999.443	34.180	229.905
Große Aue Lockergestein links	89.867.913	241.052	6.175.417
Große Aue Lockergestein rechts	66.304.278	158.428	2.776.605
Hunte rechts Festgestein 1.1	1.855.515	2.224	296
Hunte rechts Festgestein 1.2	125.325	0	16
Hunte rechts Lockergestein 1	50.624.534	115.344	1.949.369
Hunte rechts Lockergestein 2	10.705.253	21.404	70.135
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 1	61.763.643	104.037	1.940.905
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.1	18.140.182	34.029	51.592
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.2	3.045.135	801	8.827
Kreide bei Stadthagen und Wesergebirge 2.3	3.650.534	313	10.193
Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 1	106.086.262	195.305	4.454.263
Kreide-Schichten zwischen Stemwede und Petershagen 2	69.115.116	127.224	1.304.677
Mittellippische Trias-Gebiete	7.993.665	14.277	17.022
Nördliche Herforder Mulde 1	72.407.372	131.826	1.573.467
Nördliche Herforder Mulde 2	32.177	0	870
Nordlippische Trias-Gebiete	19.004.937	28.098	59.400
Oberweser-Hameln	44.992	0	0
Petershäger Kreide	30.502.700	43.812	181.394
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 1	37.800.971	44.433	108.979
Talaue der Weser südl. Wiehengebirge 2	28.150.638	45.343	132.306
Werre-Bega-Else-Talung	6.683.746	13.415	2.819
Weser Lockergestein links 1	7.067.650	12.127	20.473
Weser Lockergestein links 2	36.937.576	78.713	355.960
Weser Lockergestein links 3	138.674.819	282.661	6.712.546
Weser Lockergestein rechts	98.398.096	172.188	1.346.263
Wiehengebirge 1.1	34.269.842	52.121	288.279
Wiehengebirge 1.2	4.684.231	3.641	40.486
Wiehengebirge 1.3	4.668.292	5.926	39.257
Wiehengebirge 2.1	26.418.007	40.540	222.486
Wiehengebirge 2.2	3.219.779	508	26.284
Wiehengebirge 2.3	12.252.778	4.798	103.787
Summe	1.151.147.954	2.203.248	33.728.482

Tab. 4.1: Übersicht der einzelnen Bilanzräume mit ihren jeweiligen flächenmäßigen Ausdehnungen, der Fließgewässerlängen und der potenziell drainierten Menge.

Zusammenfassung

In Minden Lübbecke werden bis zu 33.728.482 m³ Grundwasser pro Jahr, verteilt auf 32 Bilanzräume, nach mGROWA drainiert. Mit der Plausibilitätsprüfung der Drainageflächen wird überprüft, ob die ausgewiesenen Drainageflächen in ihrer Ausdehnung und Menge plausibel sind. Bei dem Grundwasserkörper *Nordlippische Triasgebiete* ist eine größere Teilfläche der Drainagefläche nicht plausibel. Dieser Bereich weist weder Oberflächengewässer in der Nähe auf, noch gaben der Flurabstand oder der anstehende Boden/Gestein Hinweise auf eine mögliche Entwässerung. In diesem nicht plausiblen Bereich sollen 36.093 m³/a drainieren. Im Vergleich zur Gesamtdrainagesumme ist diese Summe jedoch zu vernachlässigen.

Bei den Bilanzräumen *Petershäger Kreide, Werre-Bega-Else Talung* und *Nördliche Herforder Mulde* waren kleine Flecken/Flächen unplausibel, die ohne ersichtlichen Grund eine starke bis sehr starke Entwässerung aufwiesen. Mit den gewählten Untersuchungsmethoden konnten keine Hinweise auf die Ursache für die starke Drainage gefunden werden.

Der überwiegende Teil der ausgewiesenen Drainageflächen ist durch die Gewässernähe, den geringen Flurabstand oder den geeigneten Boden erklärbar und somit plausibel. Einige Drainageflächen sind nicht erklärbar und daher nicht plausibel. Werden diese Flächen nicht berücksichtigt, reduziert sich die Gesamtdrainagemenge entsprechend.

Der Drainageabfluss von mGROWA wird unverändert übernommen, da der überwiegende Anteil plausibel ist und die kleine, unplausible Drainagemenge in einer vernachlässigbaren Größenordnung liegt.