Hydrologische Studie für das Hündfelder Moor

für die
Biologische Station Zwillbrock e.V.

Endbericht

erstellt von

ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und
Umwelttechnik mbH
Turpinstraße 19, 52066 Aachen

Aachen, den 06.09.2024

Impressum

Hydrologische Studie für das Hündfelder Moor
Endbericht

Wir danken allen Beteiligten für die Hilfestellungen bei der Bearbeitung und die jederzeit freundliche und kooperative Zusammenarbeit.

Projektbearbeitung

M.Sc. Georg Soltau

MS Dipl.-Ing Joachim Steinrücke (Projektleiter)

Aachen, den 06.09.2024

Jegliche anderweitige, auch auszugsweise, Verwertung des Berichtes, der Anlagen und ggf. mitgelieferter Projekt-CDs außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Auftraggebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Umwelttechnik mbH,
Turpinstraße 19, 52066 Aachen

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**1**
1.1	Kurzdarstellung des Projekts	1
1.2	Aufgabenstellung	2
1.3	Projektgebiet	3
2	**Wasserbilanzmodell**	**4**
2.1	Modellaufbau	4
2.2	Ergebnisse für das Grundwassermodell	6
2.3	Ergebnisse für die Wasserverteilung und die Abflussverhältnisse	7
3	**Grundwassermodell**	**9**
3.1	Datengrundlagen	9
3.2	Modellaufbau	10
3.2.1	Modellabgrenzung & Randbedingungen	10
3.2.2	Untergrundaufbau & Bodeneigenschaften	11
3.2.3	Fließ- und Stillgewässer	15
3.2.4	Kalibrierung	16
3.3	Istzustand	20
4	**Wasserverteilung, Versickerung und Starkregen**	**23**
4.1	Wasserverteilung und Dimensionierung	23
4.2	Auswirkungen von Starkregen auf die Polderwasserstände und Volumina	33
4.3	Versickerung	40
4.4	Anlegen eines Abfanggrabens	45
4.5	Monitoring	49
5	**Zielzustand**	**52**
5.1.1	Dämme und Dichtungen	52
5.1.2	Überläufe und Versickerung	56
5.1.3	Auswirkungen der geplanten Maßnahmen	57
6	**Optimierung der Maßnahmen**	**80**
6.1	Notwendigkeit der Dichtwand am östlichen Rand des Maßnahmenbereichs	80
6.2	Notwendigkeit der Dichtung in Mooraußendämmen (zwischen Moor und Stillgewässern)	84
6.3	Prüfung der benötigten Breite der Dichtungen	85
6.4	Überstau von Poldern zum Wasserrückhalt für Trockenperioden	87

7 Klimawandel 89

8 Zusammenfassung und Fazit 97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht des Projektgebietes mit Gewässern und Hauptgrundwasserströmung (blaue Pfeile) 3
Abbildung 2-1: Schema des Wasserbilanzmodells 4
Abbildung 2-2: Exemplarische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Modellspeicher für den Moorboden sowie Abschätzung des Grundwasserstandes 5
Abbildung 2-3: Grundwasserneubildung für unterschiedliche Bodenarten für den Simulationszeitraum des Grundwassermodells (von August 2020 bis Januar 2023) 7
Abbildung 2-4: Die Abflusskomponenten Oberflächenabfluss, Interflow und Basisabfluss sowie 7-Tages-Mittel des Gesamtabflusses 8
Abbildung 3-1: Modellumrandung und Bereiche unterschiedlicher Randbedingungen des GW-Modells 11
Abbildung 3-2: Lage der Bohrprofile unterschiedlicher Datenquellen 12
Abbildung 3-3: Verteilung der unterschiedlichen Bodentypen im gesamten Untersuchungsgebiet 14
Abbildung 3-4: Übersichtsdarstellung der im Modell implementierten Fließ- und Stillgewässer (blaue Linien und Flächen) sowie Lage der vorhandenen und geplanten Abflussmessungen (grüne Kästen = aktiv, rote Kästen = inaktiv) 15
Abbildung 3-5: Lage der Grundwassermessstellen der Biologischen Station Zwillbrock 16
Abbildung 3-6: Vergleich von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien für den Zeitraum August 2020 bis Januar 2023 an den Messstellen 4, 5 und 6 (Fehlstellen in den Zeitreihen sind rot markiert) 17
Abbildung 3-7: Vergleich von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien für den Zeitraum August 2020 bis Januar 2023 an den Messstellen 1 -3 und 7 (Fehlstellen in den Zeitreihen sind rot markiert) 18
Abbildung 3-8: Grundwassergleichen bei mittleren Verhältnissen (schwarz) und (Haupt-) Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet 20
Abbildung 3-9: Grundwasserflurabstand im Untersuchungsgebiet bei mittleren Verhältnissen 21
Abbildung 3-10: 3D-Darstellung des Grundwassermodells im Istzustand bei mittleren Verhältnissen (50-fach überhöht) 21
Abbildung 3-11: Darstellung des 3D-Grundwassermodells mit Netzstruktur bei mittleren Verhältnissen 22
Abbildung 4-1: Verschiedene Ausführungen der KOPKOS-Überlaufbecken, Screenshot aus Produktblatt: KWT Overflow well, V2.11, mrt 2021) 24
Abbildung 4-2: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 1 gemeinsam über den nördlichen Rand in Versickerungsbereich 1 entwässern 25

Abbildung 4-3: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 2 gemeinsam über den östlichen Rand in Versickerungsbereich 2 entwässern 27
Abbildung 4-4: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 3 gemeinsam über den östlichen Rand in Versickerungsbereich 3 entwässern 29
Abbildung 4-5: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 4 gemeinsam über den östlichen Rand in den südlichen Ablaufgraben entwässern 30
Abbildung 4-6: Übersichtsplan der drei geplanten Bauabschnitte 32
Abbildung 4-7: Abflussganglinie des Grundwasserleiters durch die geplante Dichtwand 41
Abbildung 4-8: Schematischer Lageplan einer Versickerungsfläche mit Lage der Schnitte „A“ und „B“ 43
Abbildung 4-9: Schematischer Längsschnitt eines exemplarischen Versickerungsbereichs entlang des Fließwegs 43
Abbildung 4-10: Schematischer Schnitt eines exemplarischen Versickerungsbereichs quer zur Fließrichtung 44
Abbildung 4-11: Schematischer Schnitt entlang des Fließweges einer Versickerungsfläche (nicht maßstabsgerecht) 44
Abbildung 4-12: Versickerungsbereiche östlich der geplanten Dichtwand 45
Abbildung 4-13: Lage und Verlauf des geplanten Abfanggrabens westlich der Zollhäuser 46
Abbildung 4-14: Schematische Darstellung vom Verlauf des Grabens und exemplarisches Querprofil auf Basis der vorhandenen Gräben im Norden und Süden 47
Abbildung 4-15: Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Zielzustand und Istzustand bei hohen Grundwasserverhältnissen (Ausschnitt aus Anlage_2.3) 47
Abbildung 4-16: Grundwasserstandsganglinien im Istzustand und Zielzustand im Bereich der Zollhäuser sowie Sohlhöhe des Abfanggrabens und Geländeoberkante 48
Abbildung 4-17: Übersicht der Grundwassermessstellen (lila) und aktuell vorhandenen Thomson-Messwehre (grün) 50
Abbildung 4-18: Lage der neu zu errichtenden Thomson-Messwehre im Ablauf der Versickerungsbereiche (orange) und neu zu errichtende Grundwassermessstelle GWM8 51
Abbildung 5-1: Lage und Art der vorgesehenen Dichtungen der verschiedenen Dämme 53
Abbildung 5-2: Lage der großen (Kronenbreite 5 m) und kleinen Dämme (Kronenbreite 3 m) 54
Abbildung 5-3: Screenshot aus 3D-Grundwassermodell im Planzustand (30-fach überhöht); Ausschnitt zeigt einen Teilbereich der Polder im Planungsgebiet 55
Abbildung 5-4: Screenshot aus 3D-Grundwassermodell im Planzustand (Draufsicht); Ausschnitt zeigt einen Teilbereich der Polder im Planungsgebiet 55
Abbildung 5-5: Lage von Überläufen und Versickerungsbereichen 56
Abbildung 5-6: Grundwasserstandsänderungen im Vergleich von Zielzustand mit Istzustand bei mittleren Grundwasserverhältnissen 57
Abbildung 5-7: Grundwassergleichen im Zielzustand bei mittleren Verhältnissen (blaue Pfeile kennzeichnen die Hauptgrundwasserströmung) 58

Abbildung 5-8: Lage der Flachwasserseen am östlichen Rand des Planungsgebietes 60
Abbildung 5-9: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den östlichen Flachwasserseen (Polder 2, Polder 17, Polder 18 und Polder 29), Stauziele und Toleranzbereiche 61
Abbildung 5-10: Lage der Polderbereiche mit zwei oder mehr Zuläufen (im nördlichen Bereich) 62
Abbildung 5-11: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den nördlichen Polderbereichen mit zwei und mehr Zuflüssen (Polder 5, Polder 6, Polder 16 und Polder 20), Stauziele und Toleranzbereiche 63
Abbildung 5-12: Lage der Polderbereiche mit zwei oder mehr Zuläufen (im südlichen Bereich) 64
Abbildung 5-13: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den südlichen Polderbereichen mit zwei und mehr Zuflüssen (Polder 24, Polder 25, Polder 28 und Polder 30), Stauziele und Toleranzbereiche 65
Abbildung 5-14: Lage der hochgelegenen, teilweise grenzüberschreitenden Polderbereiche (Polder 12, Polder 13, Polder 14) 66
Abbildung 5-15: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den hochgelegenen, teilweise grenzüberschreitenden Polderbereichen (Polder 12, Polder 13, und Polder 14), Stauziele und Toleranzbereiche 67
Abbildung 5-16: Lage der Polderbereiche im westlichen Anströmungsbereich (Polder 23, Polder 31, Polder 32 und Polder 33) 68
Abbildung 5-17: Darstellung der Wasserstandsganglinien im westlichen Anströmungsbereich (Polder 23, Polder 31, Polder 32 und Polder 33), Stauziele und Toleranzbereiche 69
Abbildung 5-18: Lage des Polders mit der höchsten Stauzieldifferenz (Polder 27) 70
Abbildung 5-19: Darstellung der Wasserstandsganglinien im Polder mit der höchsten Stauzieldifferenz und höchstem Stauziel (Polder 27), Stauziele und Toleranzbereiche 71
Abbildung 5-20: Einzugsgebiet des Flörbachs (auf deutscher Seite) sowie Teileinzugsgebiet der Gräben im Projektgebiet 73
Abbildung 5-21: Lage der zu untersuchenden Gräben im Planungsbereich 75
Abbildung 5-22: Vergleich der Abflüsse [l/s] des nördlichen Grabens im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot) 76
Abbildung 5-23: Vergleich der Abflüsse [l/s] des mittleren Graben-Nord im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot) 77
Abbildung 5-24: Vergleich der Abflüsse [l/s] des mittleren Graben-Süd im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot) 78
Abbildung 5-25: Vergleich der Abflüsse [l/s] des südlichen Grabens im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot) 79
Abbildung 6-1: Lage der betrachteten Polder der Flachwasserseen mit Bezeichnung und Stauzielen 80
Abbildung 6-2: Wasserstandsentwicklung im Polder 17 im Zielzustand mit Grundwasserabdichtung (durchgezogene Linie) und ohne Abdichtung (gestrichelte Linie) sowie Stauziel und Toleranzbereiche 81

Abbildung 6-3: Wasserstandsentwicklung im Polder 18 im Zielzustand mit Grundwasserabdichtung (durchgezogene Linie) und ohne Abdichtung (gestrichelte Linie) sowie Stauziel und Toleranzbereiche 82
Abbildung 6-4: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung im Polder 29 im Zielzustand mit Grundwasserabdichtung (durchgezogene Linie) und ohne Abdichtung (gestrichelte Linie) sowie Stauziel und Toleranzbereiche 83
Abbildung 6-5: Grundwasserstandsdifferenzen bei Vergleichsrechnungen im Zielzustand mit und ohne Dichtwand bei niedrigen Grundwasserverhältnissen 84
Abbildung 6-6: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung in den Moorrandbereichen bei Annahme verschiedener kf-Werte auf Basis der DWD-Klimadaten der dargestellten Jahre 85
Abbildung 6-7: Standard-Damm-Aufbau (Biologische Station Zwillbrock, 2024) 86
Abbildung 6-8: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung im höchsten Kompartiment bei unterschiedlichen Dichtungsbreiten auf der Basis von Klimadaten der dargestellten Jahre 87
Abbildung 6-9: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung im höchsten Kompartiment für den Zeitraum 2007 – 2023 (auf Basis der DWD-Klimadaten der dargestellten Jahre) 88
Abbildung 7-1: RCP-Szenarien gemäß dem 5. IPCC-Sachstandsbericht 90
Abbildung 7-2: Projizierte Veränderung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsrate für die „nahe Zukunft“ (RCP2.6) im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Mittelwert der Klimaprojektionen) Quelle: www.klimaatlas.nrw.de 91
Abbildung 7-3: Projizierte Veränderung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsrate für die „nahe Zukunft“ (RCP 4.5) im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Mittelwert der Klimaprojektionen) Quelle: www.klimaatlas.nrw.de 92
Abbildung 7-4: Änderung der mittleren Monatsniederschläge für die Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP4.5 (Mittelwerte der Projektionen) in Bezug auf die Niederschlagsdaten der DWD Station Ahaus für den Zeitraum 2007 – 2023 94
Abbildung 7-5: Projizierte Veränderung der mittleren jährlichen Verdunstung für die „nahe Zukunft“ (RCP2.6) im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Mittelwert der Klimaprojektionen) Quelle: www.klimaatlas.nrw.de 95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Ausgewählte Bodenparameter aus der BK50 NRW 5
Tabelle 3-1: Bodeneigenschaften der verschiedenen Torftypen im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage Hofer&Pautz, 2024) 13
Tabelle 3-2: Bodentypen und Eigenschaften 14
Tabelle 3-3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Ganglinien-Analyse 18
Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Vollfüllungsleistung verschiedener Nennweiten in l/s 24

Tabelle 4-2: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 1 26
Tabelle 4-3: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 2 28
Tabelle 4-4: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 3 30
Tabelle 4-5: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 4 31
Tabelle 4-6: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 1 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h) 34
Tabelle 4-7: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 1 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h) 35
Tabelle 4-8: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 1 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h) 35
Tabelle 4-9: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 2 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h) 36
Tabelle 4-10: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 2 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h) 36
Tabelle 4-11: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 2 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h) 37
Tabelle 4-12: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 3 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h) 37
Tabelle 4-13: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 3 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h) 38
Tabelle 4-14: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 3 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h) 38
Tabelle 4-15: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 4 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h) 39
Tabelle 4-16: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 4 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h) 39
Tabelle 4-17: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 4 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h) 39
Tabelle 4-18: Berechnung der Versickerungsflächen 42
Tabelle 5-1: Zusammenstellung der kf-Werte der Dichtungsmaterialien Torf und Lehm (Spannweiten) (Hofer&Pautz, 2024) 53
Tabelle 5-2: Zusammenstellung Einzugsgebietsgrößen, Abflussspenden und Abflüsse für Flörbach und Gräben 74
Tabelle 7-1: Mittlere Monatsniederschläge der DWD-Station Ahaus (Zeitraum 2007 – 2023) und Änderung der Monatsniederschläge auf Basis der Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP 4.5 (50. Perzentil) 93

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersichtsplan Wasserverteilung und Versickerung

Anlage 2.1: Übersichtsplan Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Istzustand und Zielzustand für mittlere Verhältnisse

Anlage 2.2: Übersichtsplan Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Istzustand und Zielzustand für niedrige Verhältnisse

Anlage 2.3: Übersichtsplan Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Istzustand und Zielzustand für hohe Verhältnisse

1 Einleitung

Das Hündfelder Moor, ein bedeutender Teil des grenzüberschreitenden Hochmoores zwischen Gronau und Enschede, steht im Zentrum des LIFE-Projekts CrossBorderBog, dessen Ziel die Wiedervernässung des „Amtsvenn und Hündfelder Moor“ ist. Dieses Projekt, das von 2023 bis 2029 läuft, wird von der Provinz Overijssel koordiniert, wobei die Umsetzung auf deutscher Seite durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Nordrhein-Westfalen (MUNV NRW), die Biologische Station Zwillbrock e.V. und die Stiftung Natur und Landschaft Westmünsterland erfolgt (Biologische Station Zwillbrock, 2023)

Die Biologische Station Zwillbrock e.V. hat im Rahmen dieses Projekts die Überarbeitung der Wiedervernässungsplanung (Los 1) sowie die Erstellung einer hydrologischen Studie (Los 2) ausgeschrieben. Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Erstellung der hydrologischen Studie, welche von der Ingenieurgesellschaft ProAqua durchgeführt wird.

Zur Ermittlung der Grundwasserverhältnisse und zur Optimierung der wasserbaulichen Planungen wird eine Kombination aus einer Wasserbilanzmodellierung und einem 3D-Grundwassermodell angewendet, um die hydrologischen Aspekte des Projekts effektiver zu analysieren und das Ziel eines stabilen Moorwasserstandes von +/- 15 cm unter Flur zu erreichen.

1.1 Kurzdarstellung des Projekts

Das grundlegende Ziel des Projektes ist die Wiedervernässung des Hündfelder Moores. Dieses Ziel soll erreicht werden, indem das Gebiet in 28 Polder und Stillwasserbereiche mit jeweils einheitlichem Stauziel untergliedert wird. Die einzelnen Bereiche werden durch Dämme voneinander abgegrenzt, um eine möglichst lange Verweilzeit des Wassers innerhalb des Hündfelder Moores zu gewährleisten.

Im Osten des Planungsraumes wird ein Damm mit Abdichtung in den geringleitenden Untergrund errichtet (vgl.-Beschreibung der Maßnahmen in Kapitel 5). Dieser Damm dient dazu, den Grundwasserabstrom aus dem Planungsraum nach Osten weitestgehend zu unterbinden und somit einen Grundwasseranstieg in Strömungsrichtung oberhalb zu induzieren. Dies hat zur Folge, dass westlich dieser Dichtwand Flachwasserbereiche entstehen. Nach einem initialen Einstau dieser Bereiche ist vorgesehen, dass sich anstauende Grundwasser unterhalb der Dichtwand wieder zu versickern und somit dem Grundwasser zuzuführen. Hierdurch sollen die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse räumlich weitestgehend begrenzt werden.

1.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung der Hydrologischen Studie umfasst die Analyse der ober- und unterirdischen wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Abflussverhältnisse im Istzustand und Zielzustand. Darüber hinaus soll modellseitig gezeigt werden, wie sich die geplanten Maßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse und Abflussverhältnisse im Zielzustand auswirken, um negative Auswirkungen auf unbeteiligte Dritte durch ggf. erforderliche Anpassungen der Maßnahmen verhindern zu können.

Darüber hinaus ist die Wasserverteilung im Zielzustand zu planen und zu dimensionieren sowie die technische Ausführung und Positionierung der Überläufe zwischen den Poldern zu konzipieren. Das Wasser, welches aus dem Gebiet hinausgeleitet wird, muss auf die vorhandenen Vorfluter aufgeteilt werden. Hierbei wird es zunächst durch Versickerungsbereiche geleitet. Die erforderlicher Leistungsfähigkeit, Dimensionierung und Ausführung dieser Bereiche ist ebenfalls Bestandteil der Hydrologischen Studie.

Im Rahmen der Maßnahmenoptimierung werden darüber hinaus verschiedene Anpassungen an den bestehenden Planungen geprüft, die ggf. zu einer besseren Zielerreichung führen können, oder aber zu Einsparungen im Rahmen der Bauausführung beitragen können, wie z.B.:

- Erforderliche Dammdichtungen im höchsten Kompartiment
- Notwendigkeit der Untergrundabdichtung
- Optimierung des Wasserstands-Management
- Monitoring Messnetz im Zielzustand

1.3 Projektgebiet

Das Projektgebiet, in welchem Maßnahmen, geplant sind, erstreckt sich über eine Fläche von etwa 410 ha, von denen etwa 154 ha auf niederländischer Seite liegen und hier somit nicht im Detail betrachtet werden. Das Projektgebiet liegt im Norden Nordrhein-Westfalens und grenzt im Norden an die Niederlande (vgl. Abbildung 1-1).

Die Grundwasserströmung im Gebiet verläuft von West nach Ost. Der Grundwasserkörper im gesamten Gebiet ist relativ geringmächtig (etwa 3,8 m, vgl. auch Kapitel 3.3) und besteht zu großen Teilen aus Sanden und Feinsanden. Der unterhalb liegende Grundwasserstauer ist überwiegend tonig und mehrere hundert Meter mächtig.

Im Projektgebiet entstehen kleine Gräben, welche in östliche und nordöstliche Richtung das Gebiet verlassen und nach mehreren Kilometern Fließweg im Flörbach münden.

Darüber hinaus befinden sich im Gebiet einige kleinere Stillgewässer (vgl. Abbildung 1-1).

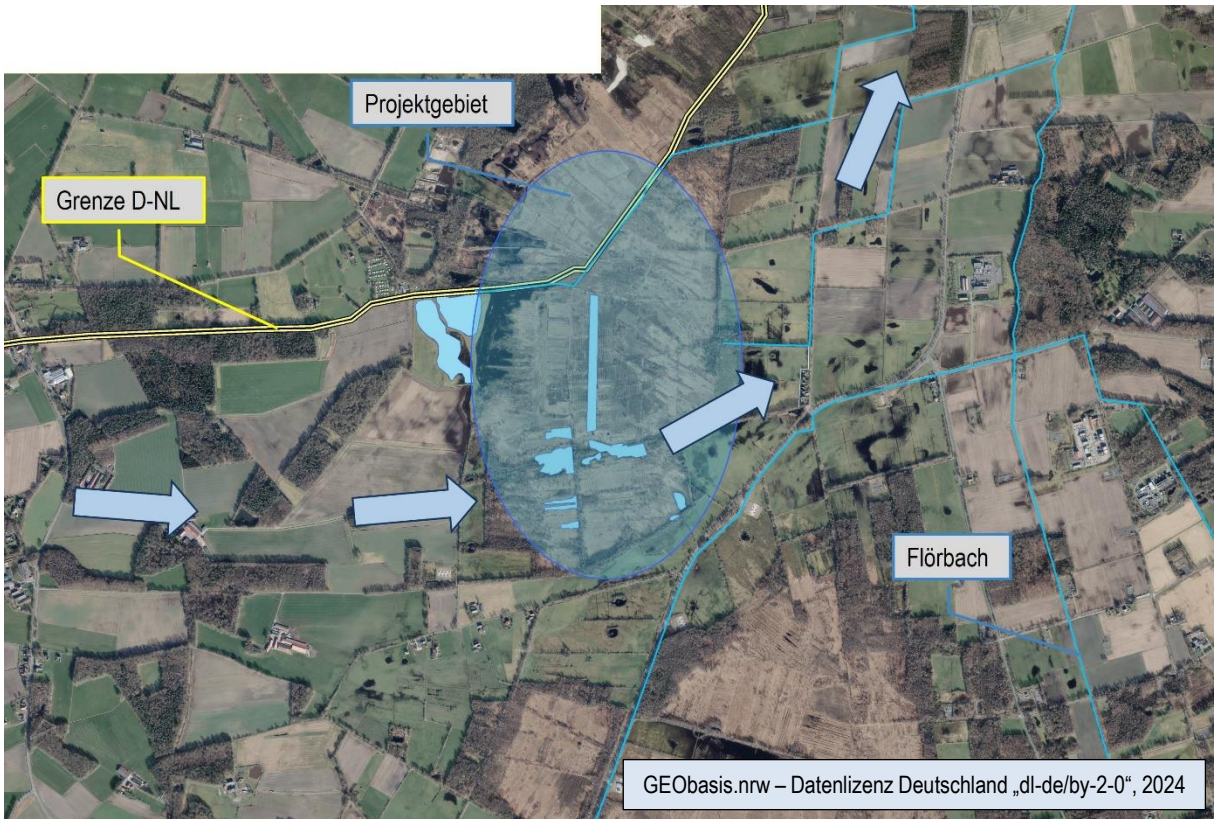


Abbildung 1-1: Übersicht des Projektgebietes mit Gewässern und Hauptgrundwasserströmung (blaue Pfeile)

2 Wasserbilanzmodell

Das WABI-PA Modell ist ein deterministisches Modell, das die vollständige Wasserbilanz eines Einzugsgebietes abbildet. Die Simulation erfolgt kontinuierlich auf Basis von gegebenen, in der Regel gemessenen, Zeitreihen des Niederschlags und der Verdunstung. Das Modell besteht aus drei Hauptkomponenten: dem Muldenspeicher, dem Bodenspeicher und dem Grundwasserspeicher. In Abbildung 2-1 ist das Schema des Bilanzmodells abgebildet.

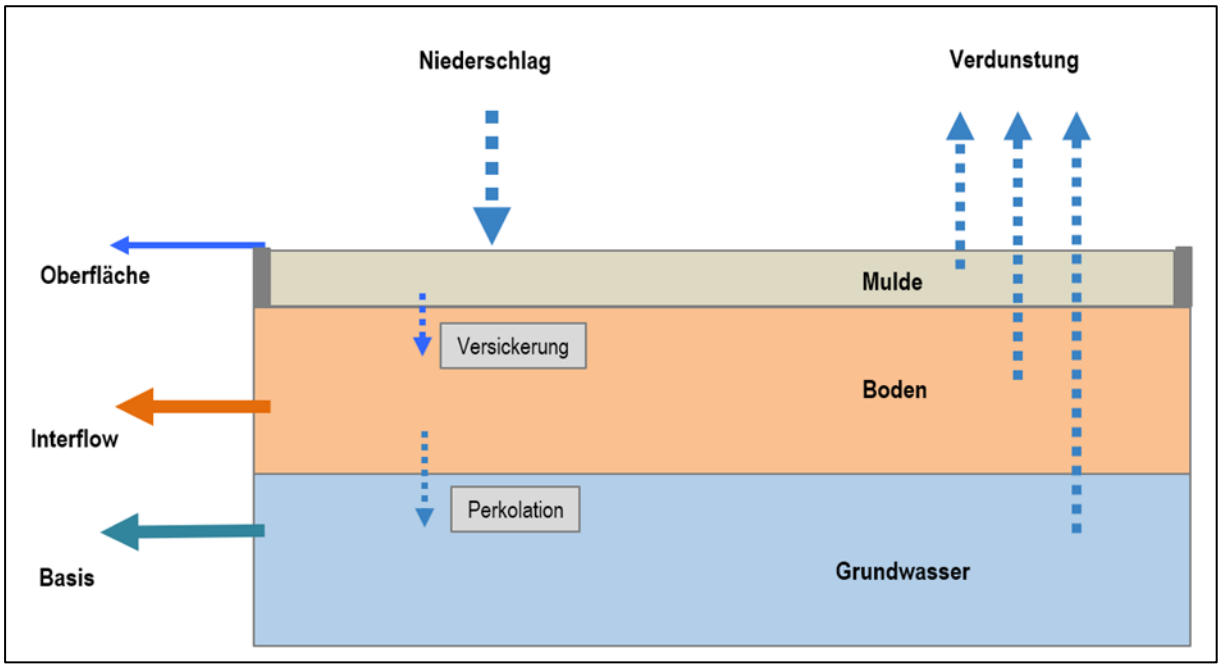


Abbildung 2-1: Schema des Wasserbilanzmodells

2.1 Modellaufbau

Der Muldenspeicher bildet die räumlich oberste Schicht des Modells. Hier wird der Niederschlag als Input angesetzt, er wird in der Mulde aufgenommen. Aus der Mulde wird Wasser verdunstet und in den Boden versickert. Die in einem Zeitschritt mögliche Versickerung hängt von dem aktuellen Wassergehalt des Bodens ab. Die potenzielle Versickerung nimmt mit zunehmendem Wassergehalt im Bodenkörper ab. Wenn, als Folge starker Niederschläge, die Kapazität des Muldenspeichers überschritten wird, entsteht Oberflächenabfluss. Modelltechnisch wird dies durch einen Linearspeicher abgebildet.

Wie beschrieben, gelangt die Versickerung aus dem Muldenspeicher in den Bodenspeicher, was zu einer Erhöhung des Wassergehalts im Boden führt. Sofern die potenzielle Verdunstung nicht vollständig durch die Muldenverdunstung gedeckt wird, wird dem Boden Wasser in Form von Verdunstung entzogen. Liegt der verbleibende Wassergehalt oberhalb der nutzbaren Feldkapazität, erfolgt eine Perkolation in das Grundwasser. Die Perkolationsrate ist abhängig von der Bodenfeuchte. Sofern der Wassergehalt anschließend noch über der nutzbaren Feldkapazität liegt, erfolgt ein Interflow. Modelltechnisch wird dieser ebenfalls durch einen Linearspeicher berechnet.

Abbildung 2-2 zeigt eine exemplarische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Modellspeicher für den Moorboden.

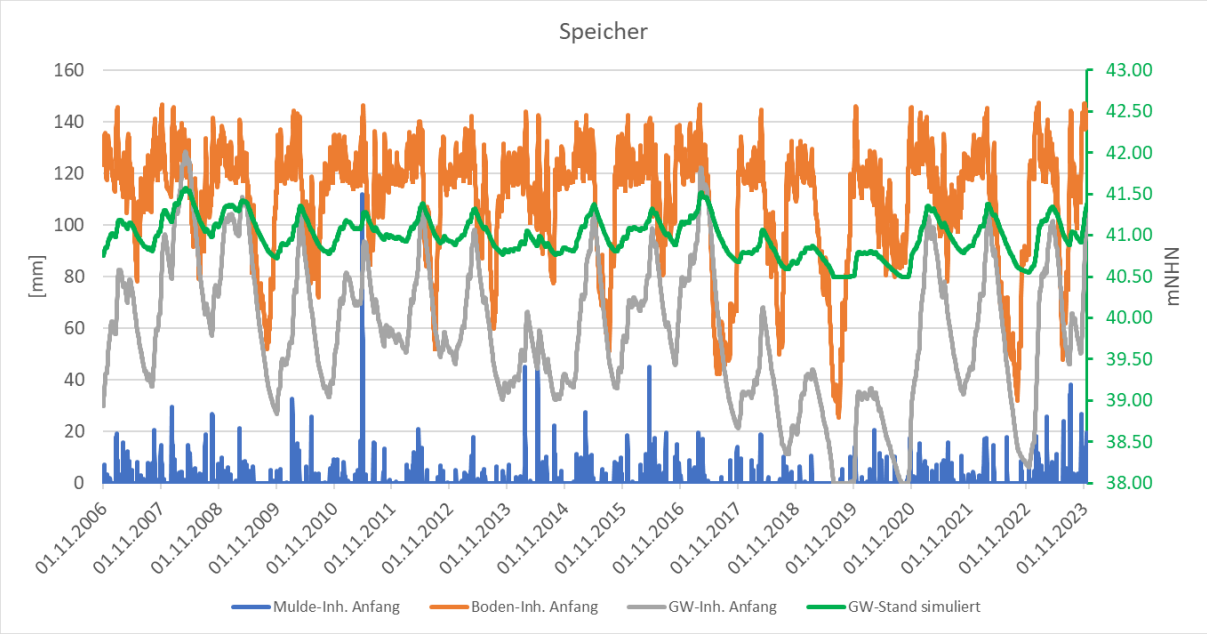


Abbildung 2-2: Exemplarische Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Modellspeicher für den Moorboden sowie Abschätzung des Grundwasserstandes

Der Grundwasserspeicher wird durch die Perkolation aus dem Bodenspeicher gespeist. Sofern die potenzielle Verdunstung durch Muldenverdunstung und Verdunstung aus dem Bodenspeicher noch nicht gedeckt ist, erfolgt eine Verdunstung aus dem Grundwasserspeicher. Der Basisabfluss wird mittels Linearspeicher-Ansatz berechnet.

Um die oben beschrieben Prozesse berechnen zu können, wird das jeweilige Einzugsgebiet analysiert und ein Modelldatensatz aufgebaut. Hinsichtlich der Modellparameter wurden wesentliche Informationen der Bodenübersichtskarte NRW (BÜK 50) entnommen, sodass unter Berücksichtigung der lokalen Bodenverhältnisse Modellparameter wie z.B. maximale Infiltration, maximale Perkolation, Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität etc. ermittelt und im Modell angesetzt wurden.

Im Untersuchungsgebiet sind im Wesentlichen vier unterschiedliche Bodentypen prägend (siehe Abbildung 3-3). Für jeden Bodentyp wurde ein eigenständiges Bilanzmodell aufgebaut; die wasserwirtschaftlich prägenden Bodenparameter sind in Tabelle 2-1 zusammengestellt.

Tabelle 2-1: Ausgewählte Bodenparameter aus der BK50 NRW

	Tiefe (Durchwurzel)	nFK (Durchwurzel.)	LK (Durchwurzel.)	LK4	kf
	dm	mm	mm	mm/4dm	cm/d
Hochmoor (L3906_HH041GWA3)	2	120	40	20	5
Pseudogley (L3906_P-G851GU2)	6	108	132	22	300
Gley (L3906_G733GW2)	6	108	162.6	15.3	71.3
Podsolgley (L3906_P-S831SW3)	6.1	43.9	192.2	31.5	315.8

Eingangsdaten bzw. treibende Kräfte sind der Niederschlag und die Verdunstung. Für beide Größen konnte auf DWD-Klimadaten der Station Ahaus (Nr 7374) zurückgegriffen werden. Für die Modellierung der Wasserbilanz wurden Zeitreihen des Niederschlags und der potenziellen Verdunstung vom 01.11.2006 bis zum 18.11.2023 als Tageswerte aufbereitet.

Da das Grundwassermodell sehr lange Rechenzeiten erfordert, wurde nicht der gesamte Zeitraum modelliert, sondern lediglich von August 2020 bis Januar 2023. Details siehe folgendes Kapitel.

2.2 Ergebnisse für das Grundwassermodell

Grundwasserneubildung bezeichnet den Zugang von Wasser ins Grundwasser. Dazu zählen die Infiltration von Niederschlägen in den Boden, die Infiltration aus oberirdischen Gewässern in den Untergrund und künstliche Neubildungsbeiträge durch Grundwasseranreicherungen oder Beregnungen. Es wird jedoch nicht nur Wasser in das Grundwasser eingetragen, sondern auch durch Verdunstung, z.B. über Pflanzen, entzogen.

Das Wasserbilanzmodell wurde ferner mit der Intention entwickelt die Grundwasserneubildung – Zugang und Entzug – für das Grundwassermodell bereitzustellen. Die mit dem Bilanzmodell berechnete Grundwasserneubildung ist in Abbildung 2-3 für die vier Bodentypen dargestellt. Positive Werte entsprechen einem Eintrag in das Grundwasser, negative Werte dem Entzug durch Verdunstung.

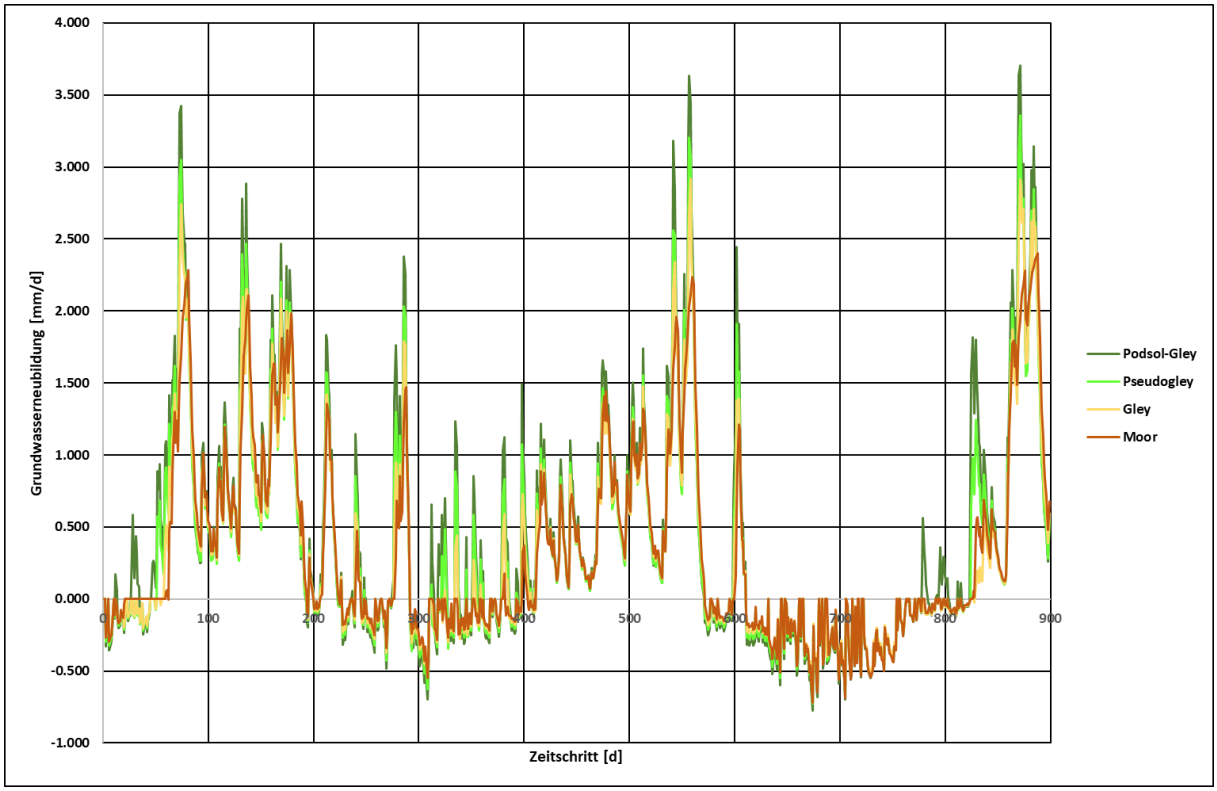


Abbildung 2-3: Grundwasserneubildung für unterschiedliche Bodenarten für den Simulationszeitraum des Grundwassermodells (von August 2020 bis Januar 2023)

2.3 Ergebnisse für die Wasserverteilung und die Abflussverhältnisse

Die Abflüsse für das Gesamtgebiet teilen sich in Oberflächenabfluss, Interflow und Basisabfluss auf. Die einzelnen Abflusskomponenten werden im Rahmen der hydrologischen Modellierung gesondert ermittelt. Abbildung 2-4 zeigt die Abflussanteile aufgeteilt und zusammengefasst zum Gesamtabfluss als 7-Tages-Mittel. Der mittlere Abfluss des Gesamtgebietes der hydrologischen Modellierung liegt bei knapp 26 l/s.

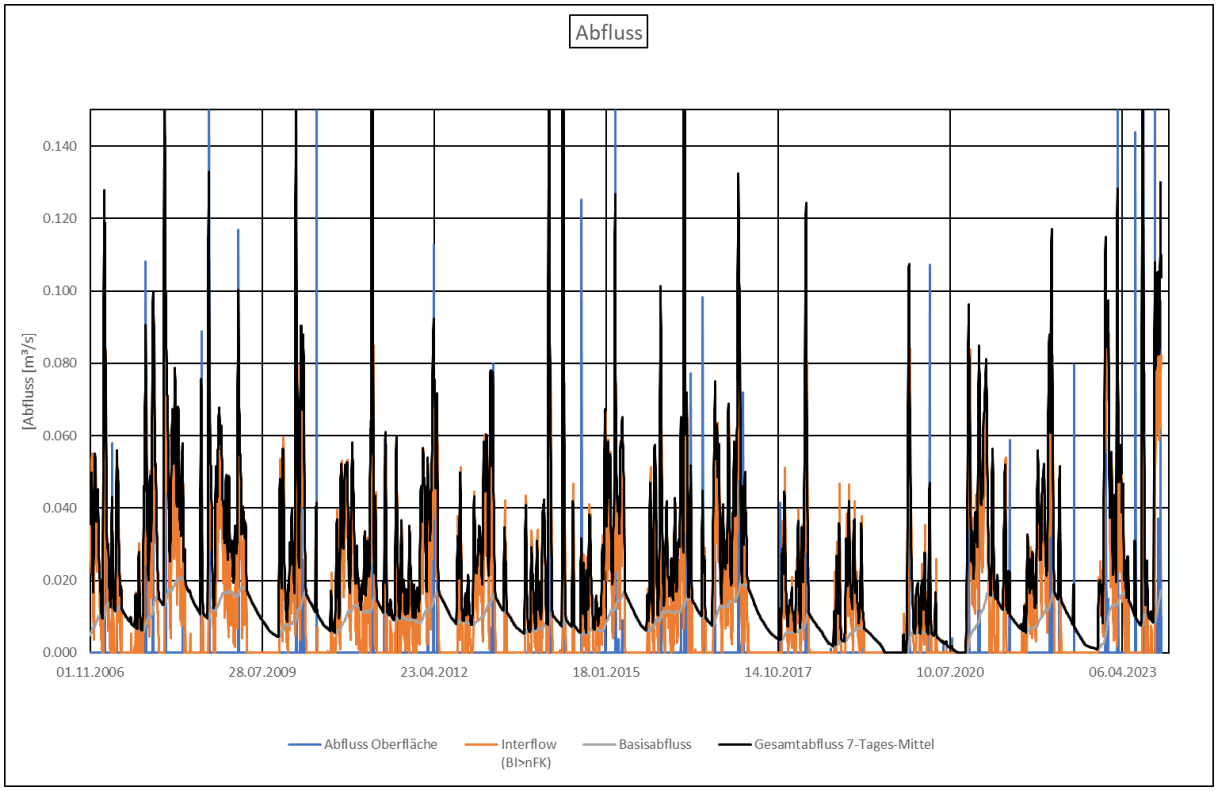


Abbildung 2-4: Die Abflusskomponenten Oberflächenabfluss, Interflow und Basisabfluss sowie 7-Tages-Mittel des Gesamtabflusses

3 Grundwassermodell

Mithilfe des Grundwassermodells werden alle relevanten Prozesse im Grundwasserleiter, im Torfkörper und den Deckschichten modelliert. Zum Modellaufbau wurde eine Vielzahl von Daten benötigt. Für die Ermittlung der Grundwasserneubildung wurde durch ProAqua ein Wasserbilanzmodell für das Untersuchungsgebiet aufgestellt (vgl. Kapitel 2).

Nachfolgend werden die Modellerstellung, die Modellkalibrierung sowie die Zielzustandsuntersuchungen und die Prognoserechnungen unter Berücksichtigung des Klimawandels beschrieben.

3.1 Datengrundlagen

Die folgende Auflistung umfasst alle für das Aufstellen des 3D-Grundwassermodells benötigten Daten. Details zur Verwendung folgen in den anschließenden Kapiteln.

Datengrundlagen:

- Geologische Daten
- Bohrprofile der niederländischen Behörden, abgerufen über https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens am 23.10.2023
- Bohrprofile des Geologischen Dienstes NRW, abgerufen über https://www.bohrungen.nrw.de/ am 25.10.2023
- Rammkernsondierungen Hofer&Pautz, bereitgestellt am 11.03.2024
- Stratigraphie Hofer&Pautz
- Digitales Geländemodell NRW 1x1 m: abgerufen über: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geobasis/hm/dgm1_tiff/
- BK50 NRW: abgerufen über: https://www.govdata.de/suchen/-/details/is-bk-50-bodenkarte-von-nrw-1-50-000-datensatz
- Gewässerstationierungskarte NRW: abgerufen über https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/wasser/oberflaechengewaesser/gsk3e/ b k
- Grundwassergleichen NRW: abgerufen über: https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/wasser/grundwasser/GW/GW-Gleichen_mittlere_2006-2015/
- Grundwassermessstellen NRW: abgerufen über: https://www.elwasweb.nrw.de
- Grundwassermessstellen NL: https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens am 23.10.2023
- Klimadaten: Zeitreihen zu Niederschlag und Verdunstung des DWD für die Station Ahaus:abgerufen über: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/daily/
- Grundwassermessstellen / Abflussmessungen bereitgestellt durch die Biologische Station Zwillbrock
- Klimaatlas NRW: https://www.klimaatlas.nrw.de

3.2 Modellaufbau

Das Grundwassermodell wurde mit der Software FEFLOW 7.1 erstellt. Das Modell ist als instationäres 3-Schicht-Modell konzipiert und umfasst ca. 330.000 Elementen pro Schicht mit einer durchschnittlichen Netzauflösung von 45 m² / Element. Im Bereich der geplanten Maßnahmen ist das Netz deutlich feiner aufgelöst (bis zu 1 m²/ Element).

3.2.1 Modellabgrenzung & Randbedingungen

Das Grundwassermodell Hündfelder Moor erstreckt sich über eine Fläche von etwa 15 km². Die Modellabgrenzung in horizontaler Ausdehnung orientiert sich im Nordosten und Nordwesten an zwei Oberflächengewässern, der Glanerbeek auf niederländischer Seite sowie dem Flörbach auf deutscher Seite. Im Norden endet das Modell am Zusammenfluss der beiden Gewässer östlich von Glaberbrug.

Im Westen und Süden orientiert sich der Modellrand an Grundwasserscheiden, abgeleitet aus Grundwassergleichen (Mittlere Grundwassergleichen NRW).

Die Modellgrenzen sind in unterschiedlicher Weise definiert. Entlang der Oberflächengewässer Glanerbeek und Flörbach sind dynamische Randbedingungen als Wasserstandsganglinien der Gewässer abgebildet. Entlang der Grenzen der Wasserscheiden ist der Durchfluss über den Modellrand als Null definiert (Definition einer Wasserscheide). Die Lage der Modellumrandungen und Randbedingungen kann Abbildung 3-1 entnommen werden.

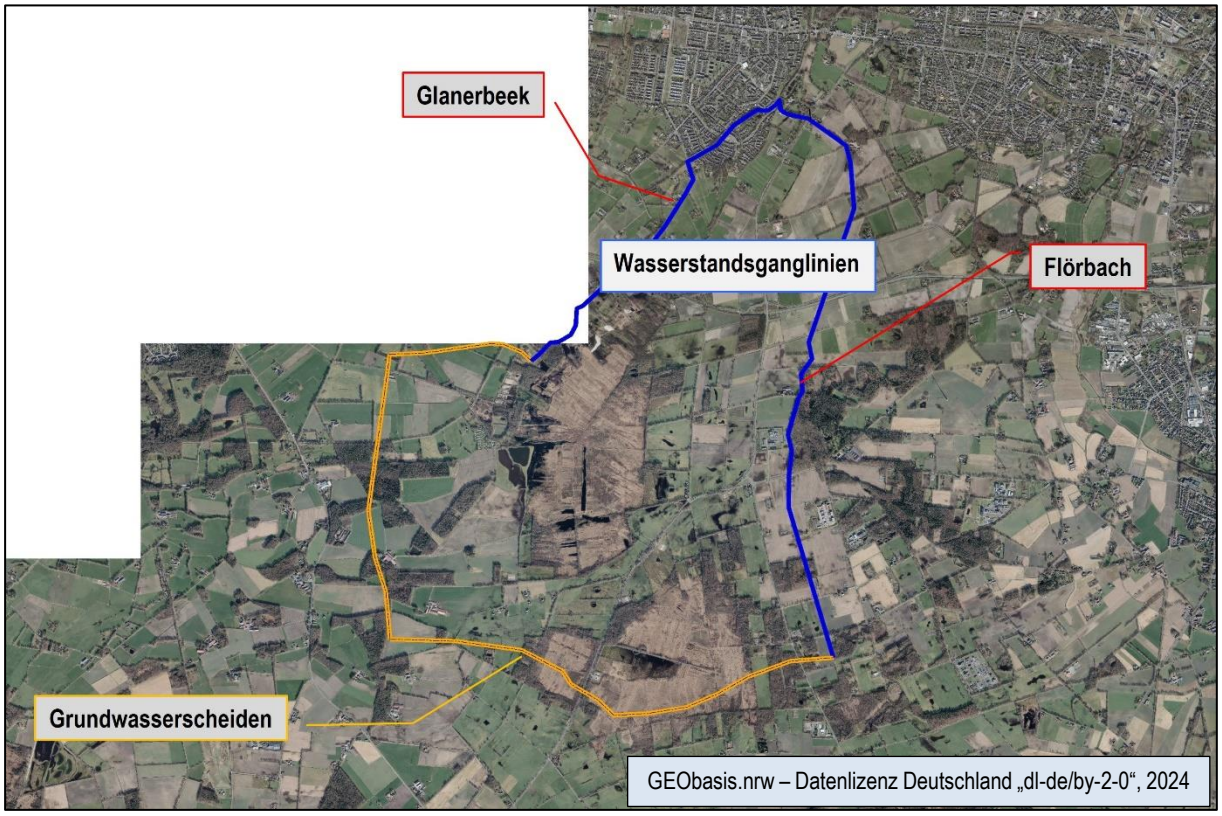


Abbildung 3-1: Modellumrandung und Bereiche unterschiedlicher Randbedingungen des GW-Modells

3.2.2 Untergrundaufbau & Bodeneigenschaften

Das Grundwassermodell ist in drei Schichten untergliedert. Die ersten beiden Schichten umfassen die oberen Deckschichten bzw. im Moorbereich unterschiedliche Torfschichten mit variabler Mächtigkeit. Die dritte Schicht umfasst den Grundwasserleiter bis zum geringleitenden Untergrund.

Der Aufbau des Untergrundes wurde aus Bohrprofilen unterschiedlicher Datenquellen abgeleitet (vgl. Kapitel 3.1). Die Lage der nachfolgend erläuterten Bohrprofile ist in Abbildung 3-2 dargestellt.

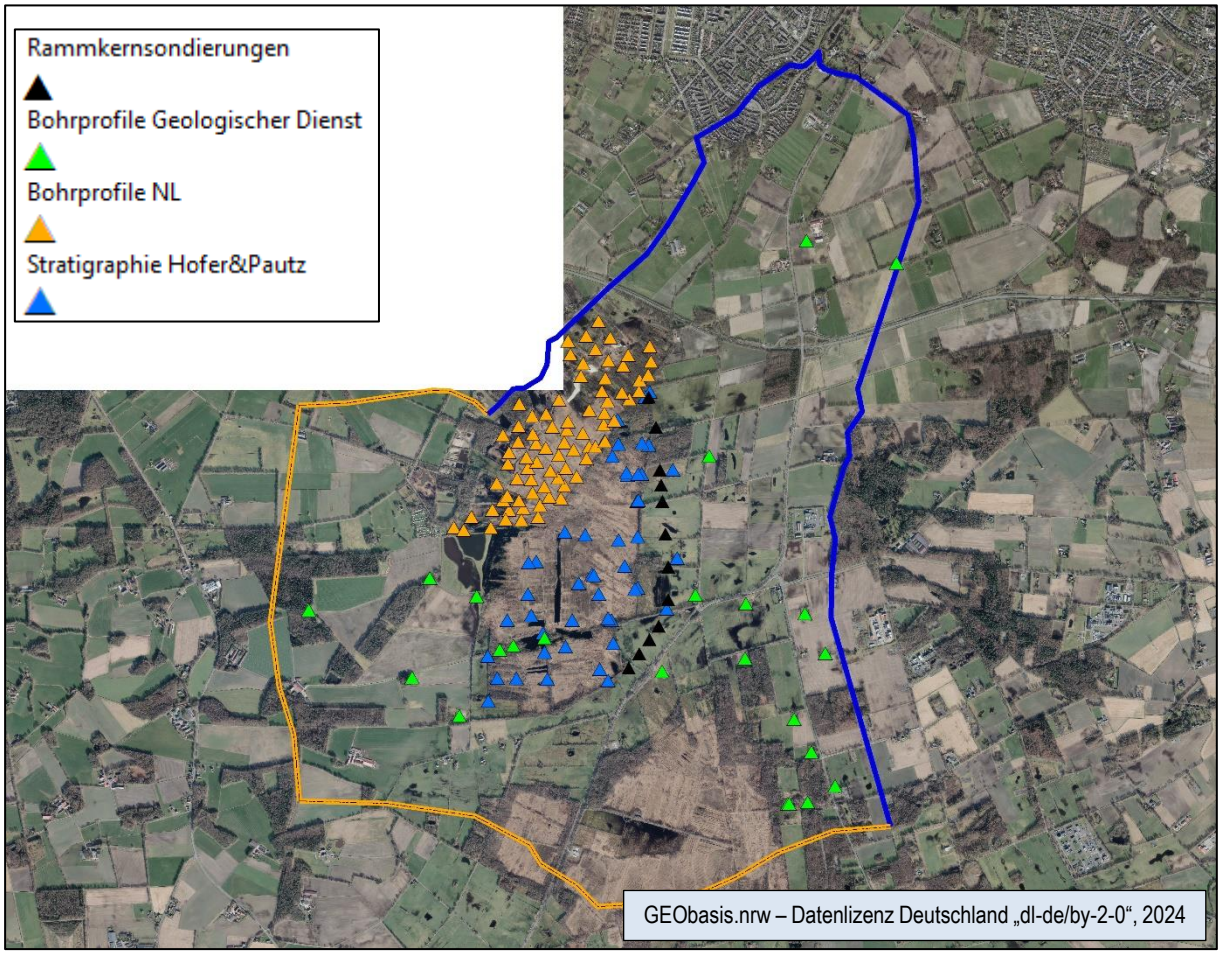


Abbildung 3-2: Lage der Bohrprofile unterschiedlicher Datenquellen

Aktuelle Rammkernsondierungen

Die Rammkernsondierungen wurden im Rahmen des aktuellen Projektes durch das Büro Hofer&Pautz (Bearbeiter Los 1) durchgeführt. Die Lage der Sondierungen orientiert sich an der geplanten Route der Untergrundabdichtung im Osten des Untersuchungsgebietes. Die Tiefe reicht bei den meisten Bohrungen bis zum geringleitenden Untergrund (Modelluntergrenze).

Bohrprofile aus der Datenbank des Geologischen Dienstes NRW

Die Datenbank des Geologischen Dienstes NRW enthält zahlreiche öffentlich verfügbare Bohrkerndaten. Die Aktualität der Daten variiert stark und auch die Auflösung der Bodenaufschlüsse reicht von sehr detailliert bis kaum differenziert. Im Untersuchungsgebiet befinden sich einige Bohrprofile, die auch weit in den Untergrund reichen, wodurch die Abgrenzung der Mächtigkeit insbesondere des Grundwasserleiters möglich ist.

Stratigraphische Untersuchungen aus niederländischer Datenbank

Die Renaturierungsplanungen im Aamsvenn Hündfelder Moor betreffen auch die niederländische Seite des Naturschutzgebietes. Im Rahmen der Vorplanungen wurden in den niederländischen Bereichen umfangreiche stratigraphische Untersuchungen durchgeführt. Die Bohrprofile reichen bis in eine Tiefe von 1,2 m und somit nicht den geringleitenden Untergrund. Auf Basis dieser Untersuchungen konnte jedoch die Mächtigkeit der Torfschichten in diesem Bereich des Moores abgebildet werden.

Eine Differenzierung in unterschiedliche Torfe erfolgte nicht.

Stratigraphische Untersuchungen im Hündfelder Moor

Die stratigraphischen Untersuchungen wurden im Rahmen des aktuellen Projektes (Los 1: Wiedervernässungsplanung) durch das Büro Hofer&Pautz durchgeführt und umfassen zahlreiche Bohrungen im Bereich des Moores, wodurch eine detaillierte Abbildung der oberen Bodenschichten möglich ist.

Die verschiedenen Torfschichten werden mit den nachfolgend angegebenen KF-Werten in das Modell integriert (vgl. Tabelle 3-1):

Tabelle 3-1: Bodeneigenschaften der verschiedenen Torftypen im Untersuchungsgebiet (Datengrundlage Hofer&Pautz, 2024)

Torftyp / Bodentyp	KF-Wert [m/s]
Rezenter Torf	$>1{,}0 * 10^{-2}$
Torfschlamm	$>1{,}0 * 10^{-2}$
Oberster Horizont	$1{,}0 * 10^{-6}$
Weißtorf	$1{,}0 * 10^{-5}$
Schwarztorf	$1{,}0 * 10^{-6} – 1{,}0 * 10^{-7}$
Niedermoortorf	$1{,}0 * 10^{-6}$
Organische Mudde	$1{,}0 * 10^{-8}$

Bodenkarte BK50

Die Bodeneigenschaften für den Oberboden (Layer 1) wurden aus (mit Ausnahme der Maßnahmenbereiche) der Bodenkarte BK50 abgeleitet. Die Bodentypen der BK50 wurden hierfür zu vier unterschiedlichen Klassen zusammengefasst und für diese Bereiche ausgewertet. Eine Übersicht der Bereiche zeigt Abbildung 3-3; eine Zusammenstellung der Bodeneigenschaften ist in Tabelle 3-2 aufgeführt.

Tabelle 3-2: Bodentypen und Eigenschaften

Bodentyp	KF-Wert [m/s]
Hochmoor	$5{,}79 * 10^{-7}$
Gley	$8{,}25 * 10^{-6}$
Pseudogley	$3{,}66 * 10^{-5}$
Podsol-Gley	$3{,}40 * 10^{-5}$

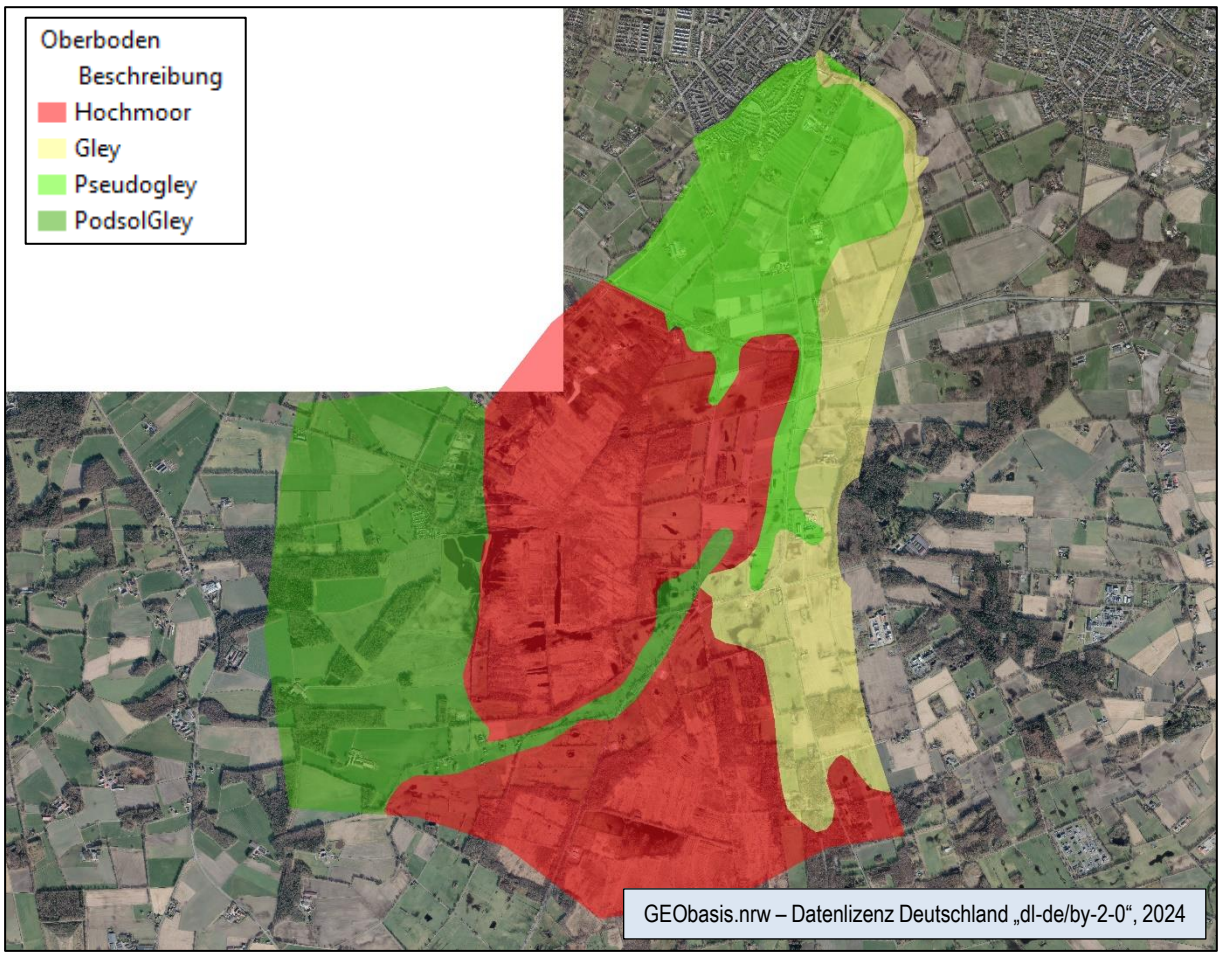


Abbildung 3-3: Verteilung der unterschiedlichen Bodentypen im gesamten Untersuchungsgebiet

3.2.3 Fließ- und Stillgewässer

Im Modellgebiet befinden sich neben den beiden Gewässern Glanerbeek und Flörbach am Modellrand noch einige weitere Fließ- und Stillgewässer. Am Rande des Maßnahmengebietes wurden an drei Gewässern Pegel eingerichtet, um das Abflussgeschehen aus dem Maßnahmengebiet zu dokumentieren.

Die Fließgewässer, welche allesamt nach Norden oder Osten in Richtung des Flörbaches entwässern, wurden im Modell abgebildet. Darüber hinaus befinden sich innerhalb des Maßnahmengebietes sowie im westlichen Zustrombereich einige Stillgewässer. Diese finden ebenfalls im Modell Berücksichtigung. Eine Übersicht aller im Modell abgebildeten Fließ- und Stillgewässer sowie der eingerichteten Pegel zeigt Abbildung 3-4.

Abbildung 3-4: Übersichtsdarstellung der im Modell implementierten Fließ- und Stillgewässer (blaue Linien und Flächen) sowie Lage der vorhandenen und geplanten Abflussmessungen (grüne Kästen = aktiv, rote Kästen = inaktiv)

3.2.4 Kalibrierung

Die Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgte anhand der Anpassung der Bodeneigenschaften (Porosität und KF-Werte) im Rahmen der in Kapitel 3.2.2 definierten Grenzen.

Durchgeführt wurde die Kalibrierung anhand von instationären Berechnungen, sodass die Grundwasserströmungsprozesse und die zeitliche Variabilität (Jahresgang) der Grundwasserstandsänderungen Berücksichtigung finden.

Als Vergleichswerte für die Modellergebnisse wurden Grundwasserstandsmessungen der Biologischen Station Zwillbrock zugrunde gelegt. Diese Grundwassermessstellen wurden im Rahmen der Vorplanungen für die Wiedervernässungsplanungen im Hündfelder Moor errichtet und zeichnen seit August 2020 den Grundwassergang an sieben Messstellen auf. Die Messstellen sind im Maßnahmengebiet sowie im direkten Umfeld verteilt (vgl. Abbildung 3-5).

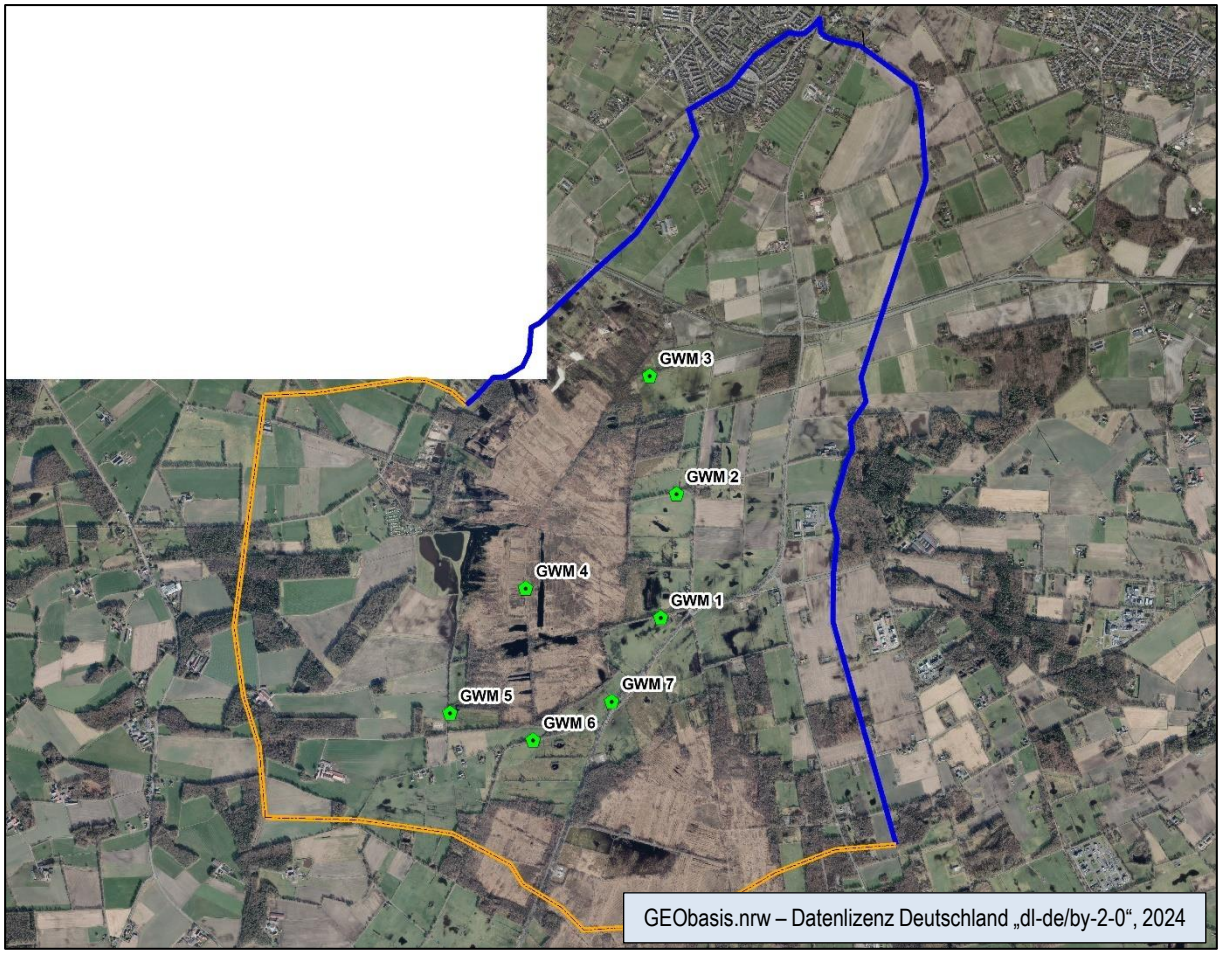


Abbildung 3-5: Lage der Grundwassermessstellen der Biologischen Station Zwillbrock

Der Simulationszeitraum erstreckt sich über knapp 3 Jahre (August 2020 bis Januar 2023) und orientiert sich dabei an der Verfügbarkeit der Grundwasserstandsmessungen.

Die Ergebnisse der Kalibrierung als Vergleich von gemessenen mit berechneten Grundwasserstandsganglinien sind in der folgenden Abbildung 3-6 und Abbildung 3-7 dargestellt.

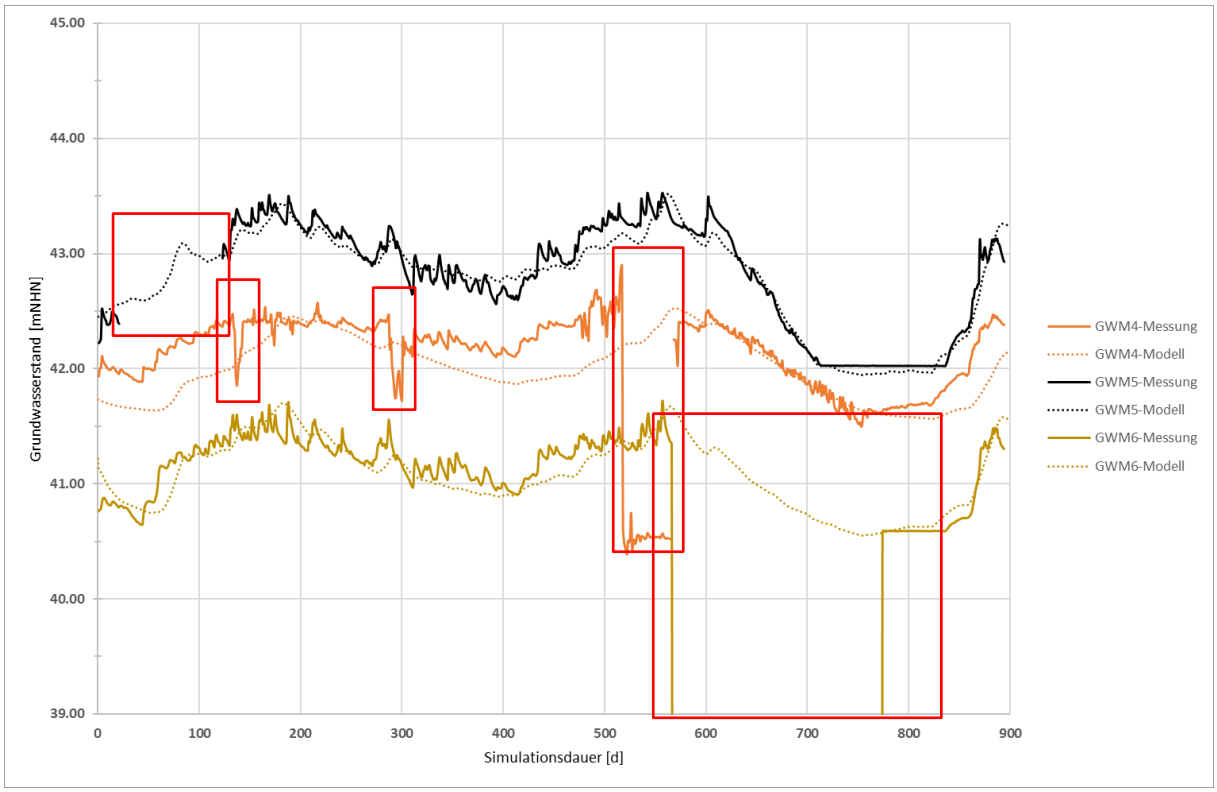


Abbildung 3-6: Vergleich von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien für den Zeitraum August 2020 bis Januar 2023 an den Messstellen 4, 5 und 6 (Fehlstellen in den Zeitreihen sind rot markiert)

Abbildung 3-6 zeigt die Ergebnisse der Modellierung im Vergleich mit den tatsächlich gemessenen Werten für die Messstellen 4, 5 und 6. Die gemessenen Werte weisen bei allen drei Messstellen Lücken und fehlerhafte Werte auf, welche nicht für den Vergleich herangezogen werden können.

Abbildung 3-7 zeigt die Ergebnisse der Modellierung im Vergleich mit den tatsächlich gemessenen Werten für die Messstellen 1, 2, 3 und 7. Nur die Zeitreihe der Messstelle 2 zeigt eine große Lücke und Unstimmigkeiten zu Beginn der Aufzeichnung. Die restlichen Messstellen sind durchgängig und erscheinen plausibel.

Neben der visuellen Prüfung der Ganglinien aus Messung und Modellierung wurde die Übereinstimmung der Ganglinien mathematisch überprüft.

Tabelle 3-3 zeigt eine Zusammenstellung der Ergebnisse der Ganglinien-Analyse. Zunächst wurden die Mittelwerte der Mess- und Modellwerte miteinander verglichen und die Abweichungen dokumentiert. Darüber hinaus wurde das Bestimmtheitsmaß R^2 ermittelt. Das Bestimmtheitsmaß R^2 erlaubt eine Aussage darüber, wie gut die Anpassungsgüte des Modells ist, wobei die Werte zwischen 0 und 1 liegen können. Ein Wert von 1 beschreibt dabei eine exakte Übereinstimmung von Modell und Messwert, Ein Wert von 0 hingegen, dass überhaupt keine Übereinstimmung vorliegt.

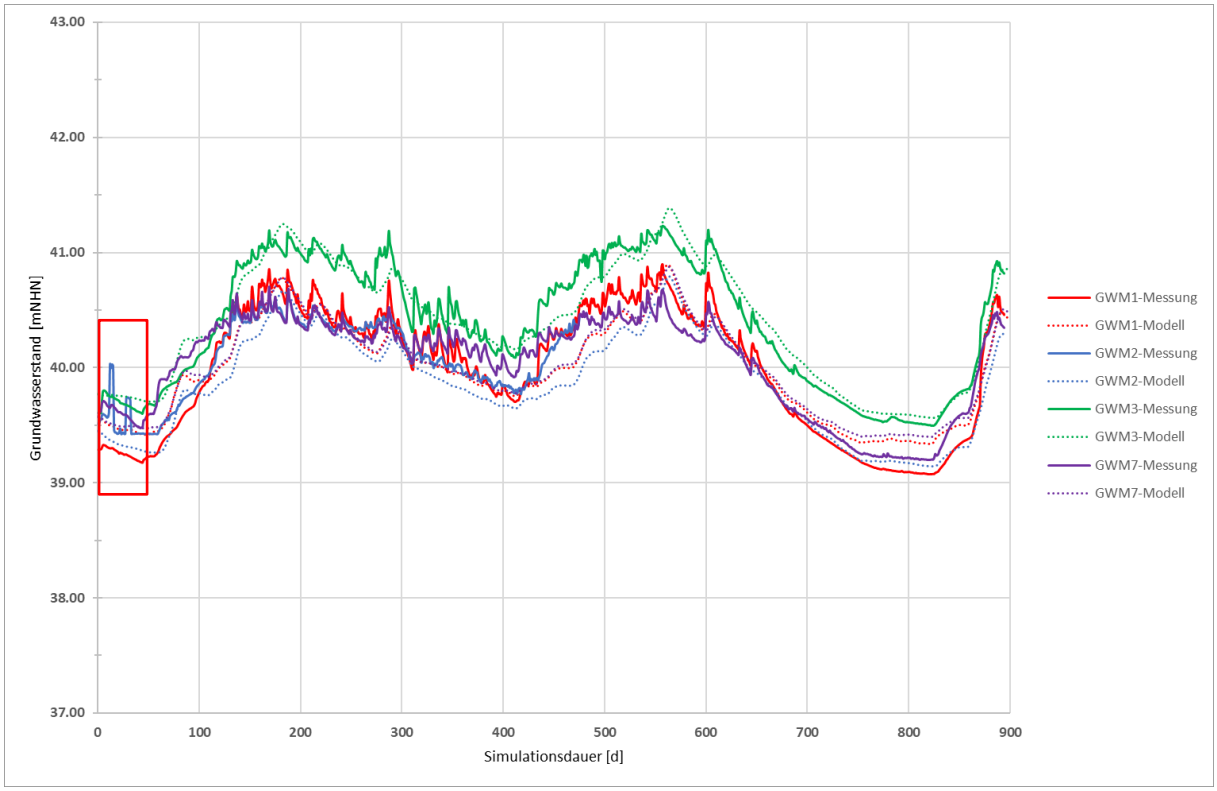


Abbildung 3-7: Vergleich von gemessenen und berechneten Grundwasserstandsganglinien für den Zeitraum August 2020 bis Januar 2023 an den Messstellen 1 -3 und 7 (Fehlstellen in den Zeitreihen sind rot markiert)

Tabelle 3-3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Ganglinien-Analyse

GW-MST	Mittelwert Messung [mNHN]	Mittelwert Modell [mNHN]	Abweichung [m]	Bestimmtheitsmaß R^2 [-]
GWM1	39,99	39,98	0,01	0,92
GWM2	39,96	39,86	0,10	0,82
GWM3	40,39	40,39	0,00	0,94
GWM4	42,17	41,97	0,20	0,60
GWM5	42,81	42,78	0,03	0,95
GWM6	41,15	41,20	-0,05	0,78
GWM7	40,04	40,01	0,03	0,80

Für die plausiblen Zeiträume (in Bezug auf die Messwerte; rot markierte Bereiche in den Abbildung 3-6 und Abbildung 3-7 werden bei der Betrachtung nicht berücksichtigt, da die Messwerte fehlerhaft sind) können für alle Messstellen gute Übereinstimmungen zwischen gemessenen und berechneten Werten erzielt werden. Bei Betrachtung des Bestimmtheitsmaßes werden die besten Ergebnisse bei der Kalibrierung für die Messstellen GWM5, GWM3

und GWM1 erreicht, mit einem R^2 von jeweils deutlich über 0,9. Auch die Abweichungen der Mittelwerte von Messungen und Berechnungsergebnissen sind bei diesen drei Messstellen ausgesprochen gut.

Die Messstelle GWM4 erreicht die geringsten Übereinstimmungswerte mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,6 und einer mittleren Abweichung von 0,2 m. Dies ist jedoch auch die Messstelle mit den meisten Datenlücken bzw. Fehlwerten; weitere nicht offensichtliche Fehler bei den hier erfassten Daten sind daher nicht auszuschließen.

In der Gesamtbetrachtung aller untersuchten Messstellen zeigen die Modellwerte eine sehr gute Übereinstimmung mit den Messwerten, sodass das erstellte Grundwassermodell für die Prognoseberechnungen für Zielzustand und Klimawandelszenarien genutzt werden kann.

3.3 Istzustand

Das Hündfelder Moor ist Teil des Grundwasserkörpers 928_11: Tertiär und Grundmoräne von Enschede. Der Grundwasserkörper zeichnet sich durch seine geringe Mächtigkeit (etwa 3 bis 8 m) aus. Er wird unterlagert von mehreren hundert Metern mächtigen Lehm- und Tonschichten, welche als Begrenzung der Grundwassermodellierung angesetzt wurden.

Der Oberboden besteht zu großen Teilen aus Hochmoorböden sowie Gley und Podsol-Böden. Die Grundwasserflurabstände sind in großen Teilen gering bis sehr gering.

Die Grundwasserströmung verläuft überwiegend von West nach Ost, östlich des Hündfelder Moores biegt die GW-Strömung in Richtung Nordost ab. Abbildung 3-8 zeigt eine Übersichtskarte der Hauptgrundwasserströmungen und Grundwassergleichen bei mittleren Verhältnissen.

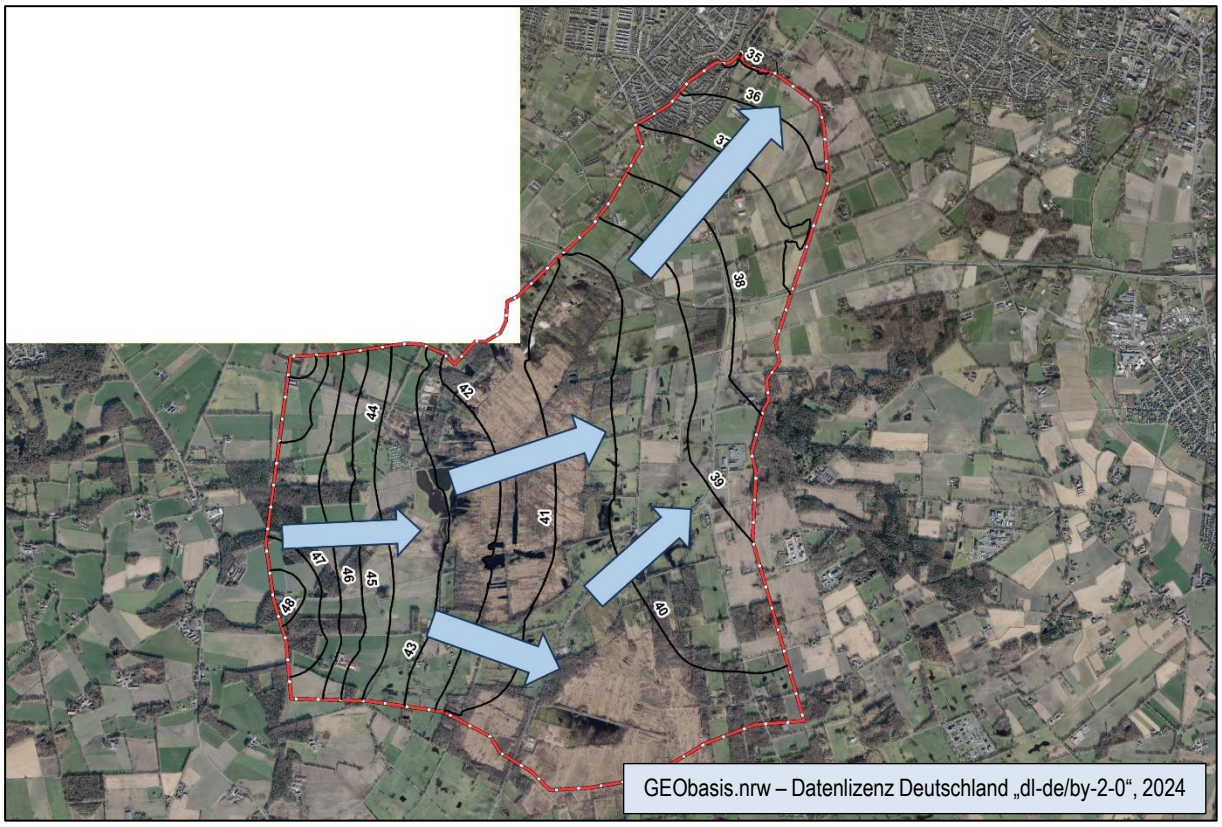


Abbildung 3-8: Grundwassergleichen bei mittleren Verhältnissen (schwarz) und (Haupt-) Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet

Der Grundwasserflurabstand zeigt den Abstand zwischen Geländeoberkante und der Oberfläche des Grundwassers. Für mittlere Grundwasserverhältnisse ist der Flurabstand in Abbildung 3-9 abgebildet. Es wird deutlich, dass der Flurabstand zwischen etwa 3 m bis 0,1 m schwankt. Im östlichen sowie nordöstlichen Bereich der Seeflächen liegt er teilweise bei null, d.h. der Grundwasserstand liegt in diesen Bereichen auf Geländeniveau.

Insbesondere im Maßnahmenbereich in Bereichen der höheren Kompartimente (im Zielzustand) werden Flurabstände von 1,5 m bis 2,5 m erreicht.

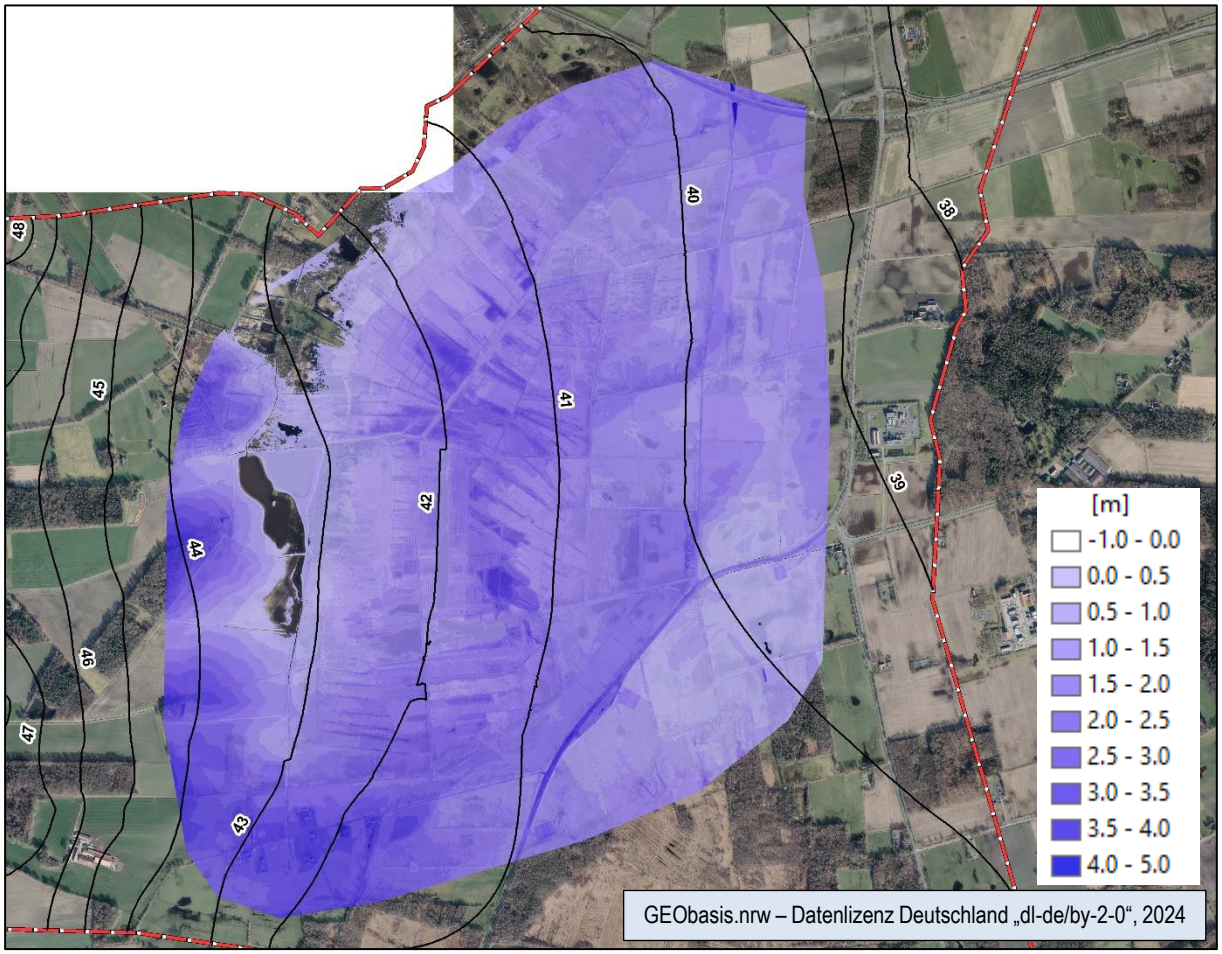


Abbildung 3-9: Grundwasserflurabstand im Untersuchungsgebiet bei mittleren Verhältnissen

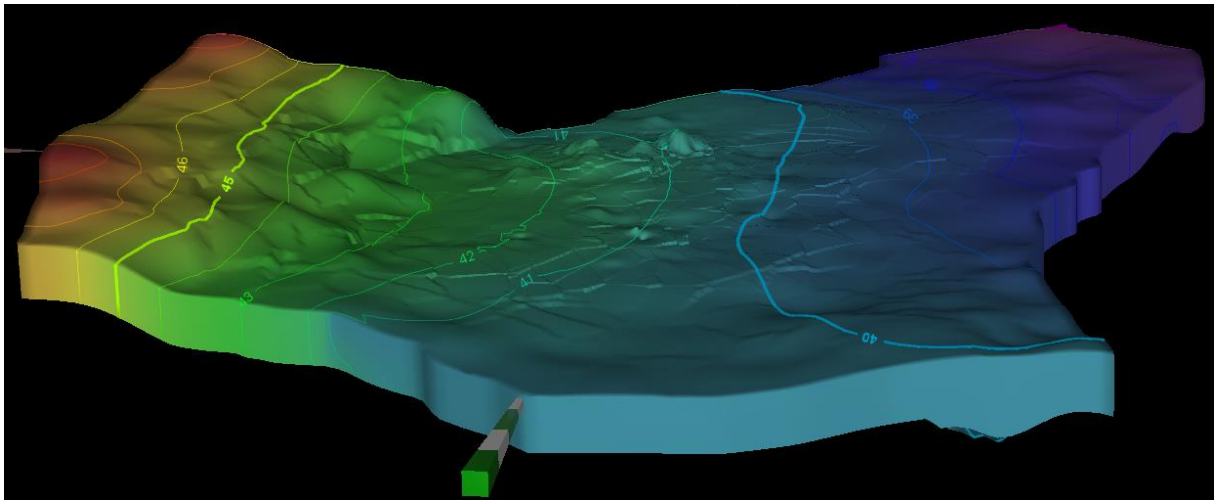


Abbildung 3-10: 3D-Darstellung des Grundwassermodells im Istzustand bei mittleren Verhältnissen (50-fach überhöht)

Abbildung 3-10 zeigt eine 3D-Darstellung des Grundwassermodells im Istzustand bei mittleren Verhältnissen.

Modellkennzahlen

Das Grundwassermodell wurde mit der Software FEFLOW 7.1 erstellt. Das Modell ist als instationäres 3-Schicht-Modell konzipiert mit ca. 330.000 Elementen pro Schicht und einer durchschnittlichen Netzauflösung von 45 m² / Element. Im Bereich der geplanten Maßnahmen ist das Netz deutlich feiner aufgelöst (bis zu 1 m²/ Element). Abbildung 3-11 zeigt eine Darstellung des Modellnetzes und der Netzverfeinerung im Bereich der geplanten Maßnahmen.

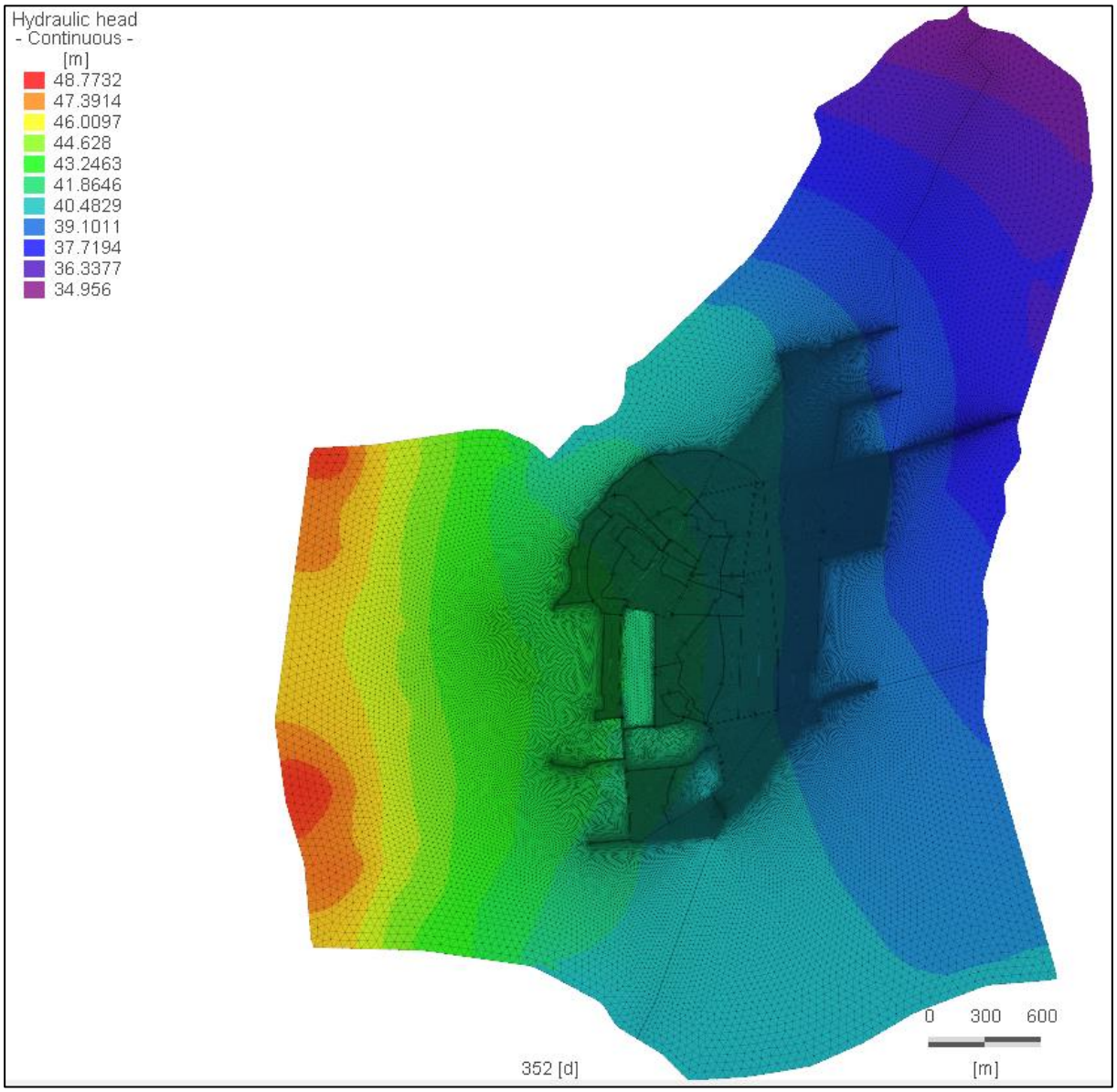


Abbildung 3-11: Darstellung des 3D-Grundwassermodells mit Netzstruktur bei mittleren Verhältnissen

4 Wasserverteilung, Versickerung und Starkregen

4.1 Wasserverteilung und Dimensionierung

Zur Dimensionierung der Wasserverteilung ist es zunächst erforderlich, dass die anfallenden Wassermengen im Gebiet möglichst genau bekannt sind. Die im Gebiet im Vorfeld der Untersuchung zu diesem Zwecke installierten Wasserstandsmessstellen zeigen ein etwas undurchsichtiges Bild. Eine wirkliche Belastbarkeit der Messstellen scheint nicht gegeben.

Um dennoch die Wassermengen abschätzen zu können, wurde daher auf das zuvor erstellte Wasserbilanzmodell zurückgegriffen (vgl. Kapitel 2). Zur Berechnung des Wasserdargebots jedes einzelnen Kompartiments wurde ein topologisches Modell des Planungsraumes erstellt. Dieses ermöglicht die Berechnung aller Zu- und abströmenden Wassermengen.

Der Planungsraum wurde hierfür in unterschiedliche Einzugsgebiete eingeteilt, bestehend aus einer Vielzahl von Kompartimenten. Jedes Einzugsgebiet entwässert über einen gemeinsamen Punkt in Richtung der Versickerungsbereiche. Durch die Überleitungen zwischen den Kompartimenten nimmt die Einzugsgebietsgröße und der korrespondierende Abfluss im Verlauf in Richtung Versickerungsbereiche zu. Das maximale Einzugsgebiet und somit der maximale Abfluss werden am unteren Ende der Kaskade erreicht.

Das Modell hat somit den Vorteil, dass an jedem Ablauf der Abfluss bekannt ist und somit der benötigte Durchmesser für den Überlauf bestimmt werden kann. Die mittlere Abflussspende zur Berechnung der Rohrdurchmesser wurde mithilfe des Wasserbilanzmodells zu 9,3 l/s*km² ermittelt. (vgl. Kapitel 2.3)

Zur Dimensionierung der erforderlichen Rohrleitungen als Überleitungen zwischen den einzelnen Poldern wurden zunächst für die Nennweiten DN100, DN200 und DN300 die Vollfüllungsleistungen bei unterschiedlichen Rohrneigungen ermittelt. Diese dienten im weiteren Verlauf zur Wahl der mindestens erforderlichen Rohrdurchmesser. Zur Berechnung der Vollfüllungsleistungen wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Rohrrauheit kn: 10 [mm]
- Zuflussgeschwindigkeit: 0,0 [m/s]
- Summe von Ein- und Austrittverlusten: 1,5
- Länge der Rohrleitung: 20 [m]

Die folgende Tabelle 4-1 zeigt die Zusammenstellung der Vollfüllungsleistung verschiedener Nennweiten in Kombination mit unterschiedlichen Rohrleitungsgefällen.

Tabelle 4-1: Zusammenstellung der Vollfüllungsleistung verschiedener Nennweiten in l/s

Zusammenstellung der Vollfüllungsleistung verschiedener Nennweiten [l/s]					
Nennweite DN	Rohrleitungsgefälle [%]				
	0.5	1	1.5	2	2.5
100	2.00	3.30	4.00	4.60	5.10
200	14.20	20.00	24.50	28.30	31.70
300	38.90	55.00	67.30	77.80	86.90
400	108.00	153.00	187.00	216.00	241.00

Da der Wasserstand über die vorgelagerten Bauwerke geregelt wird und die Rohrleitungen nicht als Drossel dienen, ist eine genaue Dimensionierung nicht erforderlich. Eine größere Rohrleitung ist wartungsärmer, darüber hinaus kann im Bedarfsfall bei größerem Rohrdurchmesser schneller Wasser aus einzelnen Poldern abgeleitet werden. Daher entspricht die gewählte Nennweite immer einer größeren Nennweite als die rechnerisch ermittelte.

Als Regelungsbauwerke sind analog zu dem Vorgehen auf niederländischer Seite KOPKOS Überlaufbauwerke vorgesehen. Abbildung 4-1 zeigt einen Screenshot eines solchen Bauwerks.

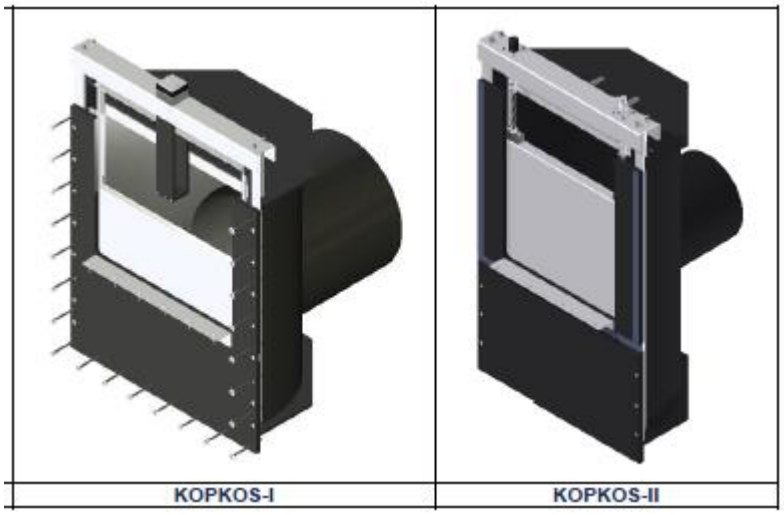


Abbildung 4-1: Verschiedene Ausführungen der KOPKOS-Überlaufbecken, Screenshot aus Produktblatt: KWT Overflow well, V2.11, mrt 2021)

Während der Bauphasen ist geplant, zunächst nur die Rohrleitungen innerhalb der neu angelegten Dämme zu verlegen und damit einen Grundablass sicherzustellen. Im Rahmen der weiteren Bauausführung werden dann nach Fertigstellung der Dammtrassen die KOPKOS-Überlaufbecken installiert. So kann sichergestellt werden, dass einerseits die Grundablässe während der Bauphasen niedrig genug eingesetzt werden können und andererseits aber die Überlaufbauwerke nicht zu niedrig eingebaut werden müssen.

Die in Abbildung 4-1 gezeigten Bauwerke gibt es in unterschiedlichen Ausführungen. Alle Ausführungen sind mit den gewählten Rohrleitungsdurchmessern kompatibel und verfügen über ausreichend dimensionierte Überläufe zur Wasserabführung sowohl bei Mittelwasser als auch bei Starkregenverhältnissen. Im Rahmen der

Ausführungsplanung sollte darauf geachtet werden, dass der Zielwasserstand bei mittlerer Wehrstellung erreicht wird. So kann gewährleistet werden, dass sowohl eine Erhöhung als auch eine Absenkung des Stauziels erreicht werden kann.

Zur Erreichung einer maximalen Flexibilität bei der zukünftigen Steuerung der Bauwerke wird empfohlen, die Ausführung KOPKOS-II 1.000 bei allen Überläufen einzusetzen. Diese verfügt mit 1.000 mm über die größte Spannweite zur Regulierung der Schieberplatte und somit zur größtmöglichen Flexibilität bei später ggf. erforderlichen Anpassungen von Stauzielen.

Abbildung 4-2 zeigt die in Einzugsgebiet 1 enthaltenen Polder im Norden des Maßnahmenbereichs.

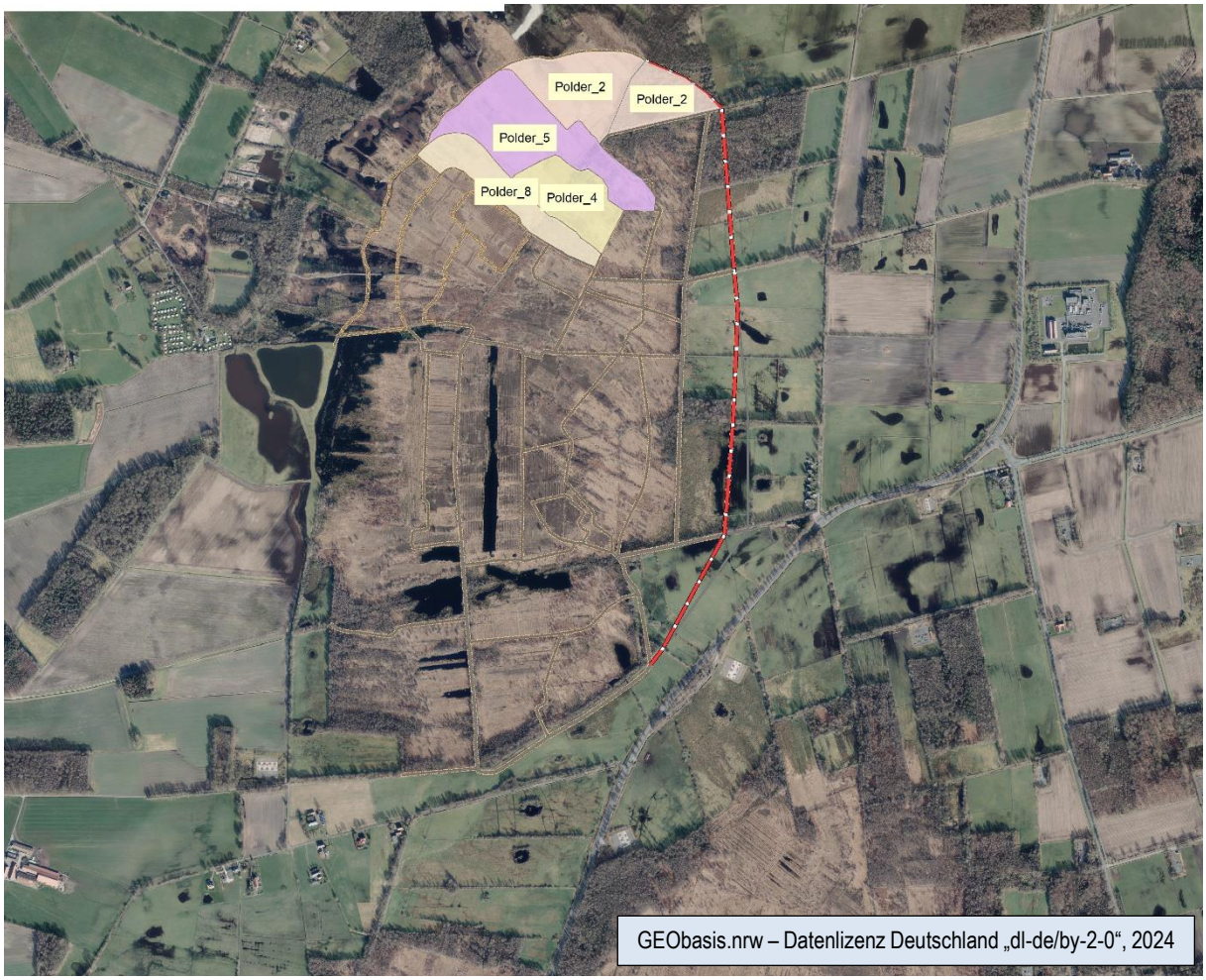


Abbildung 4-2: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 1 gemeinsam über den nördlichen Rand in Versickerungsbereich 1 entwässern

In Tabelle 4-2 sind die Abflussmengen, Poldergrößen und Nennweiten der Überläufe für Einzugsgebiet 1 zusammengestellt.

Tabelle 4-2: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 1

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Gesamt-Abfluss	Stauziel	Gefälle	Nennweite DN	
			MQ	MQ		MQ			Rechnerisch erforderlich	Gewählt
		[m²]	[l/s*km²]	[l/s]	[m²]	[l/s]	[mNHN]	[%]	[DN]	[DN]
Polder_8	Polder_5	46 417	9.30	0.43	46 417	0.43	43.00	2.50%	100	200
Polder_4	Polder_5	45 018	9.30	0.42	45 018	0.42	42.70	1.00%	100	200
Polder_5	Polder_2	91 621	9.30	0.85	183 056	1.70	42.50	2.50%	100	200
Polder_2	Versickerungs-Bereich_1	92 803	9.30	0.86	275 859	2.57	42.00	0.50%	200	300
	Summe	**275 859**		**2.57**						

Polder_2 liegt am Auslauf von Einzugsgebiet 1. In diesem Polder stellt sich ein mittlerer Gesamtabfluss von etwa 2,6 l/s ein. Bei einem Gefälle der Rohrleitung von 0,5 % ist hier ein DN200 rechnerisch erforderlich. Um sicherzugehen, dass auch im Falle von Verschmutzungen und Ablagerungen ausreichend Wasser aus dem Polder in Richtung Versickerungsfläche abgeführt werden kann, wurde eine Mindest-Nennweite von DN300 gewählt.

Abbildung 4-3 zeigt die in Einzugsgebiet 2 enthaltenen Polder.

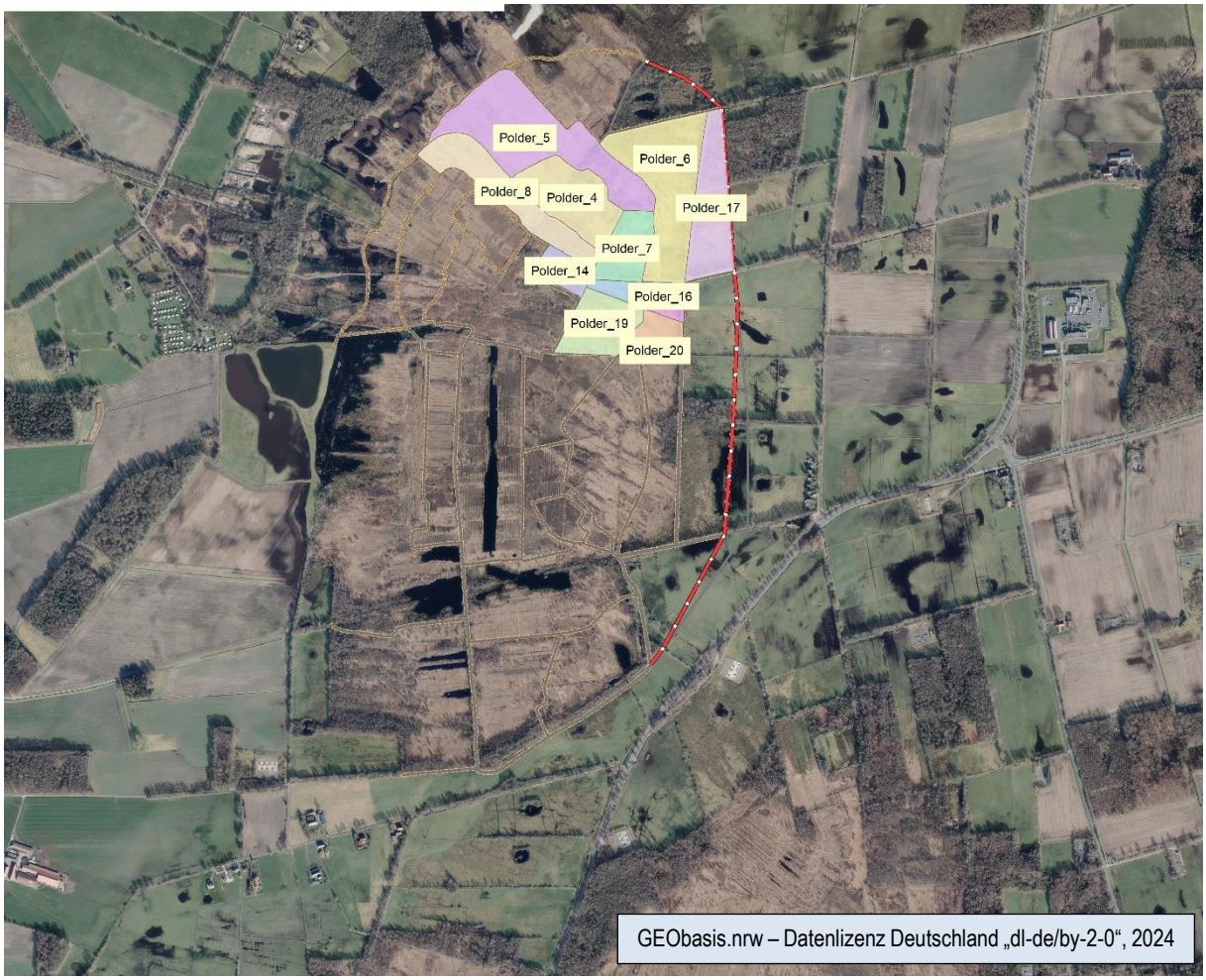


Abbildung 4-3: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 2 gemeinsam über den östlichen Rand in Versickerungsbereich 2 entwässern

In Tabelle 4-3 sind die Abflussmengen, Poldergrößen und Nennweiten der Überläufe für Einzugsgebiet 2 zusammengestellt.

Tabelle 4-3: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 2

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Gesamt-Abfluss	Stauziel	Gefälle	Nennweite DN	
			MQ		MQ			Rechnerisch erforderlich	Gewählt
		[m²]	[l/s]	[m²]	[l/s]	[mNHN]	[%]	[DN]	[DN]
Polder_13	Polder_19	91 144	0.85	91 144	0.85	43.75	2.00%	100	200
Polder_19	Polder_20	32 090	0.30	123 234	1.15	43.35	3.25%	100	200
Polder_20	Polder_16	17 434	0.16	140 668	1.31	42.70	1.25%	100	200
Polder_14	Polder_15	14 926	0.14	14 926	0.14	43.20	1.25%	100	200
Polder_15	Polder_16	7 945	0.07	22 871	0.21	42.95	2.50%	100	200
Polder_16	Polder_6	11 290	0.10	174 829	1.63	42.45	1.25%	100	200
Polder_7	Polder_6	25 302	0.24	25 302	0.24	42.65	2.25%	100	200
Polder_8	Polder_4	12 148	0.11	12 148	0.11	43.00	1.50%	100	200
Polder_4	Polder_5	45 018	0.42	57 166	0.53	42.70	1.00%	100	200
Polder_5	Polder_6	19 414	0.18	76 580	0.71	42.50	1.50%	100	200
Polder_6	Polder_17	75 310	0.70	352 021	3.27	42.20	0.50%	200	300
Polder_17	Versickerungs-Bereich 2	44 617	0.41	396 638	3.69	42.10	1.00%	200	300
	Summe	**396 638**	**3.27**						

Polder_17 liegt am Auslauf von Einzugsgebiet 2. In diesem Polder stellt sich ein mittlerer Gesamtabfluss von etwa 3,7 l/s ein. Bei einem Gefälle der Rohrleitung von 1,0 % ist hier ein DN200 rechnerisch erforderlich. Um sicherzugehen, dass auch im Falle von Verschmutzungen und Ablagerungen ausreichend Wasser aus dem Polder in Richtung Versickerungsfläche abgeführt werden kann, wurde eine Mindest-Nennweite von DN300 gewählt.

Abbildung 4-4 zeigt die in Einzugsgebiet 3 enthaltenen Polder.

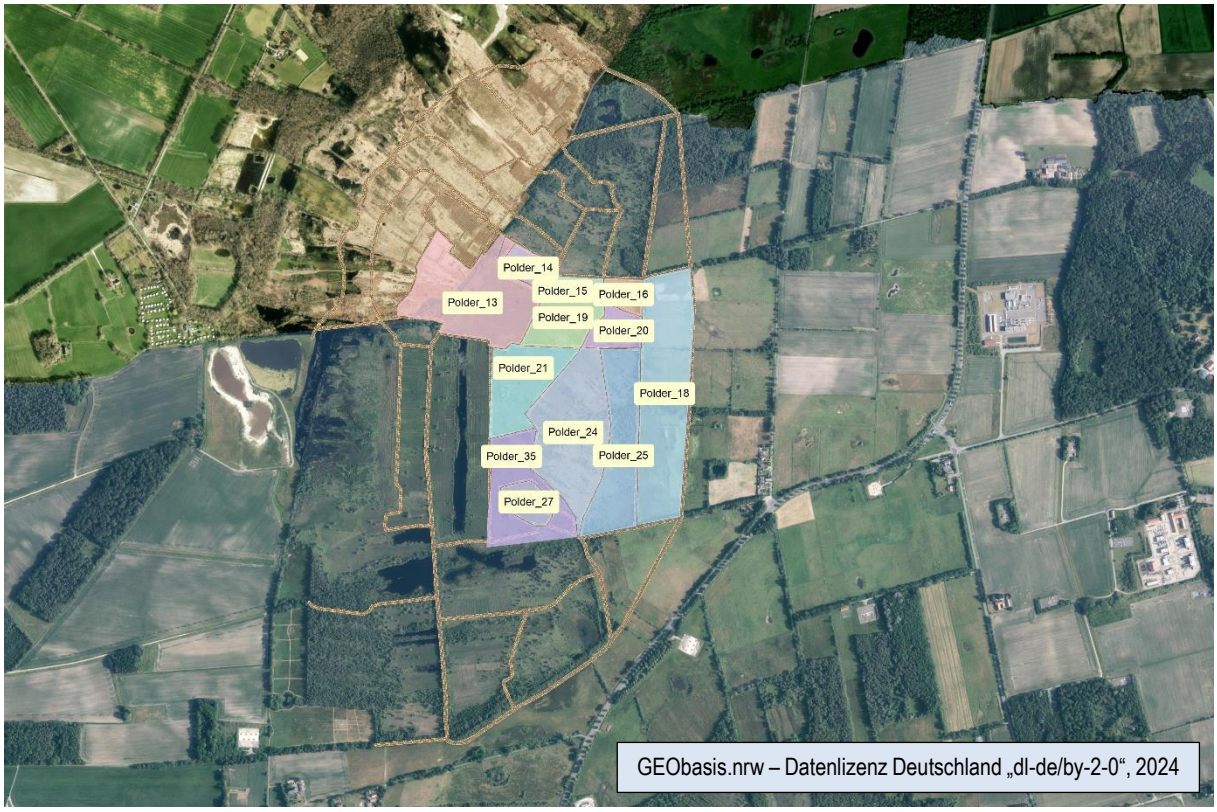


Abbildung 4-4: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 3 gemeinsam über den östlichen Rand in Versickerungsbereich 3 entwässern

In Tabelle 4-4 sind die Abflussmengen, Poldergrößen und Nennweiten der Überläufe für Einzugsgebiet 3 zusammengestellt.

Polder_18 liegt am Auslauf von Einzugsgebiet 3. In diesem Polder stellt sich ein mittlerer Gesamtabfluss von etwa 4,1 l/s ein. Bei einem Gefälle der Rohrleitung von 1,0 % ist hier ein DN100 rechnerisch erforderlich. Um sicherzugehen, dass auch im Falle von Verschmutzungen und Ablagerungen ausreichend Wasser aus dem Polder in Richtung Versickerungsfläche abgeführt werden kann, wurde eine erforderliche Mindest-Nennweite von DN200 festgelegt.

Tabelle 4-4: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 3

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Gesamtabfluss	Stauziel	Gefälle	Nennweite DN	
			MQ	MQ		MQ			Rechnerisch erforderlich	Gewählt
		[m²]	[l/s*km²]	[l/s]	[m²]	[l/s]	[mNHN]	[%]	[DN]	[DN]
Polder_13	Polder_19	91 144	9.30	0.85	91 144	0.85	43.75	2.00%	100	200
Polder_19	Polder_20	32 090	9.30	0.30	123 234	1.15	43.35	3.25%	100	200
Polder_20	Polder_18	17 434	9.30	0.16	140 668	1.31	42.70	1.25%	100	200
Polder_14	Polder_15	14 926	9.30	0.14	14 926	0.14	43.20	1.25%	100	200
Polder_15	Polder_16	7 945	9.30	0.07	22 871	0.21	42.95	2.50%	100	200
Polder_16	Polder_18	11 290	9.30	0.10	34 161	0.32	42.45	1.75%	100	200
Polder_21	Polder_24	46 921	9.30	0.44	111 644	1.04	43.25	4.00%	100	200
Polder_24	Polder_25	87 040	9.30	0.81	198 684	1.85	42.45	1.25%	100	200
Polder_25	Polder_18	64 273	9.30	0.60	262 957	2.45	42.20	0.50%	100	200
Polder_27	Polder_35	14 280	9.30	0.13	14 280	0.13	44.35	5.50%	100	200
Polder_35	Polder_21	50 443	9.30	0.47	64 723	0.60	43.45	1.00%	100	200
Polder_18	Versickerungs-Bereich 3	111 058	9.30	1.03	548 844	5.10	42.10	1.00%	100	200
	Summe	**548 844**		**4.07**						

Abbildung 4-5 zeigt die in Einzugsgebiet 4 enthaltenen Polder.

Abbildung 4-5: Polderflächen, welche zusammengefasst zu Einzugsgebiet 4 gemeinsam über den östlichen Rand in den südlichen Ablaufgraben entwässern

Tabelle 4-5: Zusammenstellung der Abflussmengen, EZG und TEZG-Flächen sowie Gefälle und Durchmesser der erforderlichen Rohrleitungen für Einzugsgebiet 4

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Gesamtabfluss	Stauziel	Gefälle	Nennweite DN	
			MQ	MQ		MQ			Rechnerisch erforderlich	Gewählt
		[m²]	[l/s*km²]	[l/s]	[m²]	[l/s]	[mNHN]	[%]	[DN]	[DN]
Polder_23	Polder_22	59 472	9.30	0.55	59 472	0.55	43.35	1.00%	100	200
Polder_22	Polder_28	115 517	9.30	1.07	174 989	1.63	43.15	1.25%	100	200
Polder_32	Polder_28	267 100	9.30	2.48	267 100	2.48	43.20	1.50%	100	200
Polder_28	Polder_29	93 423	9.30	0.87	535 512	4.98	42.90	1.00%	200	300
Polder_33	Polder_31	147 954	9.30	1.38	147 954	1.38	43.70	2.75%	100	200
Polder_31	Polder_30	77 978	9.30	0.73	225 932	2.10	43.15	2.25%	100	200
Polder_30	Ablaufgraben	52 986	9.30	0.49	278 918	2.59	42.70	1.00%	200	300
	Summe	**814 430**		**7.57**						

Polder_30 liegt am Auslauf von Einzugsgebiet 4. In diesem Polder stellt sich ein mittlerer Gesamtabfluss von etwa 7,6 l/s ein. Bei einem Gefälle der Rohrleitung von 1,0 % ist hier ein DN200 rechnerisch erforderlich. Um sicherzugehen, dass auch im Falle von Verschmutzungen und Ablagerungen ausreichend Wasser aus dem Polder in Richtung Versickerungsfläche abgeführt werden kann, wurde eine erforderliche Mindest-Nennweite von DN300 festgelegt.

Für jeden Polder und Stillwasserbereiche wurden die rechnerisch erforderlichen Mindestdurchmesser ermittelt und die aus planerischer Sicht erforderlichen Mindestdurchmesser zur sicheren Abführung der anfallenden Wassermengen unter Berücksichtigung von Verklausungen.

Stauziel-Management

Im Rahmen der Gebietsbetreuung ist es möglich, dass im Laufe der Zeit Anpassungen am Wasserstands- bzw. Stauziel-Management erforderlich werden. Bei notwendigen Anpassungen ist immer darauf zu achten, dass die Stauziele und daraus resultierenden Abflussrichtungen immer im Gesamtsystem betrachtet und angepasst werden, da es sonst zu Änderungen im Abflussgeschehen bzw. der Abflussaufteilung im Unterstrom kommen kann.

Das Bedeutet, dass bei Stauzielanpassungen diese so vorgenommen werden müssen, dass die ursprünglichen Abflussrichtungen (nachfolgende Polder und Stillwasserbereiche) erhalten bleiben.

Wasserverteilung während der Bauphasen

Die Bauausführung der geplanten Maßnahmen soll in drei Phasen erfolgen. Zunächst werden die Maßnahmen im inneren Bereich durchgeführt (vgl. Abbildung 4-6). Dieser Bereich ist im Vergleich zum Umfeld hoch gelegen, das Gelände fällt vorwiegend nach Norden und Osten ab. Während der Bauausführung beginnt noch nicht die Einstauphase der Polder, an den geplanten Überläufen werden die Rohrleitungen an den Tiefpunkten durch die Verwallungen gelegt, sodass das oberflächige Wasser dem natürlichen Gefälle folgend weiter abfließen kann.

Durch das beschriebene Vorgehen werden die bisherigen Abflussrichtungen aus den betroffenen Gebieten weitestgehend beibehalten. Ein nennenswerter Einfluss auf die Abflussverhältnisse der Gräben ist nicht zu Erwarten.

Bauphase zwei betrifft die Polderbereiche in der Mitte des Maßnahmengebietes. Die Entwässerung erfolgt auch hier über tief liegende Rohrleitungen in den Dämmen, ein Einstau erfolgt auch in dieser Phase noch nicht. Die Hauptfließrichtung ist nach Osten gerichtet, genau dem natürlichen Gefälle entsprechend. Eine Ausnahme bildet der höchstgelegene Polder, dieser Bereich entwässert natürlicherweise hauptsächlich in Richtung Süden, in Bauphase zwei erfolgt die Entwässerung nach Norden. Über den Umweg der zwei nachfolgenden Polder wird das dort abfließende Wasser jedoch wieder in Richtung Süden umgeleitet. Da der Polder nur ein sehr kleines Einzugsgebiet abbildet und durch das Umlenken lediglich eine kleine Verzögerung des Abflussprozesses zu erwarten ist, wird keine Auswirkung auf die Abflussverhältnisse währen der Bauphase erwartet.

Bauphase 3 entspricht dem Zielzustand, die Auswirkungen hier auf die Abflussverhältnisse sind detailliert beschrieben in Kapitel 5.1.3.3.

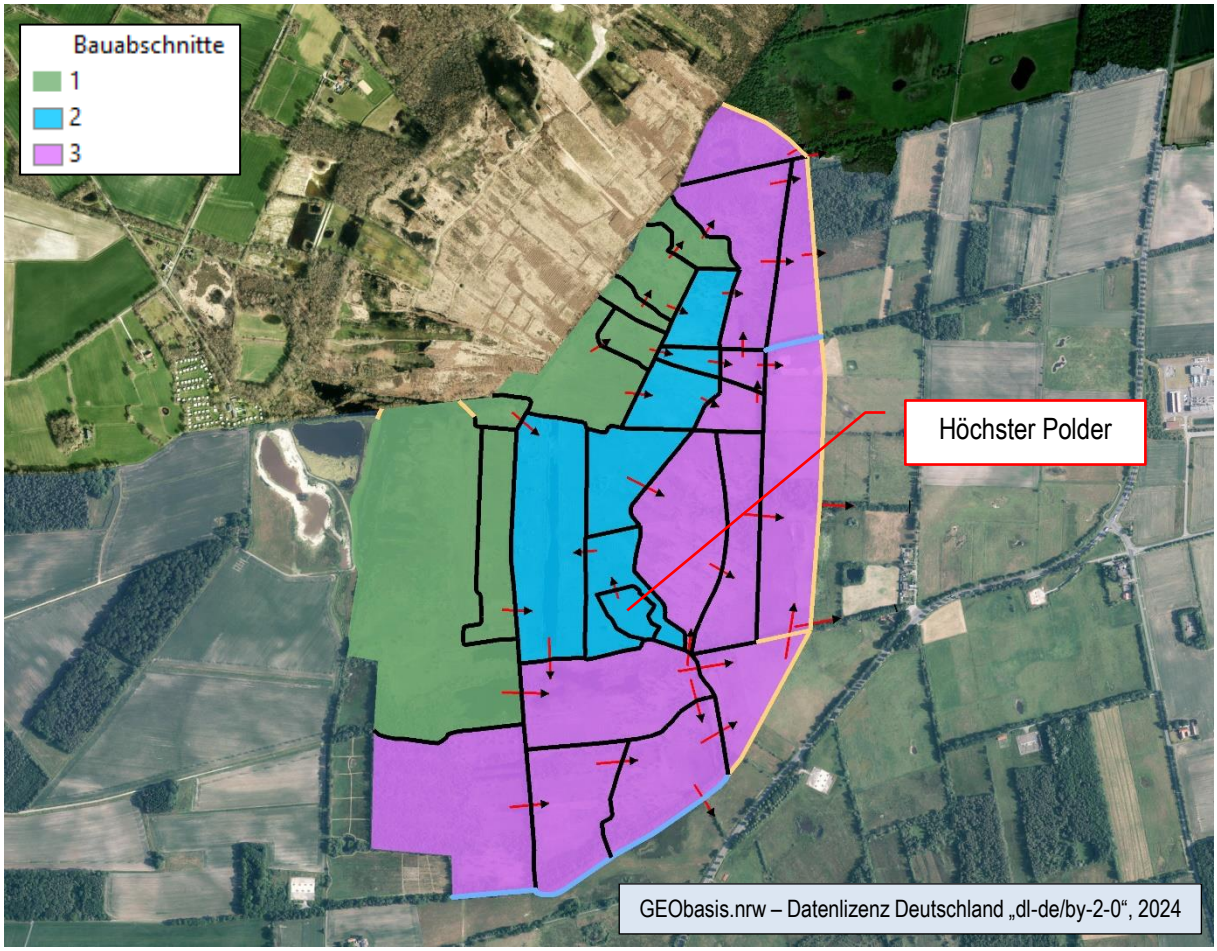


Abbildung 4-6: Übersichtsplan der drei geplanten Bauabschnitte

4.2 Auswirkungen von Starkregen auf die Polderwasserstände und Volumina

Bei Starkregenereignissen handelt es sich um lokal begrenzte Regenereignisse mit großer Niederschlagsmenge und hoher Intensität. Sie sind in der Regel von geringer räumlicher Ausdehnung und schwer vorhersagbar. Hierbei unterscheiden sie sich deutlich von einem Flusshochwasser, welches je nach Ausgestaltung des Einzugsgebietes ein großes Gebiet betreffen kann, aber auch je nach Größe des Einzugsgebietes und Verteilung des Niederschlages kurz bis mittelfristig vorhersagbar ist. Unter anderem aufgrund der kurzen Vorwarnzeit und großen Intensität stellen Starkregenereignisse ein schwer zu kalkulierendes Risiko dar (Arbeitshilfe Starkregen NRW).

Lokale Starkregenereignisse und damit verbundene hohe Schäden rücken immer mehr in das öffentliche Interesse. In Folge des Klimawandels wird in Zukunft mit einer weiteren Zunahme dieser Ereignisse gerechnet.

Für Nordrhein-Westfalen regelt die *Arbeitshilfe kommunales Starkregenrisikomanagement* des Umweltministeriums (damals Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV)) das Vorgehen bei Starkregenuntersuchungen. Ziel bei der Anwendung der Arbeitshilfe ist die Erstellung kommunaler Starkregenrisikomanagementkonzepte. Für die hier vorliegende Untersuchung diente die Arbeitshilfe als Planungsgrundlage für Starkregenbetrachtungen des Planungsraumes.

Das Vorgehen bei der Ermittlung der Starkregengefährdung für den Planungsraum Hündfelder Moor gliedert sich in die folgenden Punkte:

1. Abgrenzung der Teileinzugsgebiete (Polderflächen)
2. Festlegung der zu untersuchenden Szenarien und resultierenden Niederschlagsbelastungen
3. Berechnung der Volumina der einzelnen Szenarien für die einzelnen Polderflächen
4. Festlegung des Anfangswasserstandes
5. Berechnung der resultierenden Wasserstände der Szenarien
6. Abgleich mit niedrigster Dammoberkante und Berechnung des Freibords

Die einzelnen Punkte werden nachfolgend beschrieben:

Die Teileinzugsgebiete sind identisch mit den zuvor zur Wasserverteilung ermittelten Einzugsgebiete (vgl. Kapitel 4.1).

In NRW werden in der Regel bei Starkregenuntersuchungen seltene Ereignisse (Niederschlagsereignis mit der Dauer (D) einer Stunde und einer 20 jährlichen Widerkehrintervall (a)), außergewöhnliche Ereignisse (D = 60, a=100) und ein extremes Ereignis (festgelegt auf 90 mm Niederschlag innerhalb einer Stunde) untersucht.

Zu untersuchende Ereignisse:

- Selten: 33,1 mm/h (KOSTRA-DWD-2020)
- Außergewöhnlich: 46,4 mm/h (LANUV NRW, 2019)
- Extrem: 90 mm/h (LANUV NRW, 2019)

Das Volumen der einzelnen Polderflächen erhöht sich zunächst um genau den Niederschlag, also 33 bis 90 mm innerhalb einer Stunde. Diese Erhöhung ist aufgrund der ausreichend dimensionierten Freiborde zunächst kein Problem. Im nächsten Schritt wurde für die zuvor festgelegten Einzugsgebiete entlang des Fließweges die Volumina akkumuliert. Somit wird für jede Polderfläche das gesamte Volumen der oberhalb liegenden Flächen zugeführt und geprüft, welche Wasserstände und Freiborde sich einstellen, wenn der gesamte im Polder und allen oberhalb liegenden Poldern fallende Niederschlag sich in einem Polder ansammelt und gleichzeitig kein Abfluss erfolgt.

Im nächsten Schritt wird geprüft, ob der Polder über ein oder mehrere Abläufe verfügt. Der (n-1) Regel folgend wird angenommen, dass im Starkregenfall eine Rohrleitung aufgrund von Verklausung oder anderen Problemen ausfällt, der Ablauf kann somit nur über die verbleibenden Rohrleitungen erfolgen. In Polderbereichen mit nur einem Ablauf entfällt dieser somit bei der Starkregenbetrachtung.

Mit diesem Worst-Case Ansatz wird gezeigt, welche Wasserstände und Freiborde sich in den einzelnen Poldern maximal einstellen, sollte im Starkregenfall jeweils ein Ablauf je Polder verstopft sein.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 1 für das seltene Ereignis sind in Tabelle 4-6 zusammengestellt.

Tabelle 4-6: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 1 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL Starkregen	Dammhöhe	Freibord
			SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten		SRRM selten
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_8	Polder_5	46 417	0.010	0.45	46 417	0.45	757	43.00	43.02	44.00	0.98
Polder_4	Polder_5	45 018	0.010	0.44	45 018	0.44	708	42.70	42.72	43.87	1.15
Polder_5	Polder_2	91 621	0.010	0.89	183 056	1.78	5 539	42.50	42.56	43.50	0.94
Polder_2	Versickerungs-Bereich_1	92 803	0.010	0.90	275 859	2.68	8 787	42.00	42.09	43.07	0.98

Im Einzugsgebiet 1 wird während eines seltenen Starkregenereignisses in Polder_5 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,94 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 1 für das außergewöhnliche Ereignis sind in Tabelle 4-7 zusammengestellt.

Tabelle 4-7: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 1 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL Starkregen	Dammhöhe	Freibord
			SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_8	Polder_5	46 417	0.013	0.60	46 417	0.60	1 286	43.00	43.03	44.00	0.97
Polder_4	Polder_5	45 018	0.013	0.58	57 166	0.74	1 785	42.70	42.74	43.87	1.13
Polder_5	Polder_2	91 621	0.013	1.18	148 787	1.92	6 036	42.50	42.57	43.50	0.93
Polder_2	Versickerungs-Bereich_1	92 803	0.013	1.20	92 803	1.20	3 438	42.00	42.04	43.07	1.03

Im Einzugsgebiet 1 wird während eines außergewöhnlichen Starkregenereignisses in Polder_5 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,93 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 1 für das extreme Ereignis sind in Tabelle 4-8 zusammengestellt.

Tabelle 4-8: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 1 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL Starkregen	Dammhöhe	Freibord
			SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem		SRRM extrem
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_8	Polder_5	46 417	0.025	1.16	46 417	1.16	3 310	43.00	43.09	44.00	0.91
Polder_4	Polder_5	45 018	0.025	1.13	45 018	1.13	3 184	42.70	42.79	43.87	1.08
Polder_5	Polder_2	91 621	0.025	2.29	183 056	4.58	15 607	42.50	42.73	43.50	0.77
Polder_2	Versickerungs-Bereich_1	92 803	0.025	2.32	275 859	6.90	23 960	42.00	42.35	43.07	0.72

Im Einzugsgebiet 1 wird während eines extremen Starkregenereignisses in Polder_5 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,77 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 2 für das seltene Ereignis sind in Tabelle 4-9 zusammengestellt.

Tabelle 4-9: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 2 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten		SRRM selten
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_13	Polder_34	91 144	0.01	0.89	91 144	0.89	1 635	43.75	43.77	44.77	1.00
Polder_19	Polder_20	32 090	0.01	0.31	32 090	0.31	1 123	43.35	43.39	44.52	1.14
Polder_20	Polder_16	17 434	0.01	0.17	49 524	0.48	1 183	42.70	42.77	43.57	0.80
Polder_14	Polder_15	14 926	0.01	0.15	14 926	0.15	522	43.20	43.24	44.22	0.98
Polder_15	Polder_16	7 945	0.01	0.08	22 871	0.22	800	42.95	43.05	43.87	0.82
Polder_16	Polder_6	11 290	0.01	0.11	83 685	0.81	1 827	42.45	42.61	43.32	0.71
Polder_7	Polder_6	25 302	0.01	0.25	25 302	0.25	886	42.65	42.69	43.82	1.14
Polder_8	Polder_4	12 148	0.01	0.12	12 148	0.12	425	43.00	43.04	44.17	1.14
Polder_4	Polder_5	45 018	0.01	0.44	57 166	0.56	1 450	42.70	42.73	43.82	1.09
Polder_5	Polder_6	19 414	0.01	0.19	76 580	0.74	2 007	42.50	42.60	43.67	1.07
Polder_6	Polder_17	75 310	0.01	0.73	260 877	2.54	8 742	42.20	42.32	43.07	0.75
Polder_17	Versickerungs-Bereich 2	44 617	0.01	0.43	305 494	2.97	10 692	42.10	42.34	42.97	0.63

Im Einzugsgebiet 2 wird während eines seltenen Starkregenereignisses in Polder_16 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,71 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 2 für das außergewöhnliche Ereignis sind in Tabelle 4-10 zusammengestellt.

Tabelle 4-10: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 2 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_13	Polder_34	91 144	0.01	1.17	91 144	1.17	2 674	43.75	43.78	44.77	0.99
Polder_19	Polder_20	32 090	0.01	0.41	32 090	0.41	1 489	43.35	43.40	44.52	1.12
Polder_20	Polder_16	17 434	0.01	0.22	49 524	0.64	1 747	42.70	42.80	43.57	0.77
Polder_14	Polder_15	14 926	0.01	0.19	14 926	0.19	693	43.20	43.25	44.22	0.97
Polder_15	Polder_16	7 945	0.01	0.10	22 871	0.29	1 061	42.95	43.08	43.87	0.79
Polder_16	Polder_6	11 290	0.01	0.15	83 685	1.08	2 781	42.45	42.70	43.32	0.62
Polder_7	Polder_6	25 302	0.01	0.33	25 302	0.33	1 174	42.65	42.70	43.82	1.12
Polder_8	Polder_4	12 148	0.01	0.16	12 148	0.16	564	43.00	43.05	44.17	1.12
Polder_4	Polder_5	45 018	0.01	0.58	57 166	0.74	2 102	42.70	42.75	43.82	1.07
Polder_5	Polder_6	19 414	0.01	0.25	76 580	0.99	2 880	42.50	42.57	43.67	1.10
Polder_6	Polder_17	75 310	0.01	0.97	260 877	3.36	11 716	42.20	42.25	43.07	0.82
Polder_17	Versickerungs-Bereich 2	44 617	0.01	0.58	305 494	3.94	14 175	42.10	42.21	42.97	0.76

Im Einzugsgebiet 2 wird während eines außergewöhnlichen Starkregenereignisses in Polder_16 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,62 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 2 für das extreme Ereignis sind in Tabelle 4-11 zusammengestellt.

Tabelle 4-11: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 2 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspenden	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem		SRRM extrem
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_13	Polder_34	91 144	0.03	2.28	91 144	2.28	6 648	43.75	43.82	44.77	0.95
Polder_19	Polder_20	32 090	0.03	0.80	32 090	0.80	2 888	43.35	43.44	44.52	1.08
Polder_20	Polder_16	17 434	0.03	0.44	49 524	1.24	3 906	42.70	42.92	43.57	0.65
Polder_14	Polder_15	14 926	0.03	0.37	14 926	0.37	1 343	43.20	43.29	44.22	0.93
Polder_15	Polder_16	7 945	0.03	0.20	22 871	0.57	2 058	42.95	43.21	43.87	0.66
Polder_16	Polder_6	11 290	0.03	0.28	83 685	2.09	6 430	42.45	43.02	43.32	0.30
Polder_7	Polder_6	25 302	0.03	0.63	25 302	0.63	2 277	42.65	42.74	43.82	1.08
Polder_8	Polder_4	12 148	0.03	0.30	12 148	0.30	1 093	43.00	43.09	44.17	1.08
Polder_4	Polder_5	45 018	0.03	1.13	57 166	1.43	4 594	42.70	42.80	43.82	1.02
Polder_5	Polder_6	19 414	0.03	0.49	76 580	1.91	6 219	42.50	42.66	43.67	1.01
Polder_6	Polder_17	75 310	0.03	1.88	260 877	6.52	23 090	42.20	42.30	43.07	0.77
Polder_17	Versickerungs-Bereich 2	44 617	0.03	1.12	305 494	7.64	27 494	42.10	42.31	42.97	0.66

Im Einzugsgebiet 2 wird während eines extremen Starkregenereignisses in Polder_16 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von -0,3 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 3 sind in Tabelle 4-12 bis Tabelle 4-14 zusammengestellt.

Tabelle 4-12: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 3 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten		SRRM selten
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_13	Polder_19	91 144	0.01	0.89	91 144	0.89	1 635	43.75	43.77	44.77	1.00
Polder_19	Polder_20	32 090	0.01	0.31	123 234	1.20	3 446	43.35	43.46	44.12	0.66
Polder_20	Polder_18	17 434	0.01	0.17	140 668	1.37	3 822	42.70	42.92	43.57	0.65
Polder_14	Polder_15	14 926	0.01	0.15	14 926	0.15	522	43.20	43.24	44.22	0.98
Polder_15	Polder_16	7 945	0.01	0.08	22 871	0.22	800	42.95	43.05	44.12	1.07
Polder_16	Polder_18	11 290	0.01	0.11	34 161	0.33	1 196	42.45	42.56	43.32	0.76
Polder_21	Polder_24	46 921	0.01	0.46	111 644	1.09	3 908	43.25	43.33	44.42	1.09
Polder_24	Polder_25	87 040	0.01	0.85	198 684	1.93	6 954	42.45	42.53	43.62	1.09
Polder_25	Polder_18	64 273	0.01	0.62	262 957	2.56	9 203	42.20	42.34	43.07	0.73
Polder_27	Polder_35	14 280	0.01	0.14	14 280	0.14	500	44.35	44.39	45.52	1.14
Polder_35	Polder_21	50 443	0.01	0.49	64 723	0.63	2 265	43.45	43.49	44.42	0.93
Polder_18	Versickerungs-Bereich 3	111 058	0.01	1.08	548 844	5.34	18 659	42.10	42.27	42.97	0.70

Im Einzugsgebiet 3 wird während eines seltenen Starkregenereignisses in Polder_20 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,65 m erreicht.

Tabelle 4-13: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 3 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_13	Polder_19	91 144	0.01	1.17	91 144	1.17	2 674	43.75	43.78	44.77	0.99
Polder_19	Polder_20	32 090	0.01	0.41	123 234	1.59	4 850	43.35	43.50	44.12	0.62
Polder_20	Polder_18	17 434	0.01	0.22	140 668	1.81	5 425	42.70	43.01	43.57	0.56
Polder_14	Polder_15	14 926	0.01	0.19	14 926	0.19	693	43.20	43.25	44.22	0.97
Polder_15	Polder_16	7 945	0.01	0.10	22 871	0.29	1 061	42.95	43.08	44.12	1.04
Polder_16	Polder_18	11 290	0.01	0.15	34 161	0.44	1 585	42.45	42.59	43.32	0.73
Polder_21	Polder_24	46 921	0.01	0.60	111 644	1.44	5 180	43.25	43.36	44.42	1.06
Polder_24	Polder_25	87 040	0.01	1.12	198 684	2.56	9 219	42.45	42.56	43.62	1.06
Polder_25	Polder_18	64 273	0.01	0.83	262 957	3.39	12 201	42.20	42.39	43.07	0.68
Polder_27	Polder_35	14 280	0.01	0.18	14 280	0.18	663	44.35	44.40	45.52	1.12
Polder_35	Polder_21	50 443	0.01	0.65	64 723	0.83	3 003	43.45	43.51	44.42	0.91
Polder_18	Versickerungs-Bereich 3	111 058	0.01	1.43	548 844	7.07	24 916	42.10	42.32	42.97	0.65

Im Einzugsgebiet 3 wird während eines außergewöhnlichen Starkregenereignisses in Polder_20 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,56 m erreicht.

Tabelle 4-14: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 3 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem		SRRM extrem
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_13	Polder_19	91 144	0.03	2.28	91 144	2.28	6 648	43.75	43.82	44.77	0.95
Polder_19	Polder_20	32 090	0.03	0.80	123 234	3.08	10 223	43.35	43.67	44.12	0.45
Polder_20	Polder_18	17 434	0.03	0.44	140 668	3.52	11 559	42.70	43.36	43.57	0.21
Polder_14	Polder_15	14 926	0.03	0.37	14 926	0.37	1 343	43.20	43.29	44.22	0.93
Polder_15	Polder_16	7 945	0.03	0.20	22 871	0.57	2 058	42.95	43.21	44.12	0.91
Polder_16	Polder_18	11 290	0.03	0.28	34 161	0.85	3 074	42.45	42.72	43.32	0.60
Polder_21	Polder_24	46 921	0.03	1.17	111 644	2.79	10 048	43.25	43.46	44.42	0.96
Polder_24	Polder_25	87 040	0.03	2.18	198 684	4.97	17 882	42.45	42.66	43.62	0.96
Polder_25	Polder_18	64 273	0.03	1.61	262 957	6.57	23 666	42.20	42.57	43.07	0.50
Polder_27	Polder_35	14 280	0.03	0.36	14 280	0.36	1 285	44.35	44.44	45.52	1.08
Polder_35	Polder_21	50 443	0.03	1.26	64 723	1.62	5 825	43.45	43.57	44.42	0.85
Polder_18	Versickerungs-Bereich 3	111 058	0.03	2.78	548 844	13.72	48 845	42.10	42.54	42.97	0.43

Im Einzugsgebiet 3 wird während eines extremen Starkregenereignisses in Polder_20 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,21 m erreicht.

Die Auswertungen der Starkregenuntersuchung für Einzugsgebiet 4 sind in Tabelle 4-15 bis Tabelle 4-17 zusammengestellt.

Tabelle 4-15: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 4 für das seltene Ereignis (Niederschlag = 33,1 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten	SRRM selten		SRRM selten		SRRM selten
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_23	Polder_22	59 472	0.01	0.58	59 472	0.58	2 082	43.35	43.39	44.37	0.98
Polder_22	Polder_28	115 517	0.01	1.12	174 989	1.70	6 125	43.15	43.20	44.32	1.12
Polder_32	Polder_28	267 100	0.01	2.60	267 100	2.60	9 349	43.20	43.24	44.22	0.98
Polder_28	Polder_29	93 423	0.01	0.91	535 512	5.21	17 397	42.90	43.09	43.77	0.68
Polder_33	Polder_31	147 954	0.01	1.44	147 954	1.44	5 178	43.70	43.74	44.57	0.84
Polder_31	Polder_30	77 978	0.01	0.76	225 932	2.20	7 908	43.15	43.25	44.02	0.77
Polder_30	Ablaufgraben	52 986	0.01	0.52	278 918	2.71	9 373	42.70	42.88	43.57	0.69

Im Einzugsgebiet 4 wird während eines seltenen Starkregenereignisses in Polder_28 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,68 m erreicht.

Tabelle 4-16: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 4 für das außergewöhnliche Ereignis (Niederschlag = 46,4 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich	SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich		SRRM außergewöhnlich
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_23	Polder_22	59 472	0.01	0.77	59 472	0.77	2 760	43.35	43.40	44.37	0.97
Polder_22	Polder_28	115 517	0.01	1.49	174 989	2.26	8 119	43.15	43.22	44.32	1.10
Polder_32	Polder_28	267 100	0.01	3.44	267 100	3.44	12 393	43.20	43.25	44.22	0.97
Polder_28	Polder_29	93 423	0.01	1.20	535 512	6.90	23 501	42.90	43.15	43.77	0.62
Polder_33	Polder_31	147 954	0.01	1.91	147 954	1.91	6 865	43.70	43.75	44.57	0.82
Polder_31	Polder_30	77 978	0.01	1.01	225 932	2.91	10 483	43.15	43.28	44.02	0.74
Polder_30	Ablaufgraben	52 986	0.01	0.68	278 918	3.59	12 553	42.70	42.94	43.57	0.63

Im Einzugsgebiet 4 wird während eines außergewöhnlichen Starkregenereignisses in Polder_28 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,62 m erreicht.

Tabelle 4-17: Zusammenstellung der Starkregenuntersuchung in Einzugsgebiet 4 für das extreme Ereignis (Niederschlag = 90 mm/h)

ID	ID_Nachfolger	Fläche TEZG	Abflussspende	TEZG-Abfluss	EZG inkl. aller oberhalb liegender TEZG	Maximale Abflüsse Starkregen	Maximale Volumina Starkregen	Stauziel	WSPL SRRM	Dammhöhe	Freibord
			SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem	SRRM extrem		SRRM extrem		SRRM extrem
		[m²]	[l/s*m²]	[m³/s]	[m²]	[m³/s]	[m³]	[mNHN]	[mNHN]	[mNHN]	[m]
Polder_23	Polder_22	59 472	0.03	1.49	59 472	1.49	5 352	43.35	43.44	44.37	0.93
Polder_22	Polder_28	115 517	0.03	2.89	174 989	4.37	15 749	43.15	43.29	44.32	1.03
Polder_32	Polder_28	267 100	0.03	6.68	267 100	6.68	24 039	43.20	43.29	44.22	0.93
Polder_28	Polder_29	93 423	0.03	2.34	535 512	13.39	46 850	42.90	43.40	43.77	0.37
Polder_33	Polder_31	147 954	0.03	3.70	147 954	3.70	13 316	43.70	43.79	44.57	0.78
Polder_31	Polder_30	77 978	0.03	1.95	225 932	5.65	20 334	43.15	43.41	44.02	0.61
Polder_30	Ablaufgraben	52 986	0.03	1.32	278 918	6.97	24 714	42.70	43.17	43.57	0.40

Im Einzugsgebiet 4 wird während eines extremen Starkregenereignisses in Polder_28 und unter Berücksichtigung des Worst-Case-Szenarios ein minimaler Freibord von 0,37 m erreicht.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass von Starkregen aufgrund der kleinen Einzugsgebiete kaum eine Gefahr für die Polder bzw. die Dämme ausgeht. Selbst bei extremen Starkregenereignissen können die anfallenden Wassermengen auch unter Beachtung der (n-1) Regel zurückgehalten werden. Die Resilienz gegenüber Starkregen wird somit durch die Polderung für die Unterlieger deutlich verbessert.

Zur Vereinfachung der Bauausführung und zur Erhöhung der Sicherheit gegen Verklausungen im Starkregenfall wird empfohlen, für alle Polder- und Stillwasserbereiche einheitliche Rohrleitungen mit dem Durchmesser DN400 zu verwenden. Bei der Wahl der Rohrleitungen ist im Rahmen der Ausführungsplanung darauf zu achten, dass Rohrleitungen verwendet werden, die als überfahrbar klassifiziert sind, da einige der Verwallungen als Baustraßen dienen und teilweise auch nach Abschluss der Bauarbeiten als Fahrwege genutzt werden sollen.

4.3 Versickerung

Im Osten des Planungsraumes wird ein Damm mit Abdichtung in den geringleitenden Untergrund errichtet (vgl.-Beschreibung der Maßnahmen in Kapitel 5).

Dieser Damm dient dazu den Grundwasserabstrom aus dem Planungsraum nach Osten weitestgehend zu unterbinden und somit einen Grundwasseranstieg in Strömungsrichtung oberhalb zu induzieren. Dies hat zur Folge, dass westlich dieser Dichtwand Flachwasserbereiche entstehen. Nach einem initialen Einstau dieser Bereiche ist es vorgesehen, dass sich anstauende Grundwasser unterhalb der Dichtwand wieder zu versickern und somit dem Grundwasser wieder zuzuführen. Hierdurch sollen die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse räumlich weitestgehend begrenzt werden.

Die Dimensionierung der hierfür benötigten Versickerungsbereiche wird nachfolgend erläutert. Die Dimensionierung der Zuleitungen ist in Kapitel 4.1 und Kapitel 4.2 beschrieben.

Ermittlung der Versickerungsmengen

Die Wassermengen, die versickert werden sollen, ergeben sich aus dem Grundwasserstrom, welcher durch den Bereich des geplanten Dammabschnittes fließt. Für diesen Bereich wurden die Grundwassermengen mithilfe des Grundwassermodells bilanziert. Der berechnete Volumenstrom (Modell-Output) ist in Abbildung 4-7 dargestellt.

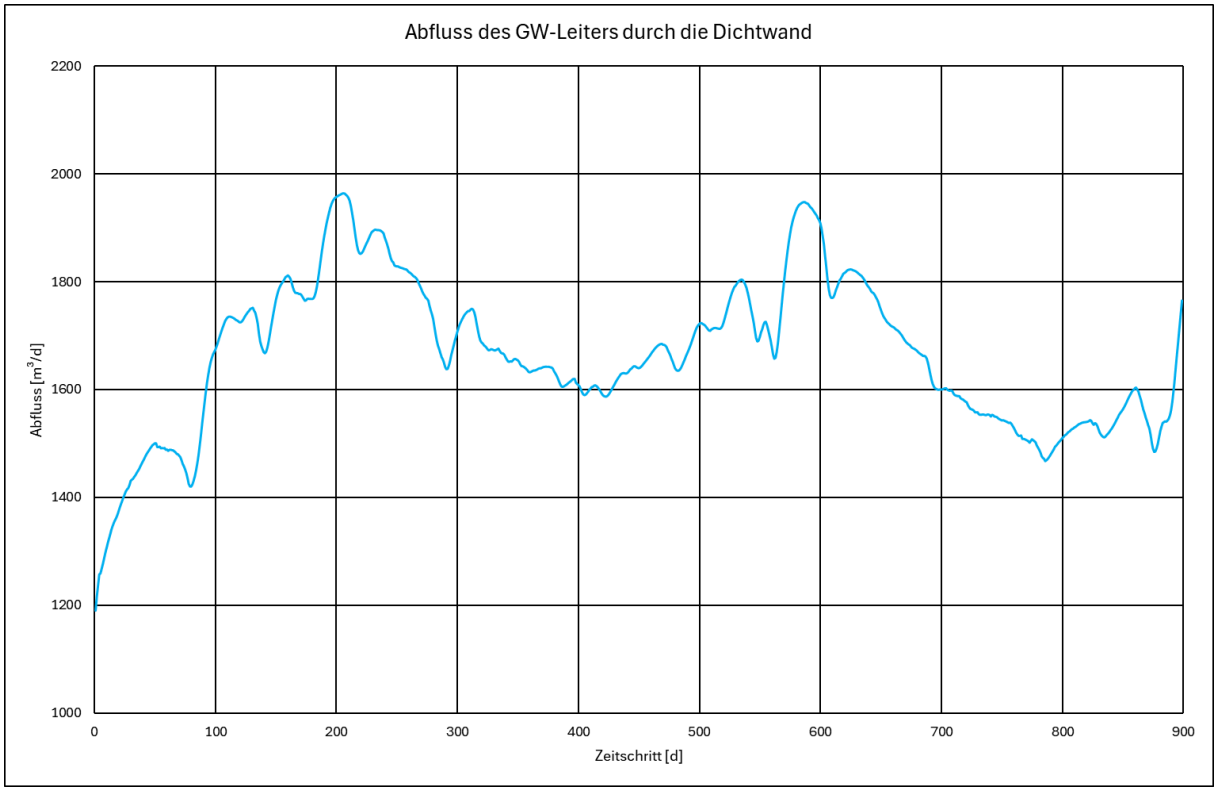


Abbildung 4-7: Abflussganglinie des Grundwasserleiters durch die geplante Dichtwand

Damit auch in Zeiten hoher Grundwasserstände und hoher Abflussmengen im Grundwasser die Versickerungsleistung groß genug ist, sind die maximalen Abflussmengen im Grundwasser für die Dimensionierung maßgeblich.

Diese liegen in den Wintermonaten bei knapp 2.000 m³/d.

Benötigte Flächengrößen für die Versickerungsbereiche

Die benötigten Flächengrößen zur Versickerung ergeben sich aufgrund der Versickerungsmengen und der vorliegenden Bodeneigenschaften in den Versickerungsbereichen. Der Oberboden weist geringe Durchlässigkeiten (kf-Werte im Bereich $1*10^{-6}$ m/s) auf. Im Rahmen der vorbereitenden Maßnahmen ist für die Versickerungsbereiche Bodenabtrag geplant, sodass die Versickerungsfähigkeit verbessert werden kann.

Zur Dimensionierung wurde davon ausgegangen, dass durch diese Maßnahmen ein kf-Wert im Bereich der Versickerungsmulden von etwa $2*10^{-6}$ m/s erreicht werden kann.

Der Volumenstrom zur Versickerungsberechnung berechnet sich zu

$Q_{VS} = kf/2 * A_S$

Mit: Q_{VS} Versickerungsrate in m³/s

A_S Versickerungsfläche in m²

Bzw. $A_S = 2 * Q_{VS} / kf$

Unter den oben aufgeführten Angaben ergibt sich eine rechnerisch benötigte Versickerungsfläche von etwa 23.000 m³.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Dimensionierung ist ein Sicherheitsfaktor von 2 bei der Ermittlung der Versickerungsflächen gefordert. Hieraus erfolgt somit eine zu planende Versickerungsfläche von 46.000 m³. Die Aufteilung der Versickerungsflächen auf die verschiedenen Bereiche östlich der Dichtwand zeigt Tabelle 4-18.

Tabelle 4-18: Berechnung der Versickerungsflächen

Berechnung der Versickerungsflächen						
Abschnitt	Dammlänge	Gesamtabfluss des Abschnitts Q	kf-Wert der Versickerungs-fläche	Versickerungs-fläche (berechnet)	Sicherheitsfaktor	Versickerungs-fläche (Sicherheitsfaktor)
	[m]	[m³/d]	[m/s]	[m²]	[-]	[m²]
A	260	263	2.00E-06	3 041	2	6 082
B	475	480	2.00E-06	5 556	2	11 111
C	1230	1243	2.00E-06	14 386	2	28 772
			Summe	**22 982**		**45 965**

Aufteilung der Versickerungsflächen

Die Versickerungsflächen werden unterhalb der geplanten Dichtwand so geplant, dass das Wasser durch die Flächen hindurch geleitet und überschüssiges Wasser an die unterhalb anschließenden Vorfluter abgegeben werden kann.

Abbildung 4-8 zeigt einen schematischen Lageplan, Abbildung 4-11 einen schematischen Schnitt entlang des Fließweges einer Versickerungsfläche. Westlich der Dichtwand innerhalb der Flachwasserbereiche befindet sich ein Einlaufbauwerk. An dieses Bauwerk schließt ein PVC-Rohr an, welches das Wasser durch die Dichtwand hindurch leitet. Östlich der Dichtwand wird das Wasser in die Versickerungsfläche geleitet. Das Gelände wird so modelliert, dass das Wasser sich gleichmäßig über die Fläche verteilt. Durch Initialpflanzungen wird die Ausbildung von Schilfpoldern im Bereich der Versickerungsflächen vorbereitet.

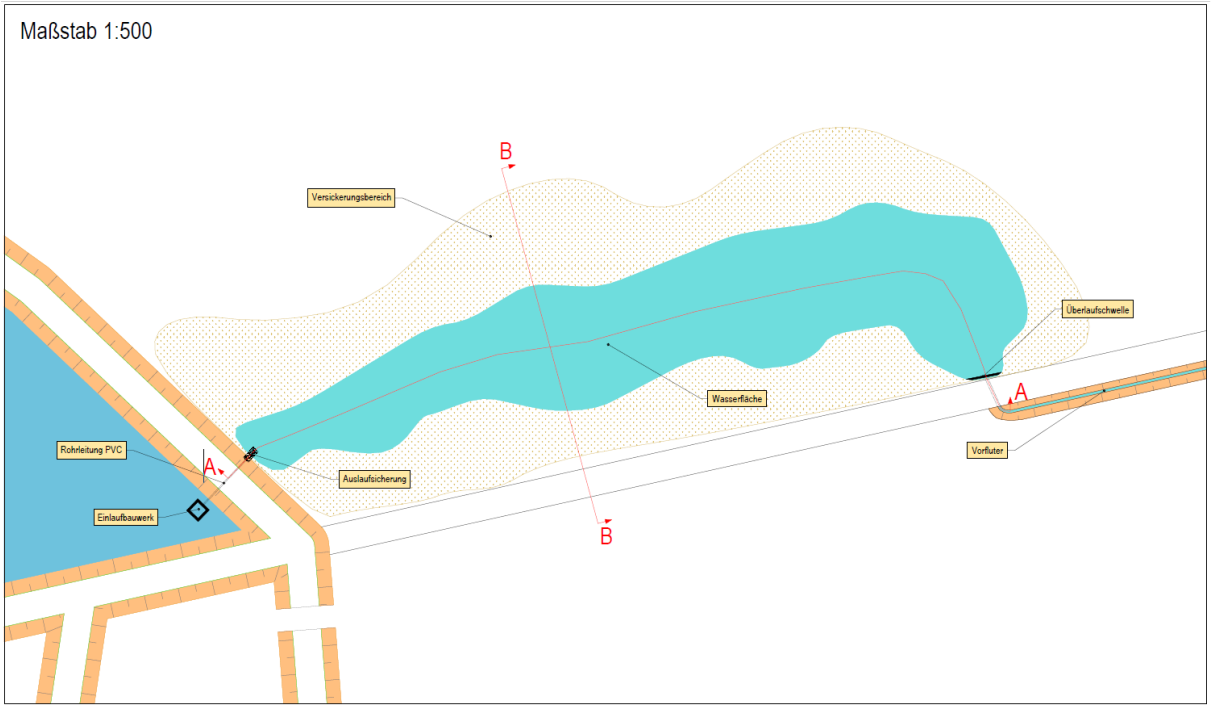


Abbildung 4-8: Schematischer Lageplan einer Versickerungsfläche mit Lage der Schnitte „A“ und „B“

Im Lageplan in Abbildung 4-8 sind die Schnitte A und B eingezeichnet. Schnitt A zeigt einen exemplarischen Längsschnitt entlang des Fließweges durch den Versickerungsbereich (vgl. Abbildung 4-9).

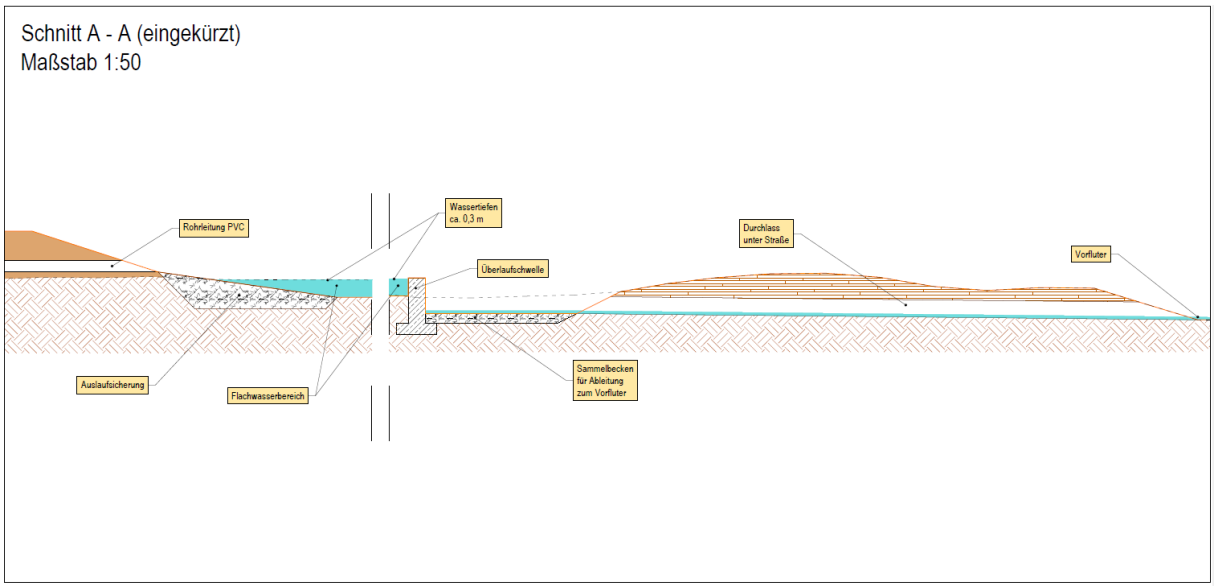


Abbildung 4-9: Schematischer Längsschnitt eines exemplarischen Versickerungsbereichs entlang des Fließwegs

Ein schematischer Schnitt quer zur Fließrichtung ist in Abbildung 4-10 abgebildet.

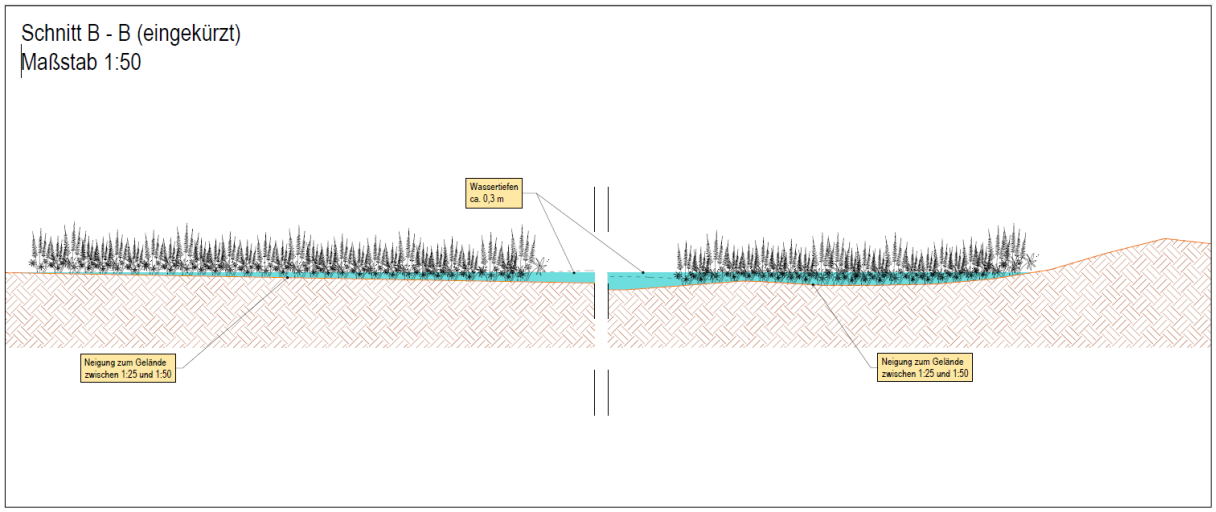


Abbildung 4-10: Schematischer Schnitt eines exemplarischen Versickerungsbereichs quer zur Fließrichtung

Eine Überlaufschwelle am Ende der Versickerungsfläche sorgt für das Einhalten der benötigten Wasserspiegellage.

Bei Überschreiten des Zielwasserstandes in der Versickerungsfläche wird das Wasser unterhalb der Überlaufschwelle in den Vorfluter geleitet.

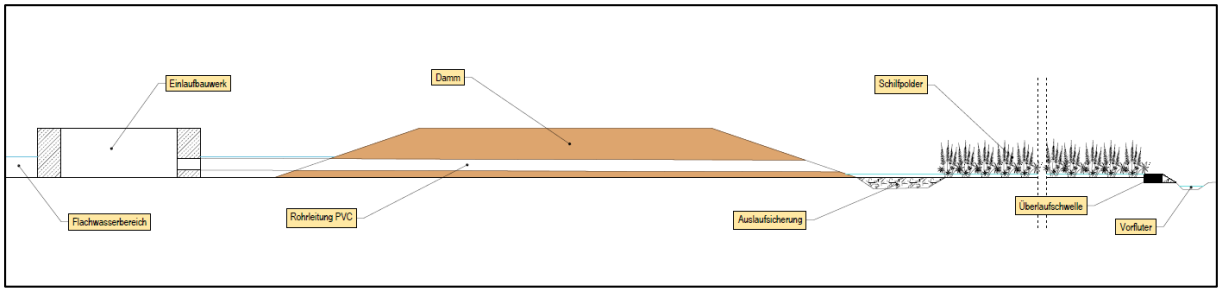


Abbildung 4-11: Schematischer Schnitt entlang des Fließweges einer Versickerungsfläche (nicht maßstabsgerecht)

Abbildung 4-12 zeigt einen Übersichtsplan mit den vier geplanten und verorteten Versickerungsflächen.

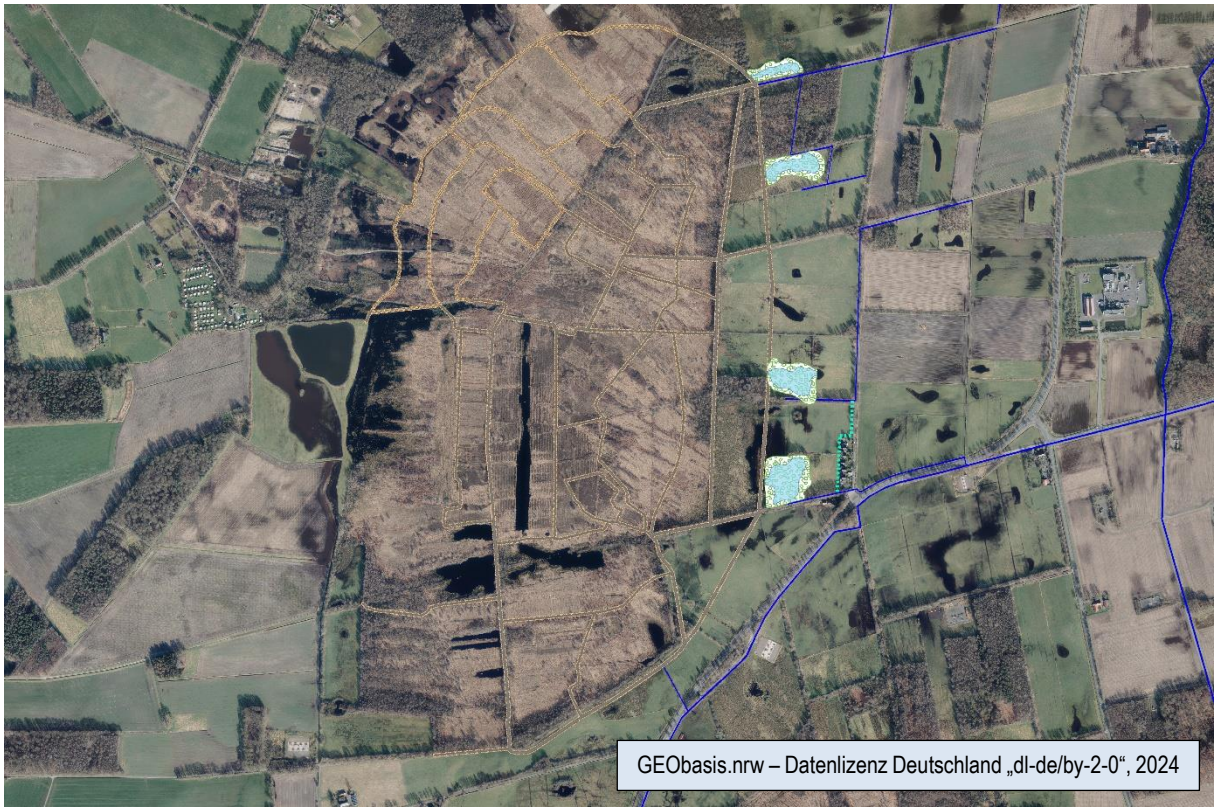


Abbildung 4-12: Versickerungsbereiche östlich der geplanten Dichtwand

Anmerkungen zur Bauausführung:

Während der Bauausführung werden die Versickerungsbereiche zunächst ohne die Überlaufschwellen in Richtung der Vorfluter errichtet. Dadurch wird gewährleistet, dass während der Bauphase die Versickerungsbereiche nur durchströmt werden, ein Einstau aber noch nicht erfolgt. Somit kann gewährleistet werden, dass die Auswirkungen der Versickerungsbereiche auf die Abflussverhältnisse während der Bauphasen sehr gering sind.

Am Ende der 3. Bauphase werden die Überläufe zwischen den Versickerungsbereichen und den Vorflutern hergestellt, sodass dann der initiale Einstau erfolgen kann.

4.4 Anlegen eines Abfanggrabens

Östlich der geplanten Dichtwand sind die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse (außerhalb des Maßnahmenbereichs) am größten, da in diesem Bereich einerseits der Grundwasserstrom durch die Dichtwand massiv beeinflusst wird, andererseits auch ein Umströmen der Dichtwand von Süden erfolgt und darüber hinaus der Grundwasserstand durch die Versickerungsbereiche beeinflusst wird.

Durch dieses Zusammenspiel teils gegensätzlicher Wirkungen ergeben sich Änderungen der Grundwasserverhältnisse. Um die Auswirkungen auf die Bebauung (insbesondere die sog. „Zollhäuser“) möglichst gering zu halten, wurde ein Abfanggraben geplant.

Dieser Abfanggraben dient dem Zweck bei zu hohen Grundwasserständen das Grundwasser westlich der Zollhäuser zu sammeln und dem nächsten Vorfluter zuzuleiten.

Durch sohlgleiche Anbindung an die bestehenden Gräben im Norden und Süden kann gewährleistet werden, dass die Grundwasserstände nicht höher steigen als im Istzustand.

Der Verlauf des Abfanggrabens und der Anschluss an die bestehenden Gräben kann Abbildung 4-13 entnommen werden.

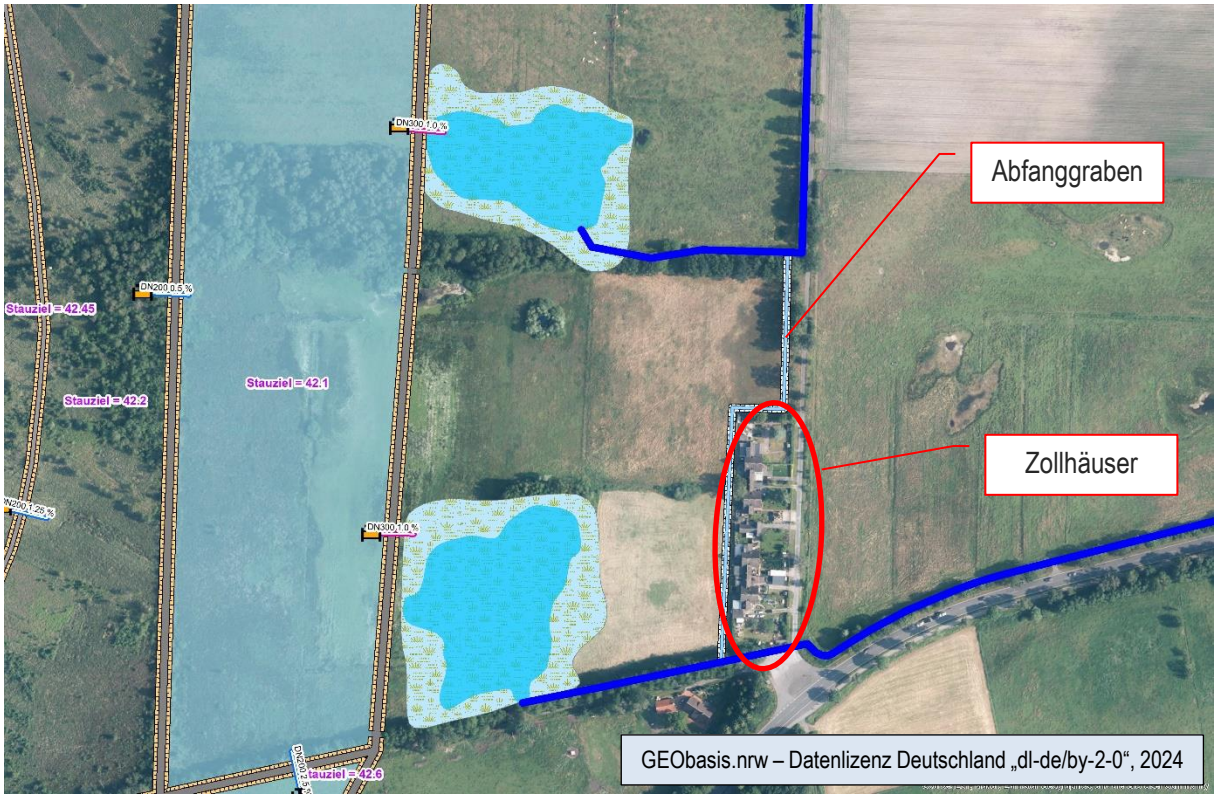


Abbildung 4-13: Lage und Verlauf des geplanten Abfanggrabens westlich der Zollhäuser

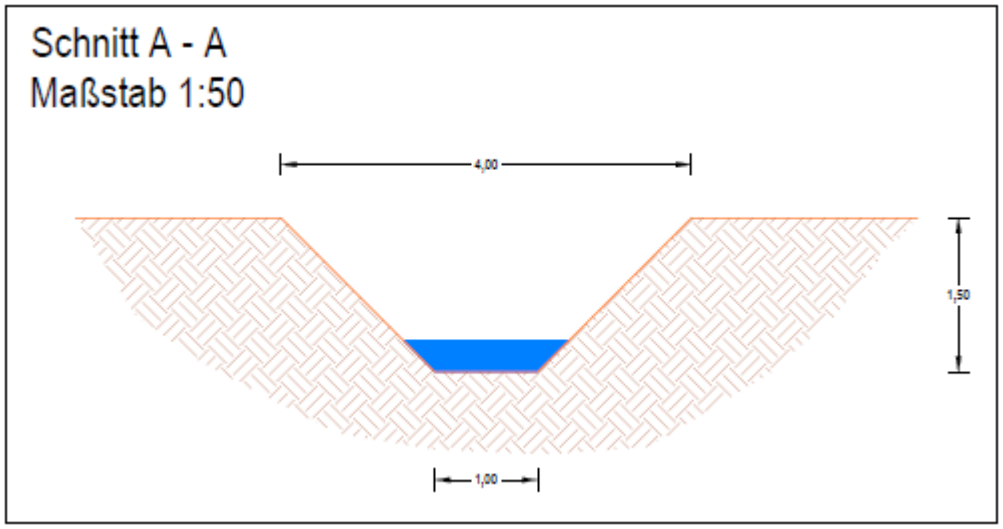


Abbildung 4-14: Schematische Darstellung vom Verlauf des Grabens und exemplarisches Querprofil auf Basis der vorhandenen Gräben im Norden und Süden

Die geometrischen Abmessungen orientieren sich an den bestehenden Gräben, die Sohlhöhen wurden anhand des digitalen Geländemodells NRW abgeschätzt und sind im Rahmen der Ausführungsplanung zu konkretisieren.

Im Nordern erfolgt der Sohlanschluss bei etwa 40,7 mNHN; im Süden auf einer Höhe von ca. 40,9 mNHN. Ein exemplarisches Querprofil findet sich in Abbildung 4-14. Die Sohlhöhe wurde mit 1,0 m Breite angesetzt, die Breite in Höhe der Böschungsoberkante mit 4,0 m und die Einschnittstiefe mit 1,5 m.

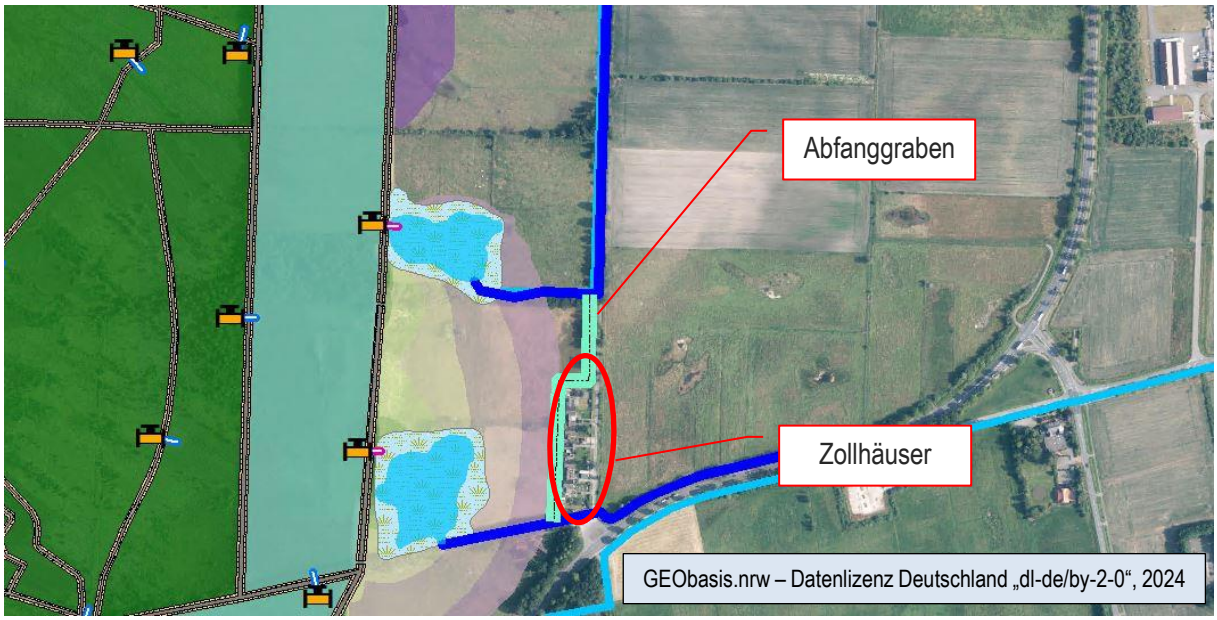


Abbildung 4-15: Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Zielzustand und Istzustand bei hohen Grundwasserverhältnissen (Ausschnitt aus Anlage_2.3)

Abbildung 4-15 stellt die Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Zielzustand und Istzustand bei hohen Grundwasserverhältnissen dar. Im Bereich der Zollhäuser liegen die Veränderungen zum Istzustand im Bereich von 0 bis 5 cm. Somit kann festgehalten werden, dass durch den Abfanggraben die Grundwasserstände im Bereich der Zollhäuser gut reguliert werden können und keine negativen Auswirkungen zu erwarten sind.

Den Verlauf des Grundwasserstandes für den Istzustand und Zielzustand zeigt Abbildung 4-16. Hierdurch wird deutlich, dass durch die Maßnahmen im Zielzustand der Grundwasserstand zwar bei mittleren und niedrigen Grundwasserverhältnissen ansteigt, bei hohen Grundwasserständen hingegen keine Erhöhung der Grundwasserstände in diesem Bereich stattfindet. Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass es zu keinem Absinken des Grundwasserstandes kommt und sich die Erhöhungen im Rahmen des aktuellen Schwankungsbereiches bewegen. Somit verringert sich die Amplitude zwischen niedrigen und hohen Grundwasserständen.

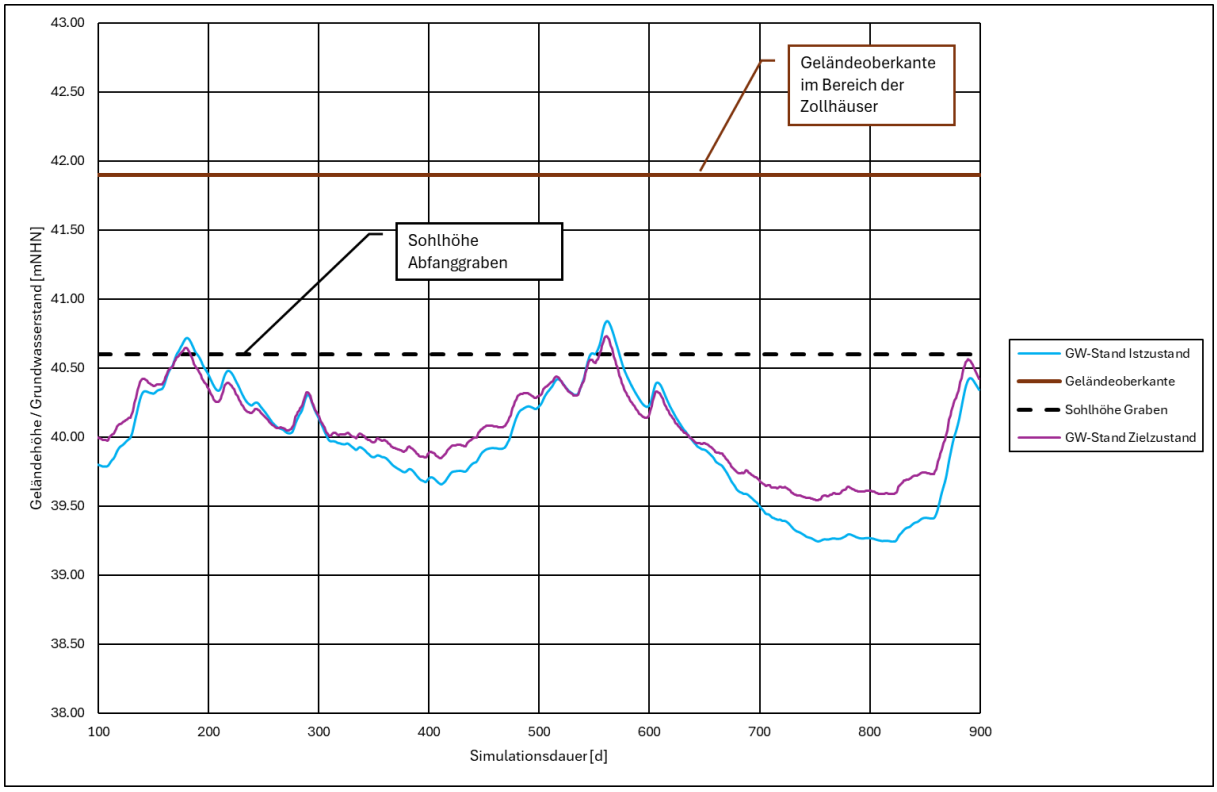


Abbildung 4-16: Grundwasserstandsganglinien im Istzustand und Zielzustand im Bereich der Zollhäuser sowie Sohlhöhe des Abfanggrabens und Geländeoberkante

4.5 Monitoring

Die geplanten Maßnahmen im Hündfelder Moor beeinträchtigen nur in sehr geringem Maße Flächen außerhalb der Maßnahmenbereiche. An keinem sind negative Auswirkungen von den veränderten (Grund-) Wasserverhältnissen auf Bereiche Dritter zu Erwarten.

Aufgrund dieser Tatsache halten wir es nicht für erforderlich, ein flächendeckendes Monitoring der Grundwasser- und Abflussverhältnisse im Nachgang der Maßnahmenumsetzung vorzunehmen.

Aus wissenschaftlicher Sicht hingegen, zur Dokumentation vom Zusammenspiel der Niederschlagsdaten und Verdunstungsraten mit den oberflächigen und grundwasserseitigen Abflussverhältnissen ist ein Monitoring wie es aktuell geplant bzw. in Teilen schon installiert ist wünschenswert und kann in Zukunft dazu beitragen, Wiedervernässungsvorhaben besser zu verstehen. Das aktuell betriebene Monitoring wird nachfolgend beschrieben und mögliche Ergänzungen diskutiert.

Die Biologische Station Zwillbrock betreibt seit dem Sommer 2020 insgesamt 7 Grundwassermessstellen sowohl im Untersuchungsgebiet als auch im südlichen und östlichen umströmungs- und Abstrombereich.

Der Norden des Planungsraumes liegt in den Niederlanden. Hier werden durch die niederländischen Behörden zahlreiche Grundwassermessstellen betrieben.

Darüber hinaus werden durch die Hochschule Münster insgesamt drei Thomson-Messwehre zur Ermittlung des Abflusses betrieben. Die Lage der Grundwassermessstellen und Thomson-Messwehre zeigt Abbildung 4-17.

Zum Monitoring der Auswirkungen der Maßnahmen sind die bisher installierten Grundwassermessstellen mit einer Ausnahme ausreichend. Im Bereich der Zollhäuser wird eine weitere Grundwassermessstelle vorgeschlagen (GWM8, siehe Abbildung 4-18).

Durch diese zusätzliche Grundwassermessstelle ist es möglich, die Grundwasserstände im direkten Umfeld sowohl im nordwestlichen Bereich als auch im südlichen Bereich (durch die Messstelle GMW1) zu erfassen.

Neben den beschriebenen Messstellen wird von der Hochschule Münster auch eine Klimastation im Hündfelder Moor betrieben. Hier wird unter anderem Niederschlag, Verdunstung und CO^2 Ausgasung ermittelt.

Die aktuell installierten Wasserstandsmessstellen (Thomson-Wehre) liefern nicht alle zufriedenstellenden Daten. Eine Bewertung der Ursachen ist nicht Bestandteil dieses Gutachtens und sollte durch die zuständigen Bearbeiter erfolgen.

Um in Zukunft zuverlässige Aussagen zu den Abflussverhältnissen unterhalb des Planungsbereiches machen zu können, erscheint es sinnvoll im Ablauf der Versickerungsbereiche Messwehre zu installieren. Durch die dort vorgesehenen Überläufe und der damit einhergehenden Differenz der Wasserspiegellagen oberhalb und unterhalb der Überläufe kann die Funktionsfähigkeit der Messwehre deutlich besser als bisher gewährleistet werden.

Abbildung 4-17: Übersicht der Grundwassermessstellen (lila) und aktuell vorhandenen Thomson-Messwehre (grün)

Die Lage der neu zu errichtenden Thomson-Messwehre kann Abbildung 4-18 entnommen werden. Hierfür können im Rahmen der Bauausführung nach Fertigstellung der Polderbereiche das aktuelle Messequipment an die neuen Standorte verlegt werden. Somit entfällt eine Neuanschaffung von Messequipment. Gleichzeitig kann somit gewährleistet werden, dass die aktuellen Messstandorte während der Bauphasen so lange wie möglich weiter laufen und Daten sammeln können.

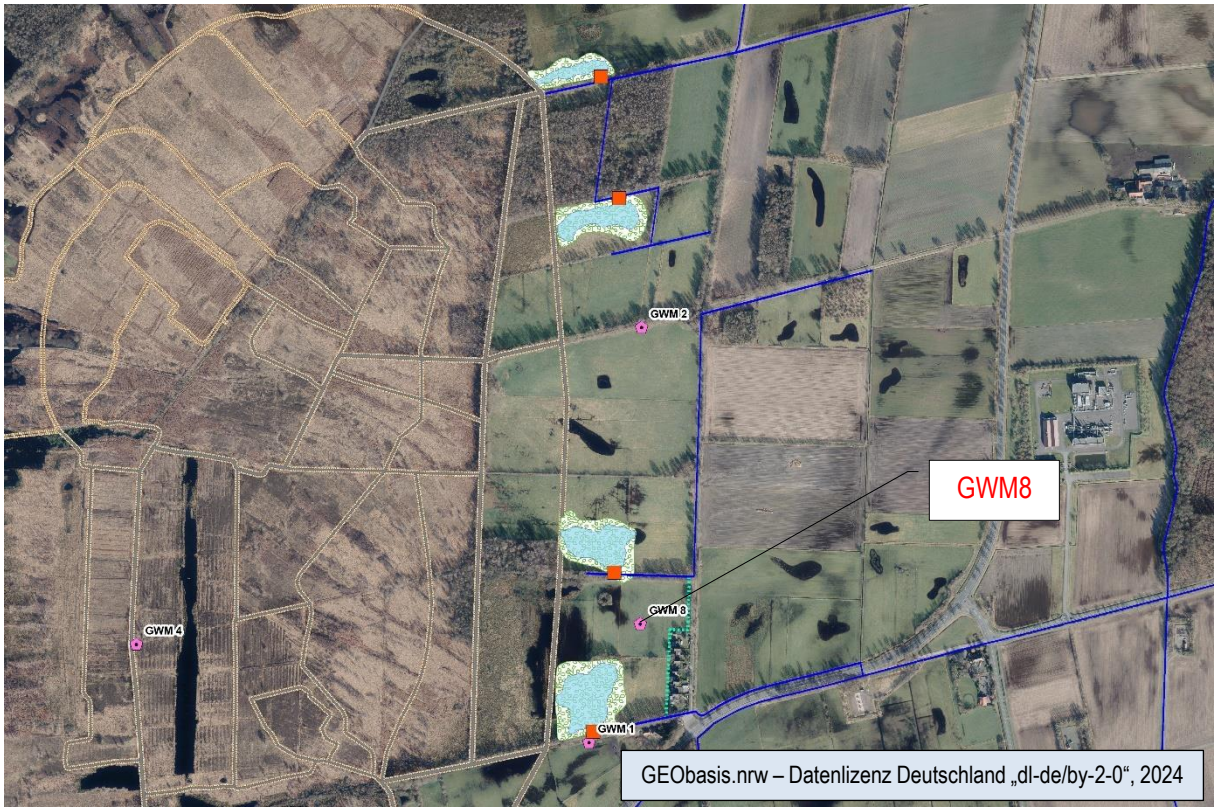


Abbildung 4-18: Lage der neu zu errichtenden Thomson-Messwehre im Ablauf der Versickerungsbereiche (orange) und neu zu errichtende Grundwassermessstelle GWM8

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch das aktuelle Monitoring mit den beschriebenen Ergänzungen ermöglicht wird, dass die langfristigen Auswirkungen der geplanten Maßnahmen gut erfasst werden können. Durch die Kombination von Oberflächenmessstellen, Grundwassermessstellen und Klimadaten kann eine ganzheitliche Bilanz für das Planungsgebiet abgeleitet werden und somit wird eine langfristige wissenschaftliche Begleitung des Projektes ermöglicht.

Zur Dokumentation der Auswirkungen auf Flächen Dritter wird es nicht als erforderlich erachtet.

5 Zielzustand

Der Zielzustand stellt den Zustand nach Umsetzung aller geplanten Maßnahmen dar. Die Ergebnisse der Grundwassermodellierung zeigen somit die Auswirkungen auf die Grundwasser- und Abflussverhältnisse nach Umsetzung aller geplanten Maßnahmen.

Als maßgebliche Datengrundlagen (im Vergleich zum Istzustand) wurden folgende Änderungen im Modell implementiert:

- Einbau der Dammtrassen
- Einbau von Dichtungen in die Dammtrassen
- Einbau der Versickerungsbereiche
- Einbau von Überläufen zwischen den Poldern und von den Stillwasserbereichen im Osten in die Versickerungsbereiche
- Einbau der Versickerungsbereiche
- Einbau Abfanggrabens westlich der „Zollhäuser“
- Anpassung des Grenzgrabens

5.1.1 Dämme und Dichtungen

Die Lage der geplanten Dammtrassen wurde schon im Istzustand in das Modell implementiert. Dies hat den Vorteil, dass die Netzstruktur zwischen Istzustand und Zielzustand erhalten bleiben kann und somit Vergleichsrechnungen / Differenzenbetrachtungen etc. deutlich einfacher ermittelt werden können. Die geplanten Dämme werden entweder mit einer Lehmdichtung, einer Torfdichtung oder aber ohne Dichtung errichtet.

Die Einteilung der Dämme in die unterschiedlichen Abdichtungs-Kategorien kann Abbildung 5-1 entnommen werden.

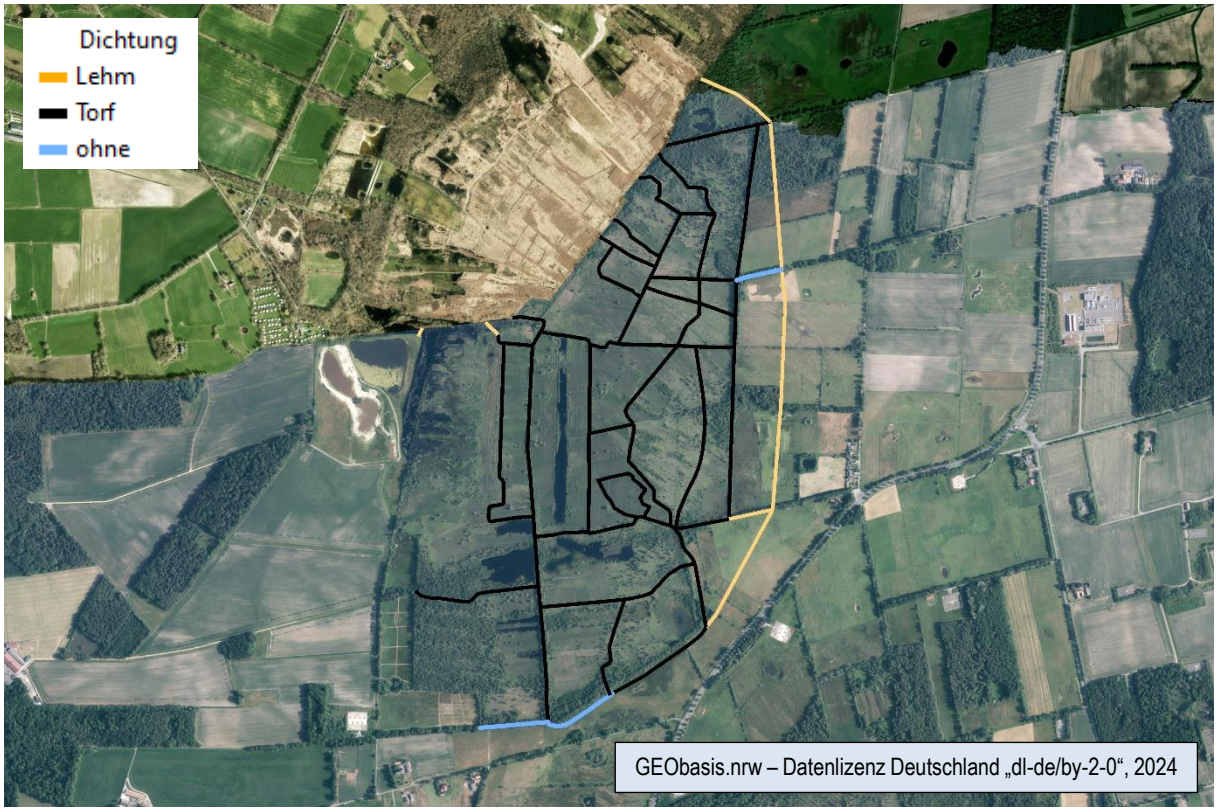


Abbildung 5-1: Lage und Art der vorgesehenen Dichtungen der verschiedenen Dämme

Die kf-Werte der Abdichtungsmaterialen sind in Tabelle 5-1 zusammengestellt.

Tabelle 5-1: Zusammenstellung der kf-Werte der Dichtungsmaterialien Torf und Lehm (Spannweiten) (Hofer&Pautz, 2024)

Dichtungsmaterial	kf-Wert Obergrenze [m/s]	kf-Wert Untergrenze [m/s]
Torf	$1*10^{-6}$	$1*10^{-7}$
Lehm	$1 * 10^{-8}$	$1 * 10^{-10}$

Es ist festzuhalten, dass für die Dämme im Grundwassermodell die oben angesetzten KF-Werte implementiert wurden. Die tatsächlichen KF-Werte sind stark davon abhängig, wie der Einbau der Dichtungen erfolgt und was für Eigenschaften die tatsächlich eingebauten Böden aufweisen. Dies kann erheblichen Einfluss auf die späteren Stauwirkungen der verschiedenen Dämme haben.

Geometrisch lassen sich die Dämme in zwei Kategorien einteilen. In große, befahrbare Dämme mit einer Kronenbreite von 5 m und einer Höhe zwischen 0,5 m und 1,8 m sowie kleinere „Zwischendämme“ mit einer Kronenbreite von 3 m und einer mittleren Höhe zwischen etwa 0,5 m und 2,0 m. Die Lage der unterschiedlichen Dämme zeigt Abbildung 5-2:

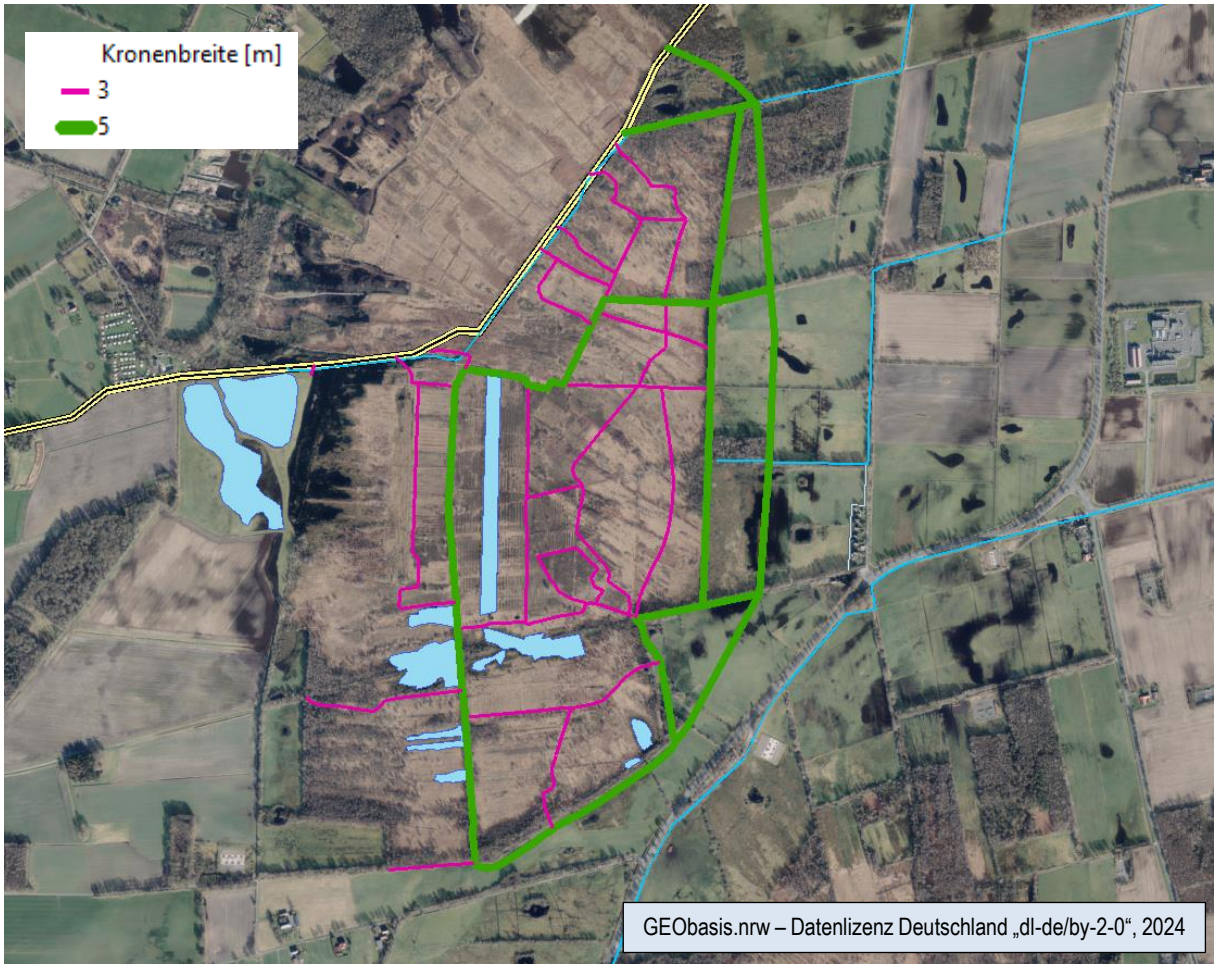


Abbildung 5-2: Lage der großen (Kronenbreite 5 m) und kleinen Dämme (Kronenbreite 3 m)

Da die Verläufe der Dammtrassen inklusive der geplanten Breiten schon im Istzustands-Modell implementiert waren, mussten die Dammoberkanten lediglich an die geplanten Höhen der Dammoberkanten angepasst werden, um die Dammstrukturen abzubilden. Abbildung 5-3 zeigt einen Ausschnitt des 3D-Grundwassermodells im Bereich der Polder mit hochgesetzten Dämmen. Zur besseren Kenntlichmachung der Dammtrassen ist die Darstellung 30-fach überhöht abgebildet.

In Abbildung 5-4 ist der Verlauf der Dammverläufe in der Draufsicht abgebildet.

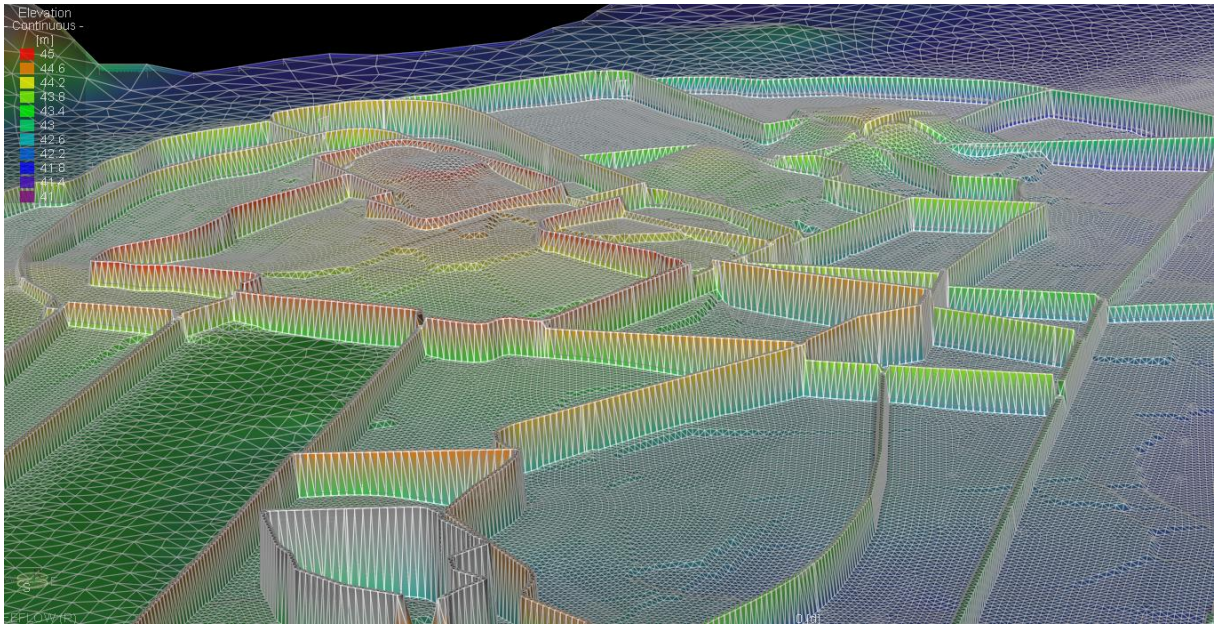


Abbildung 5-3: Screenshot aus 3D-Grundwassermodell im Planzustand (30-fach überhöht); Ausschnitt zeigt einen Teilbereich der Polder im Planungsgebiet

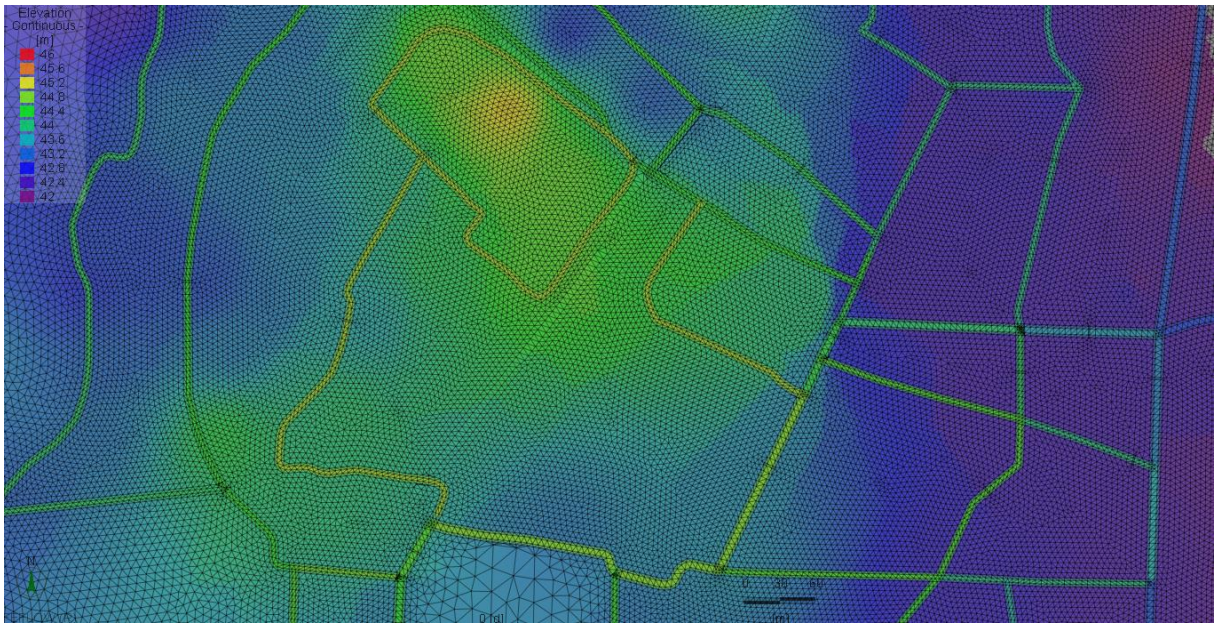


Abbildung 5-4: Screenshot aus 3D-Grundwassermodell im Planzustand (Draufsicht); Ausschnitt zeigt einen Teilbereich der Polder im Planungsgebiet

5.1.2 Überläufe und Versickerung

Zwischen den einzelnen Polderbereichen sind an zahlreichen Stellen Überläufe vorgesehen. Die Ausgestaltung der Überläufe ist in Kapitel 4 genauer beschrieben. Die Lage der Überläufe wurde durch den Auftraggeber bereitgestellt.

Die meisten Polder entwässern in Umwegen über einen oder weitere Polder in Richtung der im Osten des Maßnahmenbereichs angelegten Flachwasserseen. Aus diesen Seen wiederum wird Wasser durch Überläufe in dahinter angelegte Versickerungsbereiche geleitet (vgl. Kapitel 4).

Die Lage der Überläufe und Versickerungsbereiche, die in das Grundwassermodell für den Zielzustand implementiert wurden, kann Abbildung 5-5 entnommen werden (eine detailliertere Abbildung ist in Anlage_1 zu finden).

Abbildung 5-5: Lage von Überläufen und Versickerungsbereichen

5.1.3 Auswirkungen der geplanten Maßnahmen

In den nachfolgenden Kapiteln sind die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf die Grundwasserverhältnisse im Zielzustand, die Wasserstände in den Polderbereichen und die Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse in der Vorflut erläutert.

5.1.3.1 Auf die GW-Verhältnisse

Durch die geplanten Maßnahmen im Hündfelder Moor werden die Grundwasserstände innerhalb des Maßnahmenbereichs großflächig angehoben. Dies führt auch zu Änderungen der Grundwasserverhältnisse im Umfeld des Maßnahmenbereichs. Im Zustrombereich oberhalb der geplanten Dichtwand im Osten führen die Maßnahmen zu einem Grundwasseranstau. Westlich der Dichtwand kommt es nach Ausführung der Maßnahmen in Teilbereichen zu verringerten Grundwasserständen. Die Änderungen der Grundwasserstände im Vergleich von Zielzustand und Istzustand für mittlere Grundwasserverhältnisse sind in Abbildung 5-6 (vgl. auch Anlage_2.1 bis 2.3 für hohe und niedrige GW-Verhältnisse) dargestellt.

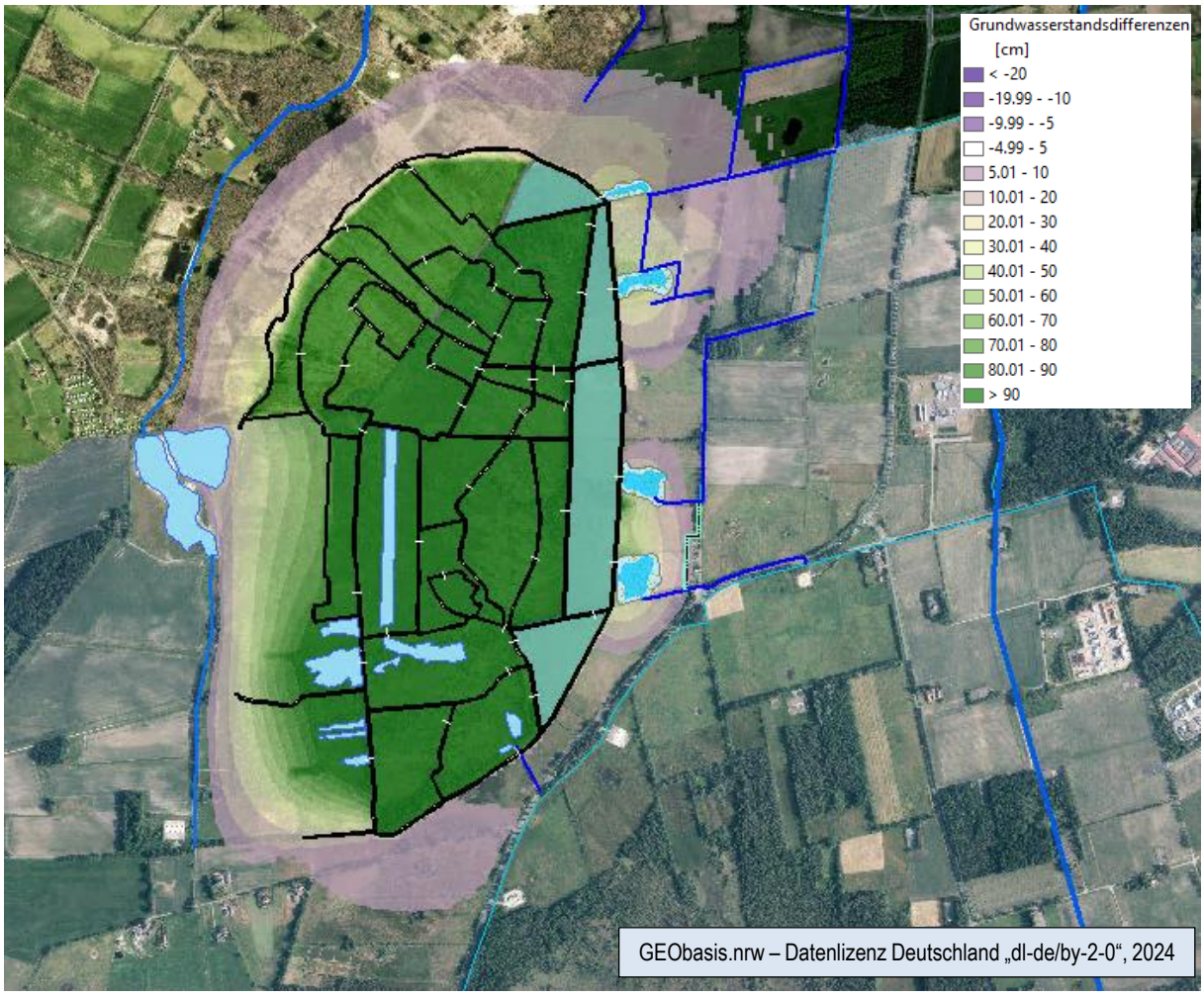


Abbildung 5-6: Grundwasserstandsänderungen im Vergleich von Zielzustand mit Istzustand bei mittleren Grundwasserverhältnissen

Es wird deutlich erkennbar, dass die Grundwasserstände im Zielzustand insbesondere im Planungsbereich deutlich ansteigen. Das Ziel einer flächigen Anhebung der Grundwasserstände im Hündfelder Moor kann mit den geplanten Maßnahmen somit erreicht werden. Südlich des Planungsbereiches gehen die Grundwasserstandsanhebungen weiter über die eigentlichen Polderbereiche hinaus. Dies ist auf Umströmungseffekte aufgrund der veränderten hydraulischen Gradienten in Richtung Süden zurückzuführen. Die Dichtwand am östlichen Rand verringert den Durchfluss des Grundwassers deutlich., Am südlichen Ende der Dichtwand wird sie daher umströmt. Erkennbar ist dies auch bei der Betrachtung von Grundwassergleichen, dargestellt in Abbildung 5-7.

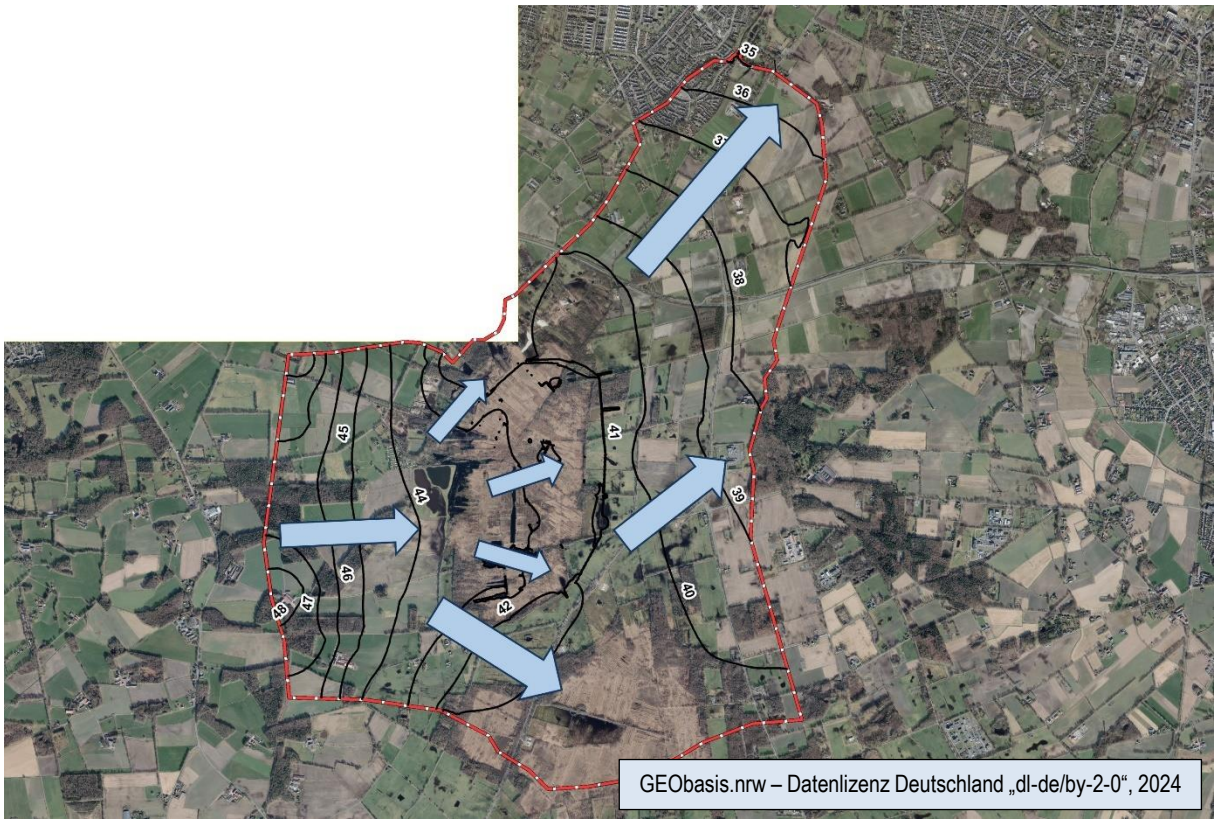


Abbildung 5-7: Grundwassergleichen im Zielzustand bei mittleren Verhältnissen (blaue Pfeile kennzeichnen die Hauptgrundwasserströmung)

Innerhalb des Maßnahmenbereichs kommt es zu Wasserstandserhöhungen beim Vergleich von Istzustand mit dem Zielzustand. Durch die großen Erhöhungen im Maßnahmenbereich erfahren auch die Moorrandbereiche leichte Erhöhungen der Grundwasserstände. Dies wird auch durch seitliche Umströmungen der geplanten Dichtwand induziert. Die Erhöhungen befinden sich jedoch nur im räumlich nah umgrenzten Umfeld der Maßnahmenbereiche, bebaute Grundstücke sind nicht oder nur im äußerst geringen Umfang von weniger als 5 cm betroffen. betroffen

Im Bereich der Zollhäuser kommt es bei mittleren Verhältnissen zu einem geringen Grundwasseranstieg im Bereich von etwa 5 cm. Die Grundwasserstände steigen dadurch jedoch nicht auf ein höheres Niveau als in der üblichen Schwankungsbreite im Istzustand. Auswirkungen des Abfanggrabens sind in diesem Betrachtungsfall nicht erkennbar, da die Grundwasserstände sich unterhalb der Sohle des geplanten Grabens befinden. Die Auswirkungen des Abfanggrabens auf die Grundwasserverhältnisse, insbesondere im Nahbereich der Zollhäuser, sind in Kapitel 4.4 beschrieben.

Schädliche Auswirkungen durch die veränderten Grundwasserstände im Umfeld des Planungsbereiches sind nicht zu erwarten.

5.1.3.2 Auf die Polderbereiche

Ziel aller geplanter Maßnahmen ist das Anheben der (Grund-) Wasserstände in den Polderbereichen auf definierte Zielwasserstände, welche ein Moorwachstum in dem entsprechenden Bereich gewährleisten können. Die definierten Zielwasserstände sollen nach Möglichkeit im Jahresverlauf nicht oder nur minimal unter bzw. überschritten werden. Als Toleranz wurde ein Über- oder Unterstau von +- 15 cm vorgegeben.

Zur Prüfung, inwieweit die angestrebten Zielwasserstände in den verschiedenen Poldern eingehalten werden, wurden für jeden Polder die Wasserstandsganglinien ausgewertet. Abbildung 5-8 zeigt die Lage der Flachwasserseen.

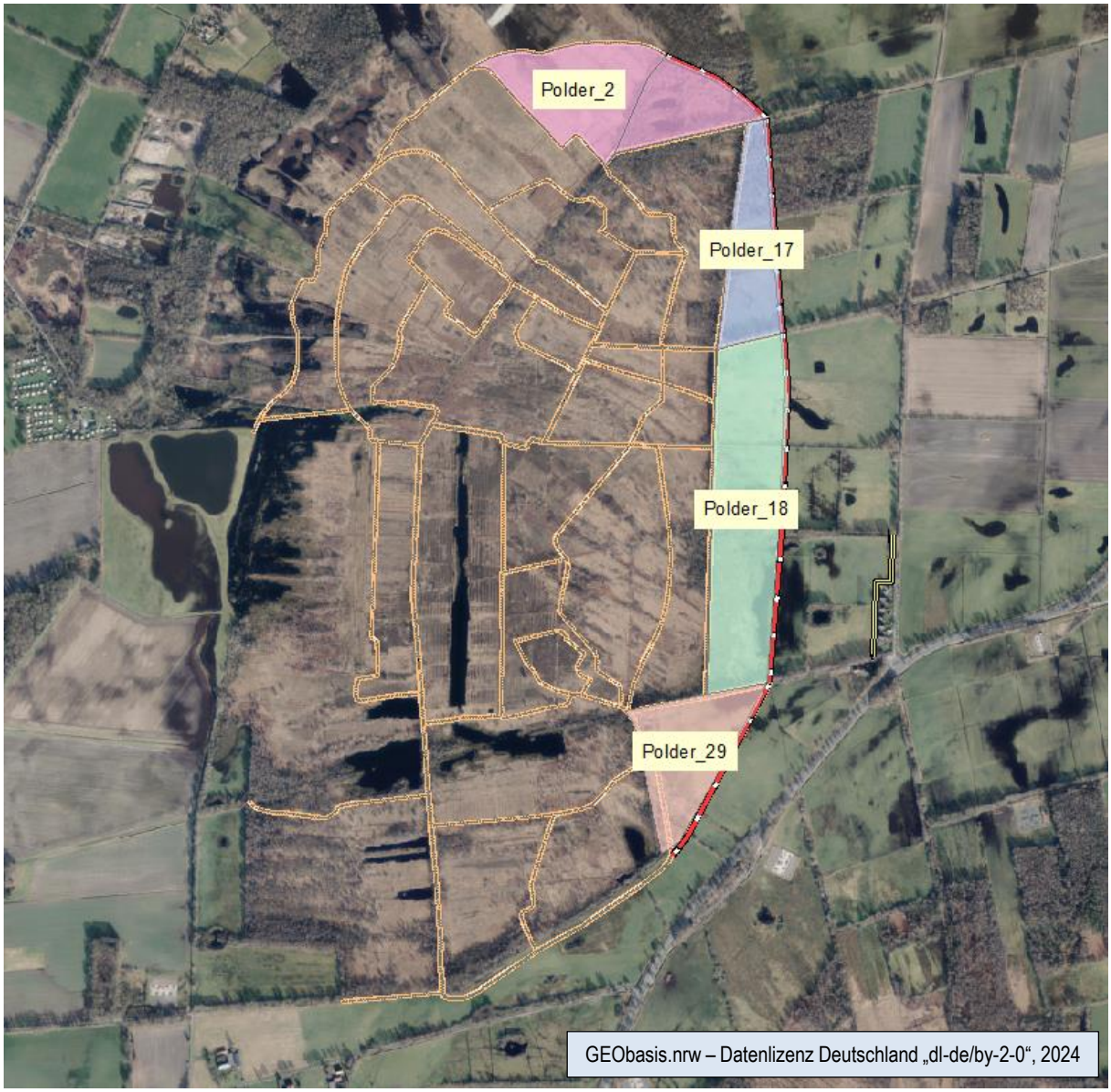


Abbildung 5-8: Lage der Flachwasserseen am östlichen Rand des Planungsgebietes

Abbildung 5-9 zeigt die Wasserstandsganglinien der östlichen Flachwasserseen. Die Toleranzbereiche sind durch die gepunkteten Linien gekennzeichnet.

Es ist gut erkennbar, dass die angestrebten Wasserstände nach der anfänglichen Einstauphase in den Flachwasserseen in den meisten Zeiten eingehalten werden können. In den Sommermonaten kann es jedoch auch zu einem unterschreiten der tolerablen Wasserstände kommen. Des Weiteren gibt es auch kurze Phasen, in denen die Zielwasserstände überschritten werden (vgl. Abbildung 5-9).

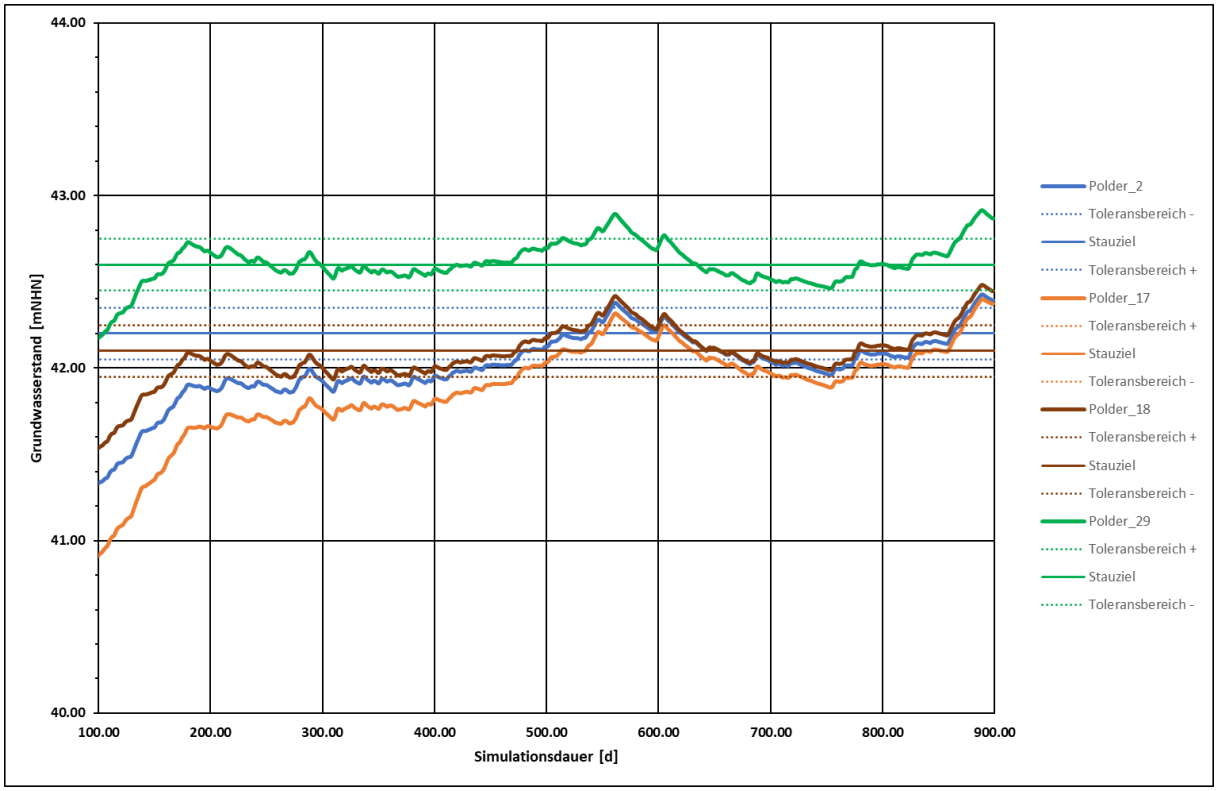


Abbildung 5-9: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den östlichen Flachwasserseen (Polder 2, Polder 17, Polder 18 und Polder 29), Stauziele und Toleranzbereiche

In Abbildung 5-11 sind die Wasserstandsganglinien in den Poldern 5, 6, 16 und 20 zusammengestellt. Diese Polder liegen im Norden des Planungsgebietes und zeichnen sich dadurch das, dass sie über zwei oder mehr Zuläufe verfügen. Nach der „Einstauphase“ zu Beginn der Modellierung ist es in allen Polderbereichen möglich die Zielwasserstände in den meisten Zeiten einzuhalten. In den Sommermonaten kann es vorkommen, dass die Toleranzbereiche auch kürzere Zeiten geringfügig unterschritten werden.

Abbildung 5-10: Lage der Polderbereiche mit zwei oder mehr Zuläufen (im nördlichen Bereich)

Im nördlichen Bereich befinden sich Polder mit einem Stauziel um etwa 42,50 mNHN. Nach einer anfänglichen Einstauphase können in allen Poldern die Stauziele gut erreicht werden und auch in den Sommermonaten werden die Stauziele nicht nennenswert unterschritten. Diese Bereiche zeichnen sich also dadurch aus, dass die definierten Ziele mit den geplanten Maßnahmen sehr gut erreicht werden können.

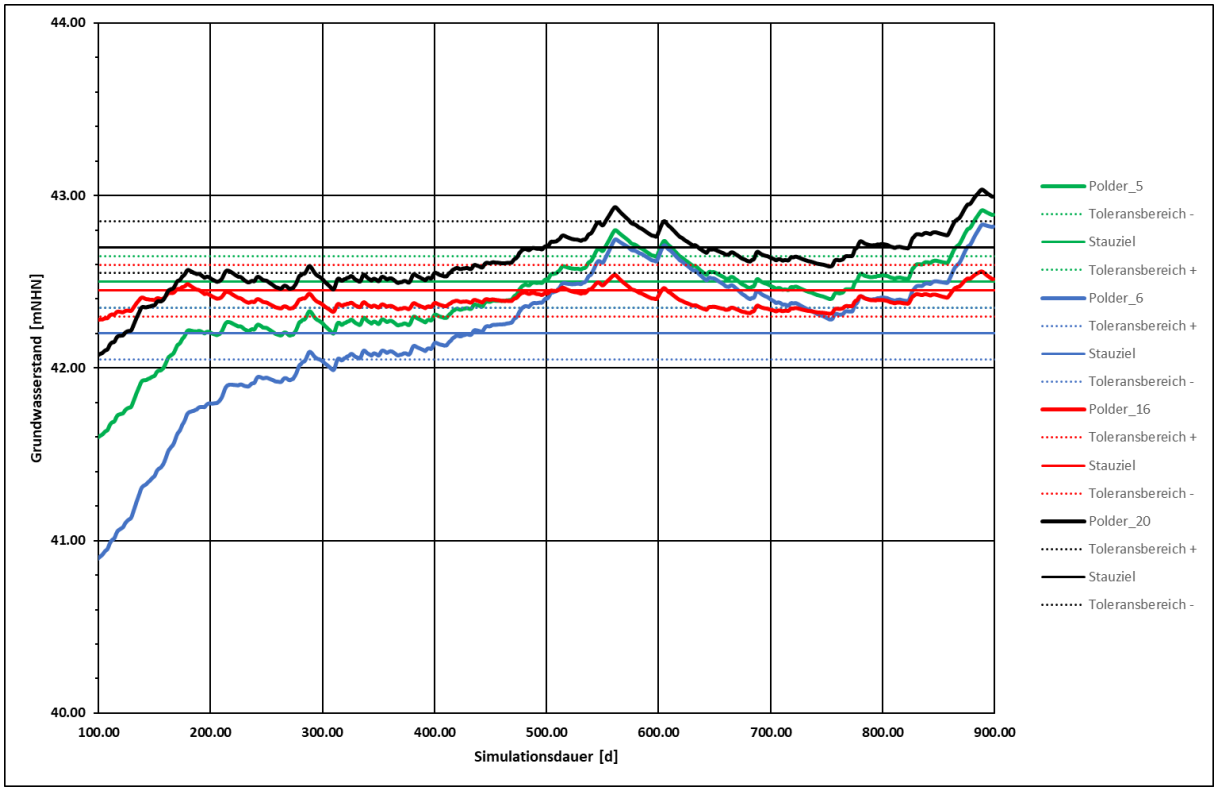


Abbildung 5-11: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den nördlichen Polderbereichen mit zwei und mehr Zuflüssen (Polder 5, Polder 6, Polder 16 und Polder 20), Stauziele und Toleranzbereiche

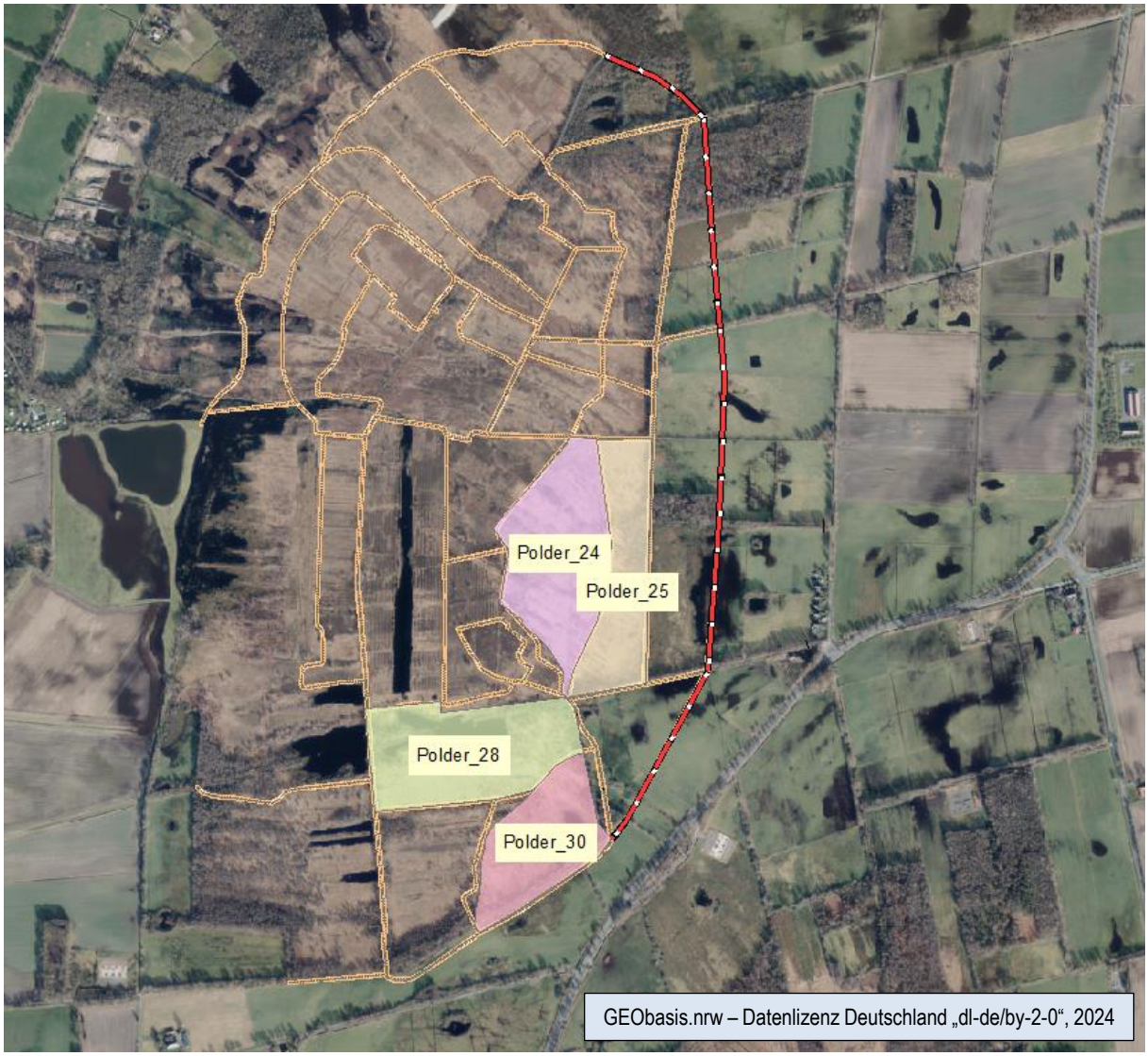


Abbildung 5-12: Lage der Polderbereiche mit zwei oder mehr Zuläufen (im südlichen Bereich)

Die im mittleren und südlichen Bereich gelegenen Polder 24 / 25 und 28 / 30 verfügen über mehrere Zuflüsse. Alle Polder können nach der Anstauphase können die Zielwasserständen nach der Einstauphase erreichen. Durch Maßnahmenoptimierung konnte erreicht werden, dass der zuvor deutlich abgesenkte Wasserstand im Polder 30 über lange Zeiträume relativ konstant auf einem Niveau nahe dem Zielzustand gehalten werden kann (vgl. Abbildung 5-13).

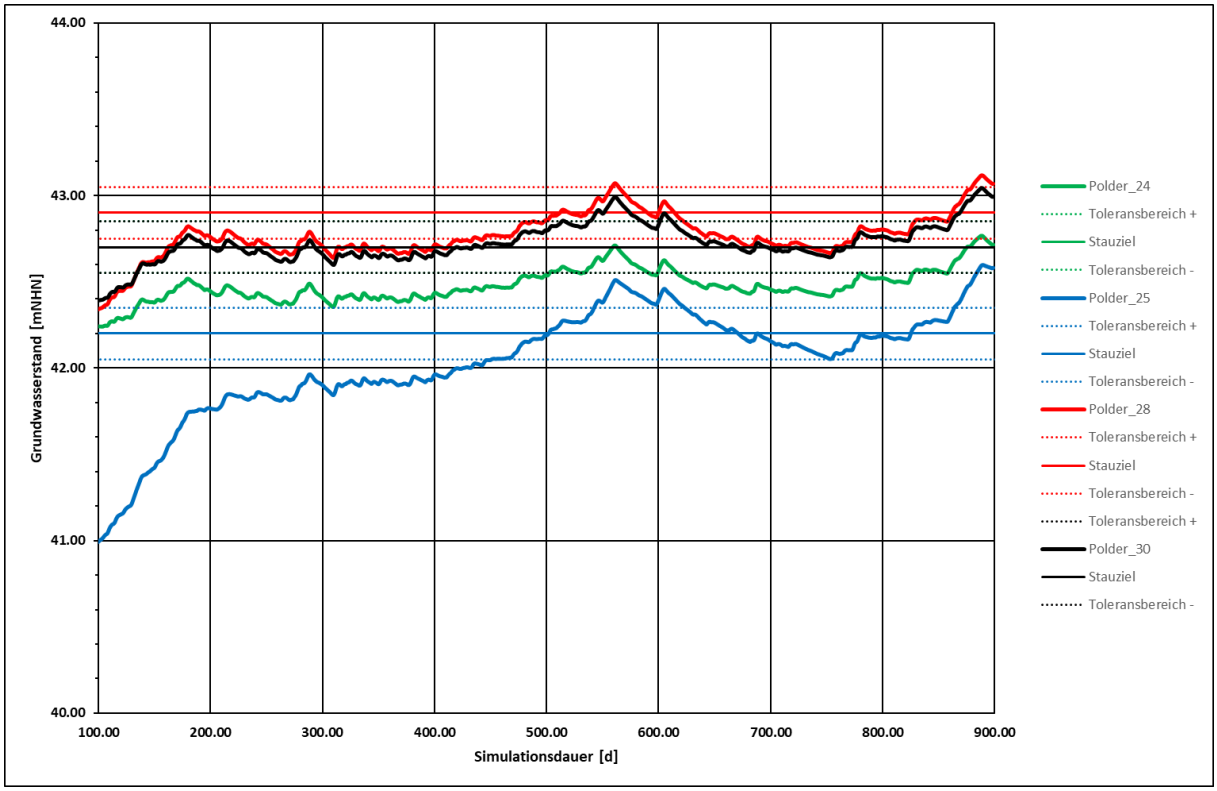


Abbildung 5-13: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den südlichen Polderbereichen mit zwei und mehr Zuflüssen (Polder 24, Polder 25, Polder 28 und Polder 30), Stauziele und Toleranzbereiche

Abbildung 5-14: Lage der hochgelegenen, teilweise grenzüberschreitenden Polderbereiche (Polder 12, Polder 13, Polder 14)

Die Polderbereiche 12, 13 und 14 sind neben dem Polder 27 die Bereiche mit den höchsten Stauzielen. Aufgrund dieser Tatsache verfügen sie nur über wenig oder aber keine Zuflüsse aus anderen Polderbereichen und sind vollständig auf Zustrom durch Niederschlag angewiesen. Darüber hinaus ist entscheidend, dass die Verluste durch Versickerung in das Grundwasser oder aber durch die Dämme in benachbarte Polder möglichst gering sind.

Der fehlende Zustrom aus anderen Bereichen führt dazu, dass die Anstauphase in diesen Bereichen deutlich länger dauert. Darüber hinaus sind diese Bereiche auch deutlich anfälliger gegenüber Trockenperioden, da auch in Zukunft der Wiederanstau in diesen Bereichen entsprechend mehr Zeit benötigen wird.

Der Modellierungszeitraum erstreckt sich über knapp drei Jahre, innerhalb dieser Zeitspanne können alle drei Polder bis zum Stauziel bzw. bei Polder 12 bis knapp unter dem Stauziel eingestaut werden (vgl. Abbildung 5-15).

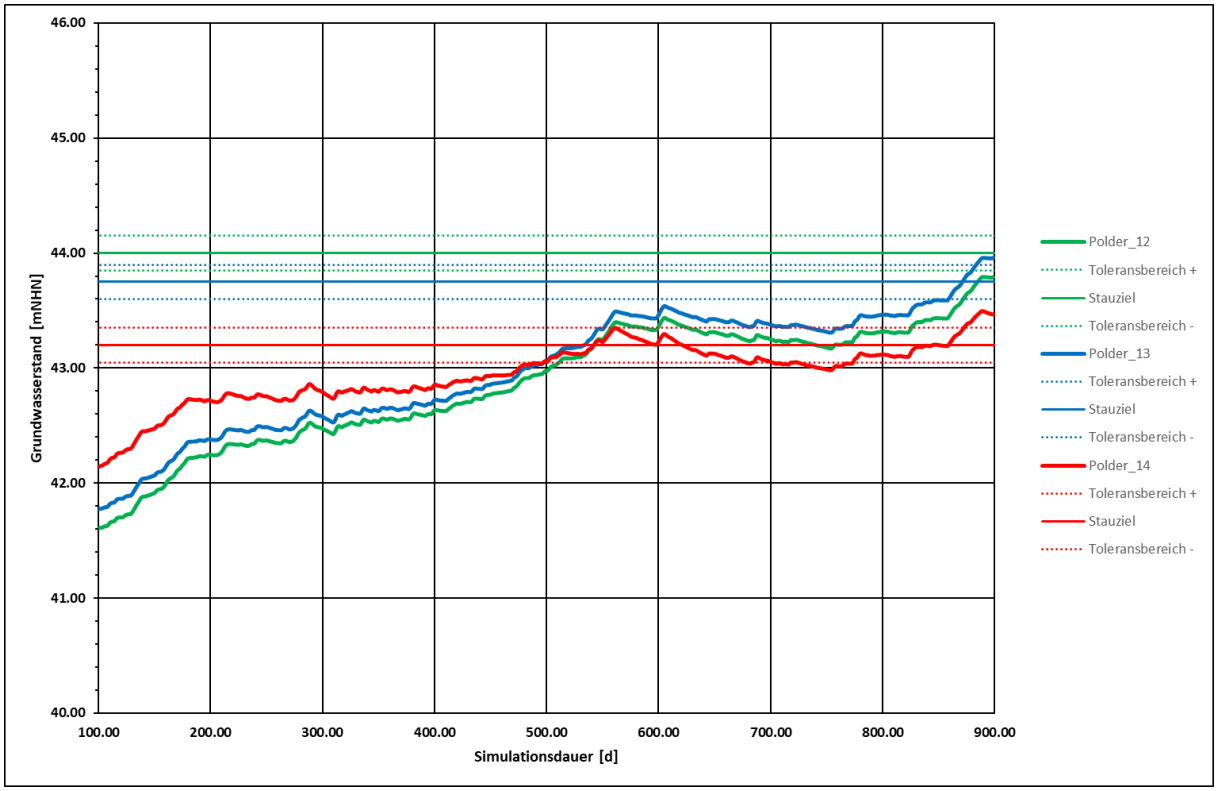


Abbildung 5-15: Darstellung der Wasserstandsganglinien in den hochgelegenen, teilweise grenzüberschreitenden Polderbereichen (Polder 12, Polder 13, und Polder 14), Stauziele und Toleranzbereiche

Abbildung 5-16: Lage der Polderbereiche im westlichen Anströmungsbereich (Polder 23, Polder 31, Polder 32 und Polder 33)

Die Polder 23, 31, 32 und 33 befinden sich am westlichen Rand des Maßnahmenbereichs. Bei Polder 32 und Polder 33 handelt es sich nicht um wirkliche Polderbereiche, da sie nicht von allen Seiten von Deichen umgeben sind. Über diese Bereiche erfolgt der Grundwasserzustrom in den Maßnahmenbereich. Anhand der Wasserstandsganglinien (vgl. Abbildung 5-17) lässt sich dies gut erkennen. Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Poldern ist in den hier gezeigten Bereichen eine deutlichere Dynamik der Wasserstandsschwankungen zu erkennen.

Der Grund hierfür sind die fehlenden Dämme und Dichtungen, die bei den anderen Bereichen für eine deutliche Abschwächung der Dynamik sorgen.

Bei Polder 31 ist gut zu erkennen, dass die Einstauphase noch nicht beendet ist. Eine deutliche Akkumulation ist hier erkennbar. Hier ist zu erwarten, dass der Zielwasserstand zumindest zeitweise erreicht werden kann. Aufgrund der fehlenden Dichtung im südlichen Abstrombereich des Polders wird jedoch weiterhin eine deutliche Dynamik der Wasserstandsschwankungen bestehen bleiben.

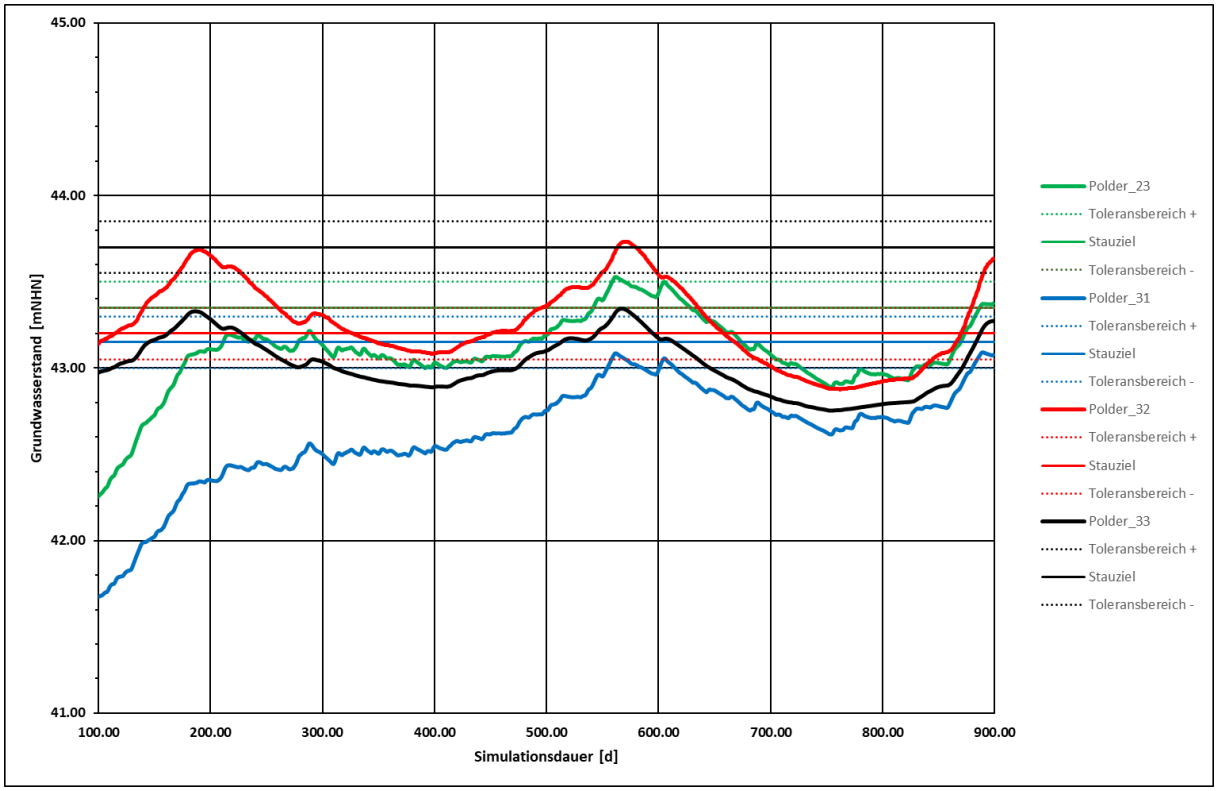


Abbildung 5-17: Darstellung der Wasserstandsganglinien im westlichen Anströmungsbereich (Polder 23, Polder 31, Polder 32 und Polder 33), Stauziele und Toleranzbereiche

Abbildung 5-18: Lage des Polders mit der höchsten Stauzieldifferenz (Polder 27)

Polder 27 ist der höchstgelegene Polder mit einem Stauziel von 44,35 mNHN und der größten Stauzieldifferenz zu den umliegenden Bereichen. Die umliegenden Dämme verfügen alle im Zielzustand über Torfdichtungen, nichtsdestotrotz ist dieser Bereich insbesondere aufgrund der großen Stauzieldifferenzen besonders anfällig für Verluste in benachbarte Bereiche und das Grundwasser.

Wie auch die anderen besonders hoch gelegenen Polder verfügt dieser über keine Zuflüsse und muss dementsprechend ausschließlich über Niederschlag gespeist werden. Die Einstauphase, also die Zeit, die benötigt wird, bis das Stauziel erstmals erreicht wird, dauert bei diesem Polder entsprechend besonders lange (vgl. Abbildung 5-19). Nach Ablauf der Simulationszeit wird ein (Grund) -Wasserstand von etwa 43,70 mNHN erreicht, was etwa 65 cm unterhalb des anvisierten Stauziels liegt.

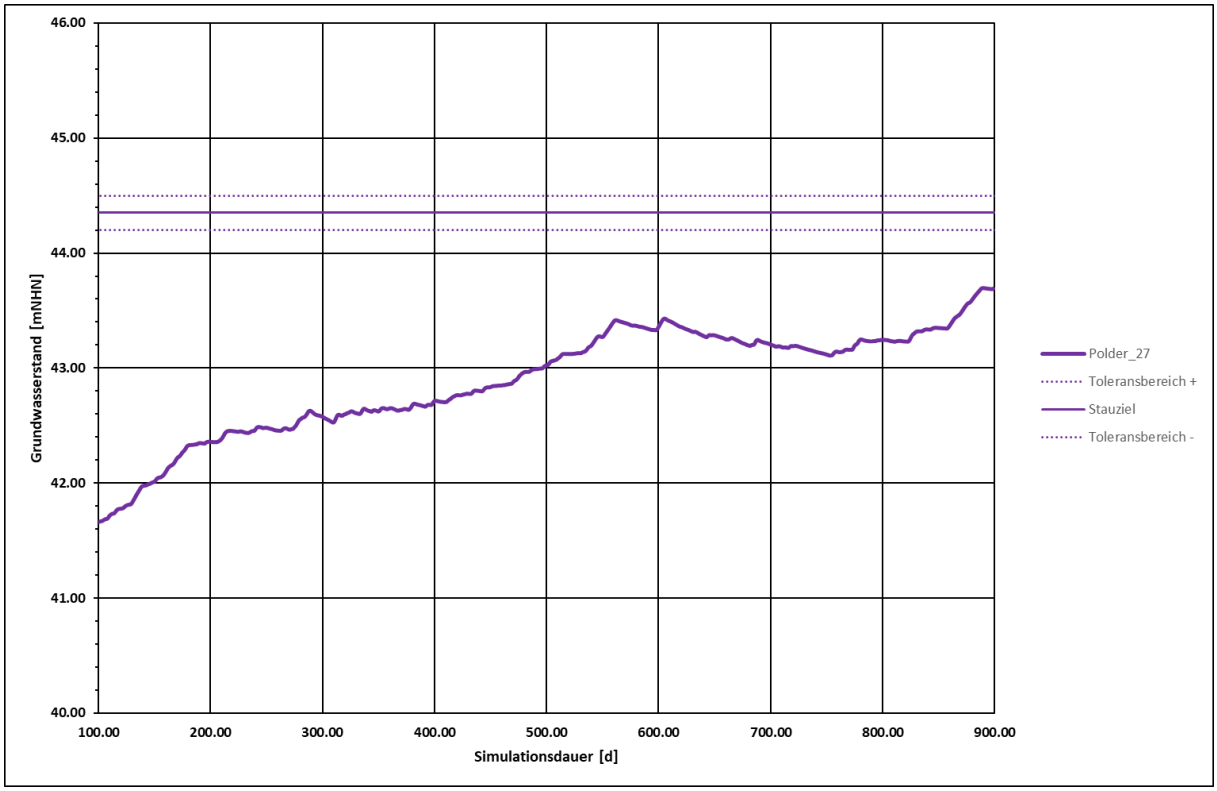


Abbildung 5-19: Darstellung der Wasserstandsganglinien im Polder mit der höchsten Stauzieldifferenz und höchstem Stauziel (Polder 27), Stauziele und Toleranzbereiche

Um für diesen und die anderen hoch gelegenen Polder besser abschätzen zu können wie lange die Einstauphase dauert, und um zu prüfen, ob bei diesen Polderbereichen ggf. ein höherer Einstau oberhalb des Zielwasserstandes zu einer verbesserten Zielerreichung führt, wurden weitergehende Untersuchungen durchgeführt. Diese sind in Kapitel 6.4 zusammengestellt.

Die Auswertungen der einzelnen Polderbereiche zeigen, dass in großen Teilen des Maßnahmenbereichs die Ziele zur Wiedervernässung gut bis sehr gut erreicht werden können. In einzelnen Polderbereichen dauern die Einstauphasen bis zur Erreichung der Zielwasserstände länger. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Zuflüsse je nach Höhenlage der Polder unterschiedlich ausgeprägt sind.

Die Polder im westlichen Zustrombereich zeichnen sich durch eine deutlich größere Dynamik aus, was aber aufgrund der dort nur in Teilbereichen vorhandenen Dämme und Dichtungen nicht überraschend ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass die hydrologischen Rahmenbedingungen ausreichen, um in normalen Jahren nach Abschluss der Einstauphase über längere Zeiträume die Zielwasserstände innerhalb der hohen Kompartimente einzuhalten.

5.1.3.3 Auf die Abflussverhältnisse

Die im Osten verlaufende Dichtwand trennt zwei Gräben ab, welche im Hündfelder Moor beginnen und im späteren Verlauf zu linksseitigen Zuflüssen des Flörbachs werden. Das Abflussregime aller abführenden Gewässer soll durch die Maßnahmen nicht gravierend verändert werden. Im Zielzustand wird Wasser durch die Dichtwand in Versickerungsbereiche geleitet; aus diesen Versickerungsbereichen speisen sich die zwei Gräben.

Um die Änderungen der Abflussverhältnisse zu ermitteln, ist es notwendig, zunächst die Abflussverhältnisse im Istzustand zu kennen. Da die dort installierten Pegel leider nicht die benötigten Daten liefern können, ist es erforderlich, den Istzustand anders zu beschreiben.

Zunächst wurde daher geprüft, wie die Abflussverhältnisse im Istzustand auf Basis der regionalisierten Abflusskennwerte NRW aussehen.

Abbildung 5-20 zeigt die Einzugsgebiete des Flörbachs sowie das Teileinzugsgebiet der Gräben im Projektgebiet.

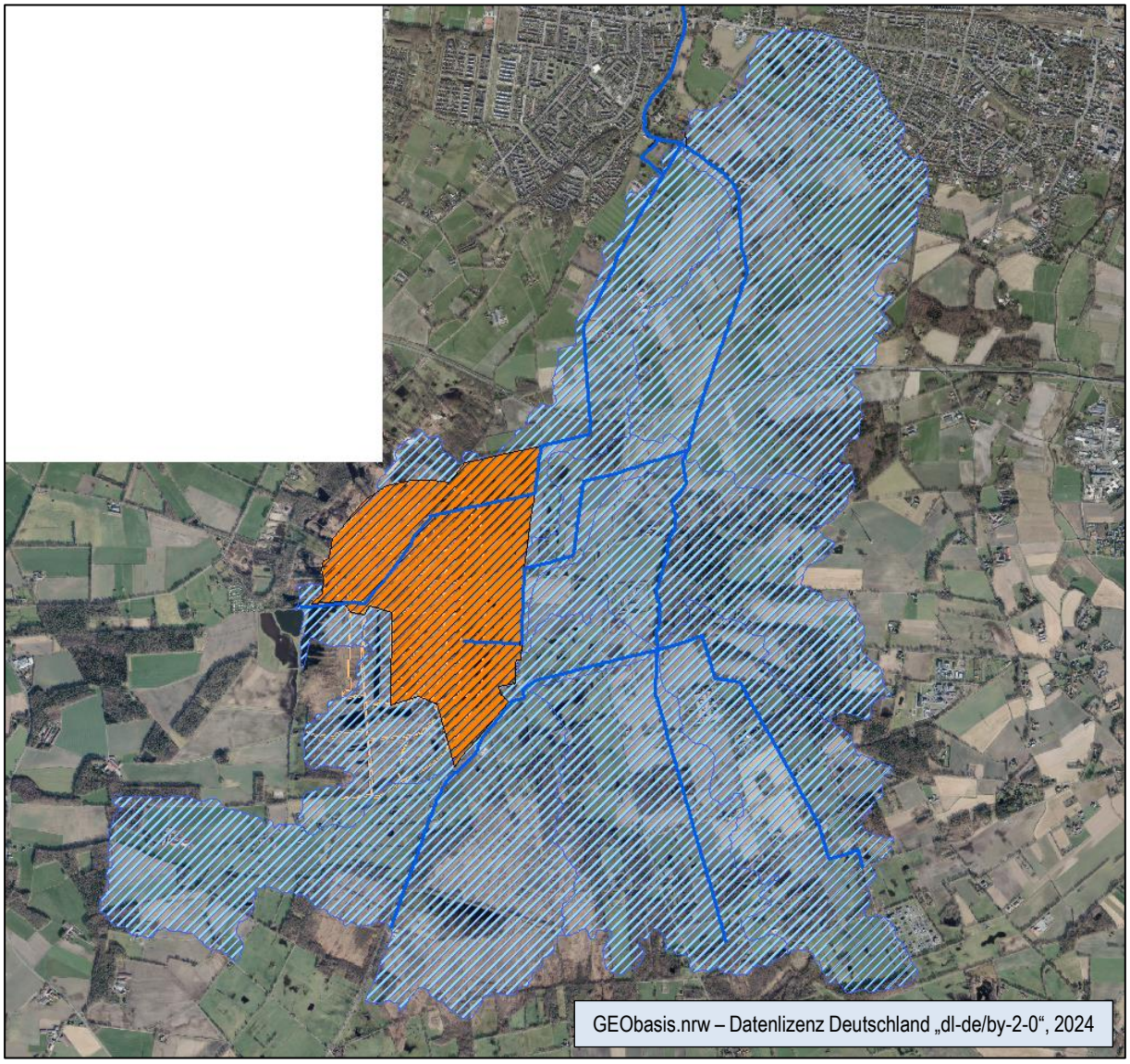


Abbildung 5-20: Einzugsgebiet des Flörbachs (blau schraffierte Fläche) sowie Teileinzugsgebiet der Gräben im Projektgebiet (orange schraffiert)

Auf deutscher Seite umfasst das Einzugsgebiet des Flörbachs etwa 17,5 km², das Teileinzugsgebiet der Gräben beträgt etwa 1,7 km². Der Anteil des Teileinzugsgebietes der Gräben am Einzugsgebiet auf deutscher Seite beträgt somit etwa 10%. Laut Angaben der regionalisierten Abflusskennwerte beträgt das Gesamteinzugsgebiet nach Zusammenfluss mit der Glanerbeek etwa 42,9 km². Da der Zusammenfluss des Flörbachs mit der Glanerbeek direkt unterhalb des Zusammenflusses der Gräben mit dem Flörbach erfolgt, erscheint es sinnvoll das Gesamteinzugsgebiet zu betrachten.

Tabelle 5-2 zeigt eine Zusammenstellung der Abflüsse, Spenden und EZG-Größen für Flörbach und Gräben.

Tabelle 5-2: Zusammenstellung Einzugsgebietsgrößen, Abflussspenden und Abflüsse für Flörbach und Gräben

Gewässer	EZG	Abflussspende MQ	Abfluss MQ	Abflussspende MNQ	Abfluss MNQ
	[km^2]	[$l/s*km^2$]	[l/s]	[$l/s*km^2$]	[l/s]
Flörbach	42.87	10.63	455.71	1.17	50.16
Gräben	1.70	7.72	13.12	0.38	0.65
Anteil Graben / Gesamt	4.0%		2.9%		1.3%

Der Anteil des Teileinzugsgebietes der Gräben am Gesamteinzugsgebiet beträgt etwa 4 %. Der Anteil des Abflusses der Gräben am Gesamtabfluss bei MQ liegt bei knapp 3 %, Abflussanteil bei MNQ bei etwa über 1 %.

Der sinkende Abflussanteil bei kleineren Abflüssen ist vermutlich auf die Tatsache zurückzuführen, dass die im Hündfelder Moor entspringenden Gräben in den Sommermonaten in der Regel trockenfallen. In der Gesamtbetrachtung haben die Gräben kaum einen Einfluss auf die Abflussverhältnisse im Flörbach.

Neben den regionalisierten Abflusskennwerten wurde im Rahmen des Projektes auch ein Wasserbilanzmodell zur Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet aufgestellt. Mit Hilfe dieses Modells wurden ebenfalls Auswertungen zu mittleren Verhältnissen, aber auch Abflussganglinien für den Jahresverlauf erstellt (vgl. Kapitel 2.3). Die Ergebnisse (bspw. mittlere Abflussspende von 9,3 l/s) passen sehr gut zu den Daten der Regionalisierung.

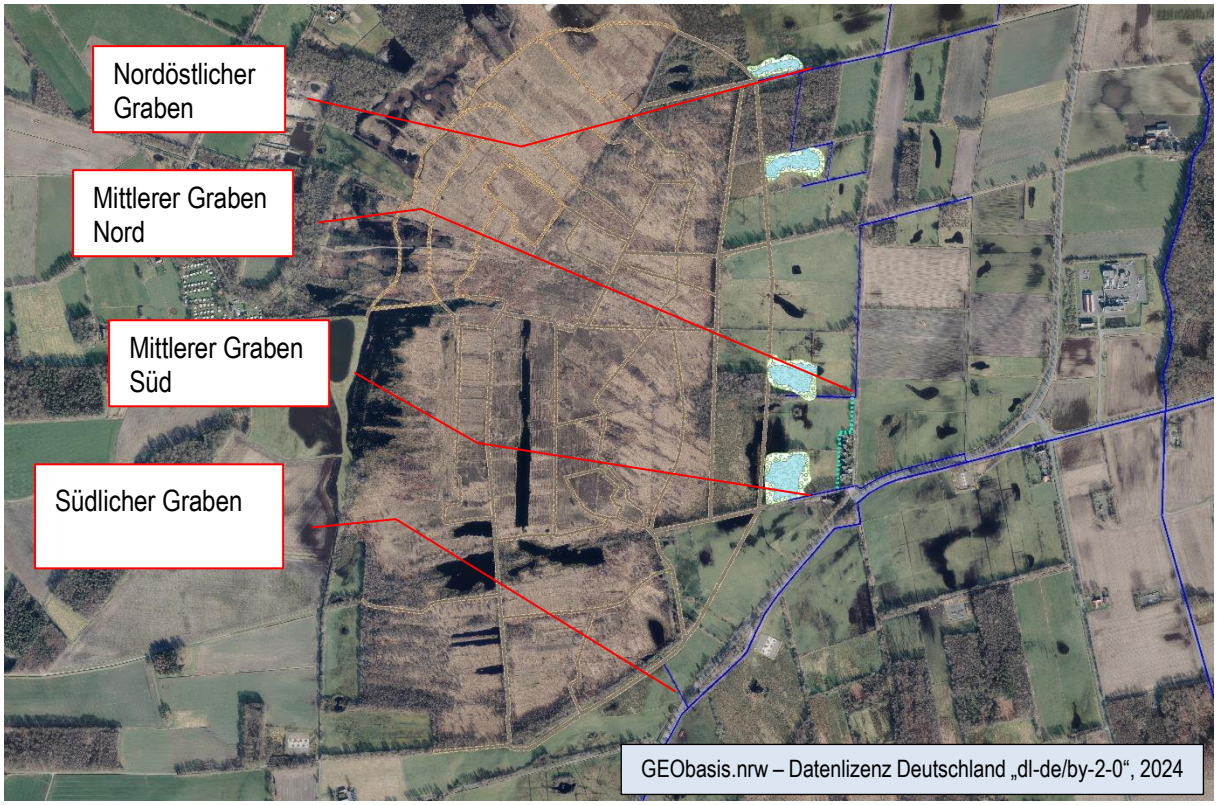


Abbildung 5-21: Lage der zu untersuchenden Gräben im Planungsbereich

Neben den beschriebenen Datenquellen wurden die Grundwassermodelle für Istzustand und Zielzustand ausgewertet und die Abflüsse im Istzustand und Zielzustand der vier Gräben im Nordosten, Osten und Süden des Planungsgebietes zusammengestellt (vgl. Abbildung 5-21).

Im Istzustand fließen im nordöstlichen Graben im Mittel etwa 6,2 l/s ab. Im Zielzustand erhöht sich der mittlere Abfluss auf 8,8 l/s (um etwa 30 %) (vgl. Abbildung 5-22). Die Abflussganglinie wird deutlich vergleichmäßigt. Hochwasserspitzen werden im Zielzustand geglättet. Die Zeiten, in denen die Gräben trockenfallen, oder sehr wenig Wasser führen, werden im Zielzustand deutlich verringert.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass, im Falle von Niederschlagsereignissen Hochwasserspitzen abgefangen und in den Poldern und Versickerungsbereichen zwischengespeichert werden. Erst bei Überschreiten der Zielwasserstände in den Flachwasserseen wird Wasser über die Versickerungsbereiche weiter in die Gräben geleitet.

In Bezug auf den Flörbach sind die Änderungen im Abflussregime jedoch sehr gering, da der Abfluss der Gräben am Gesamtabfluss des Flörbach-Systems sehr klein ausfällt.

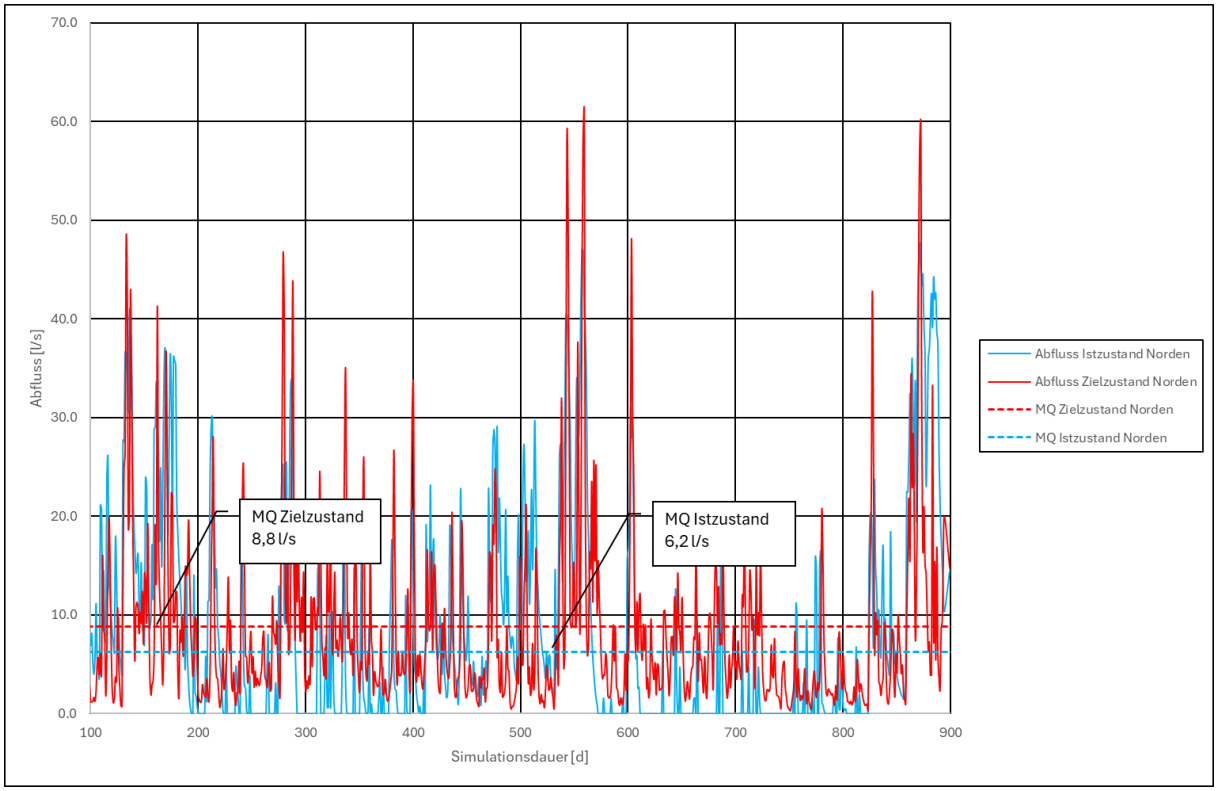


Abbildung 5-22: Vergleich der Abflüsse [l/s] des nördlichen Grabens im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot)

In den beiden mittleren Gräben sehen die Verhältnisse etwas anders aus (vgl. Abbildung 5-23 und Abbildung 5-24). Auch hier findet eine Vergleichmäßigung der Abflüsse statt und Hochwasserspitzen werden reduziert. Im Zielzustand nimmt der mittlere Abfluss in diesen Gräben ebenfalls leicht zu (von 5,96 auf 6,14 l/s bei mittleren Graben Nord und von 5,37 auf 5,56 l/s beim mittleren Graben Süd).

Auch die beiden mittleren Gräben fallen infolge der Vergleichmäßigung seltener trocken als im Istzustand.

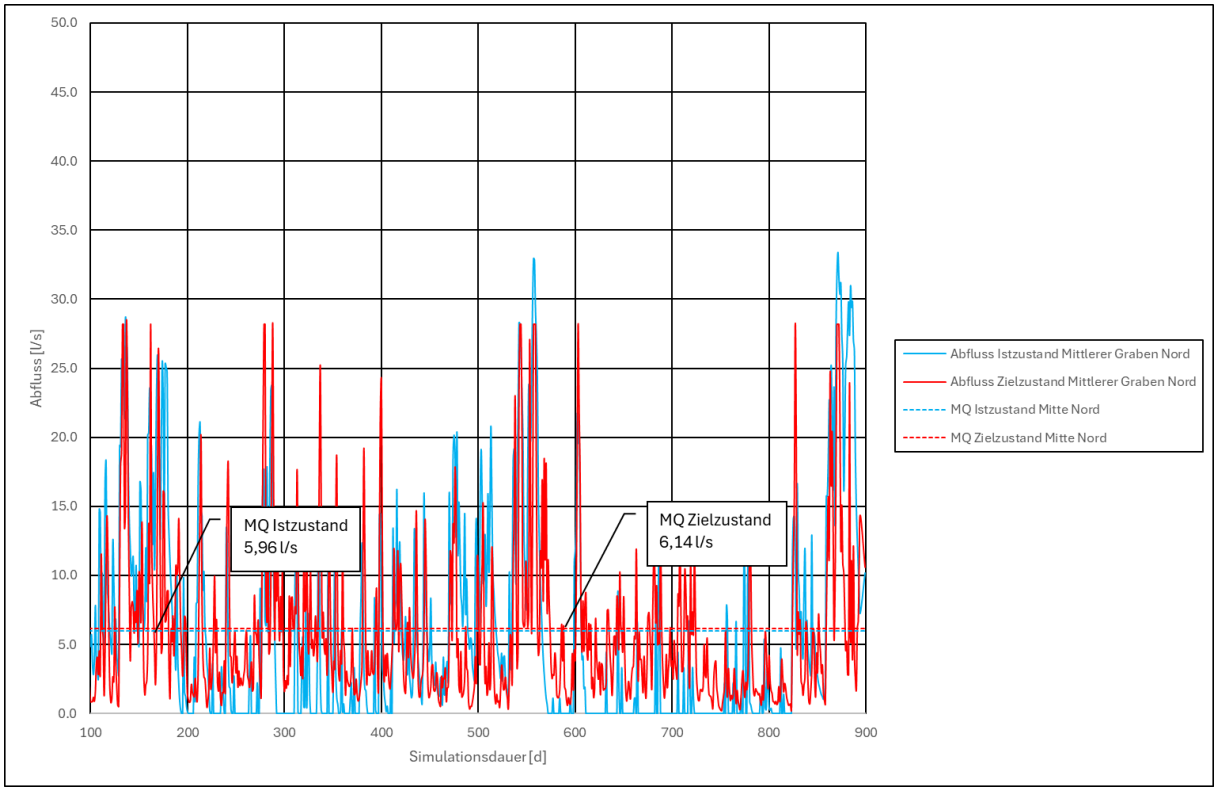


Abbildung 5-23: Vergleich der Abflüsse [l/s] des mittleren Graben-Nord im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot)

Auch der mittlere Abfluss im südlichen Graben nimmt im Zielzustand geringfügig zu. Dieser Graben ist auch nicht als Gewässer in der Gewässerstationierungsklarte aufgeführt. Er verfügt im Istzustand über einen mittleren Abfluss von etwa 5 l/s und ist heutzutage geprägt durch häufiges Trockenfallen, insbesondere in den Sommermonaten.

Die Hochwasserspitzen werden bei diesem Graben nicht so massiv abgedämpft wie bei den anderen Gräben. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesem Graben kein Versickerungsbereich zwischen den Polderbereichen und dem Gewässer angeordnet ist.

Aufgrund der höheren Grundwasserstände im Zielzustand und durch die Pufferung von Niederschlagsereignissen nehmen die Hochwasserspitzen im Zielzustand geringfügig ab. Gleichzeitig fällt der Graben im Zielzustand seltener trocken. Der mittlere Abfluss steigt um etwa 20 % an auf 6,4 l/s (vgl. Abbildung 5-25).

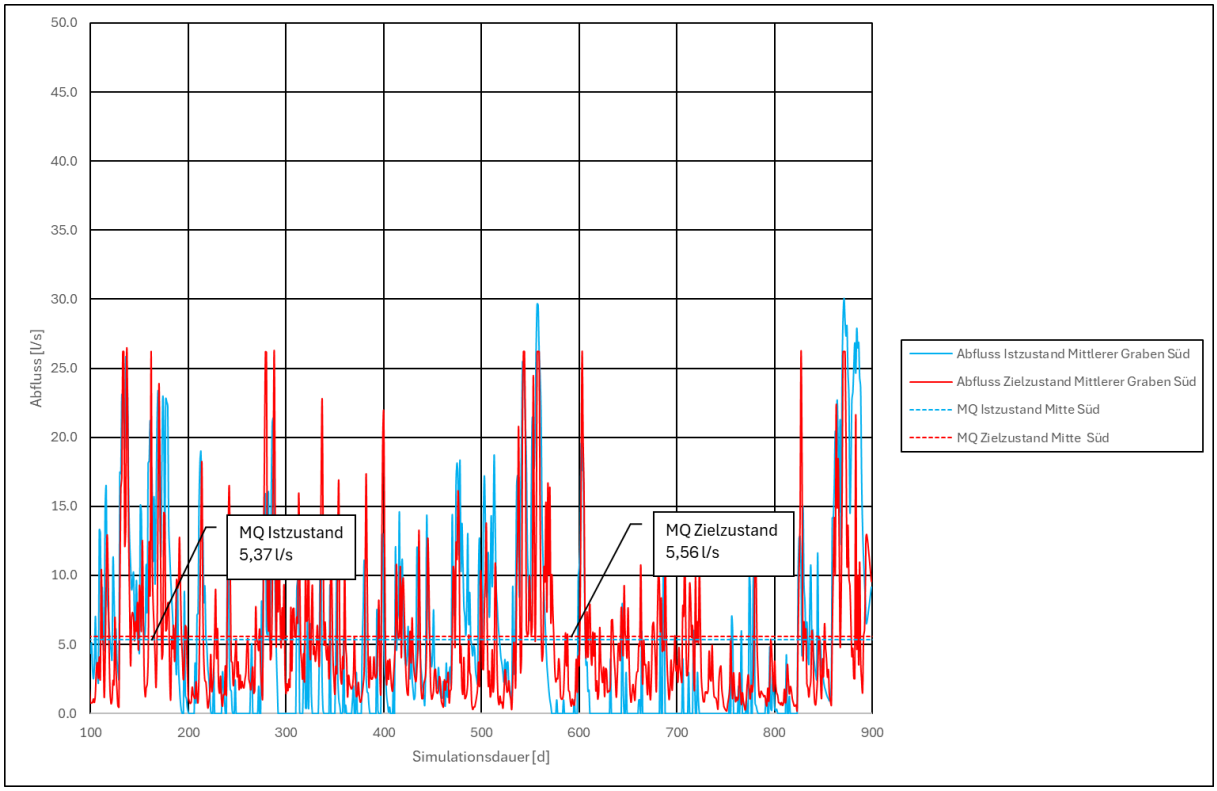


Abbildung 5-24: Vergleich der Abflüsse [l/s] des mittleren Graben-Süd im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot)

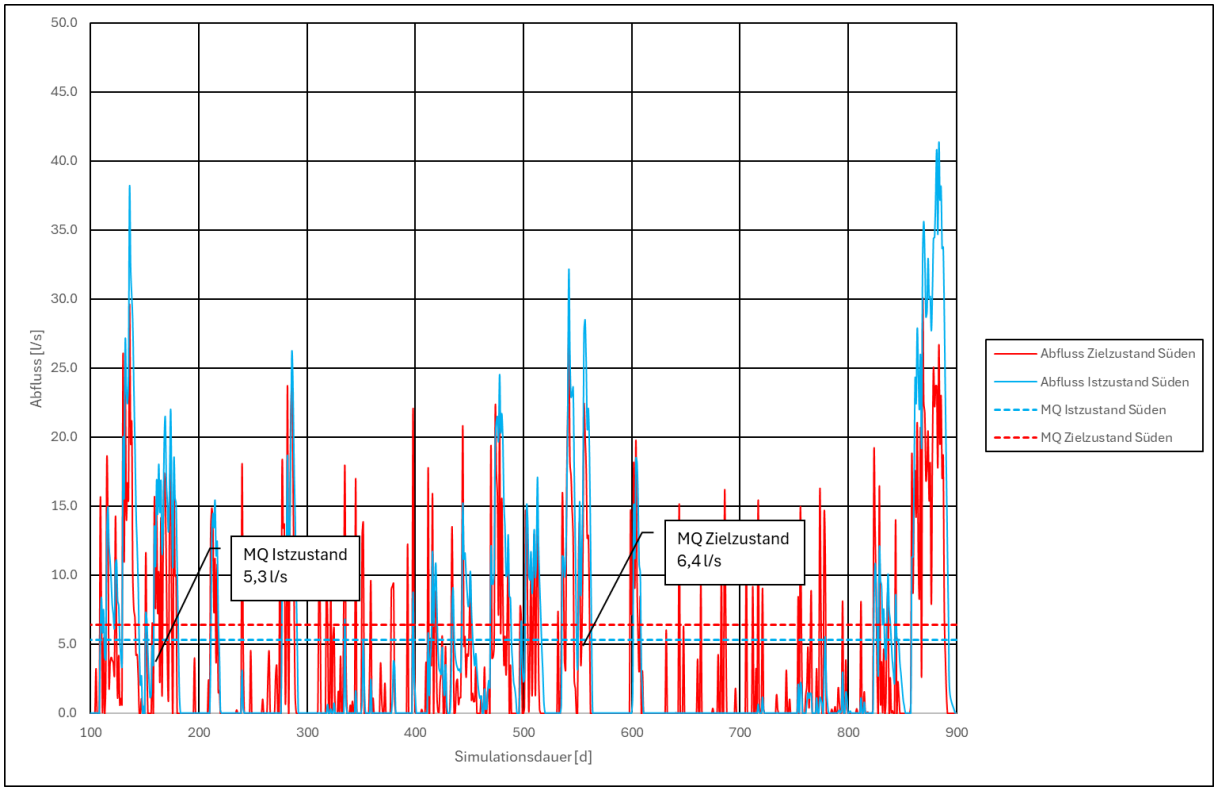


Abbildung 5-25: Vergleich der Abflüsse [l/s] des südlichen Grabens im Istzustand (blau) und Zielzustand (rot)

In Summe erhöhen sich die mittleren Abflüsse aller Gräben von etwa 22,8 l/s im Istzustand auf ca. 26,9 l/s im Zielzustand um etwa 16 %. Bezogen auf den Flörbach als nächstes zu bewertendes Hauptgewässer erhöht sich der Abfluss um etwa 5 %.

Durch die zuvor beschriebenen Erkenntnisse konnte gezeigt werden, dass sich die Abflussverhältnisse in den Gräben nur in einem sehr geringen Umfang ändern. Hervorzuheben ist, dass die Phasen des Trockenfallens in allen Gräben reduziert werden können, gleichzeitig wird durch die Polderung eine Pufferfunktion geschaffen, die mit dazu beitragen kann Hochwasserspitzen aus dem Gebiet abzufangen und somit die Hochwassergefahr im Flörbach zu reduzieren.

Da die Abflussverhältnisse in den Gräben nur einen sehr geringen Einfluss auf die Abflussverhältnisse im Flörbach haben, sind die positiven Auswirkungen ebenfalls entsprechend gering. Negative Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse durch die geplanten Maßnahmen sind dementsprechend nicht zu erwarten.

Insgesamt verringern sich die Abflussverhältnisse nur geringfügig. Die Trockenzeiten der Gräben nehmen im Zielzustand ab.

6 Optimierung der Maßnahmen

Die Modellierung des Zielzustandes basiert auf den Planungen zur Wiedervernässung der Biologischen Station Zwillbrock sowie der überarbeiteten Wiedervernässungsplanung von Hofer&Pautz aus 2024. Die Wirkung der Maßnahmen im Zielzustand wurde durch die im Rahmen der Hydrologischen Studie durchgeführten Modellierungen bestätigt.

Um die Zielerreichung zu maximieren, wurden verschiedene Optimierungen durchgerechnet, notwendige Anpassungen wurden direkt in die Maßnahmenplanung eingearbeitet (bspw. Zusätzliche Dichtungen in den südlichen Polderbereichen).

Weitere Optimierungsüberlegungen / Rechnungen und deren Auswirkungen auf die Maßnahmenplanungen werden nachfolgend beschrieben.

6.1 Notwendigkeit der Dichtwand am östlichen Rand des Maßnahmenbereichs

Die Grundwasserabdichtung am östlichen Rand des Maßnahmenbereichs ist die aufwändigste der geplanten Maßnahmen. Ziel hierbei ist der Aufstau des Grundwassers bis unter die Moorsohle, um die Versickerungsverluste aus dem Moorkörper in den Grundwasserkörper zu verhindern oder zu verringern.

Im Rahmen der Maßnahmenoptimierung soll geprüft werden, wie die Zielerreichung beeinflusst wird, wenn auf die Ausführung der geplanten Dichtwand verzichtet werden würde. Hierfür wurde das Modell des Zielzustandes berechnet, nur ohne die entsprechende Dichtung im östlichen Damm.

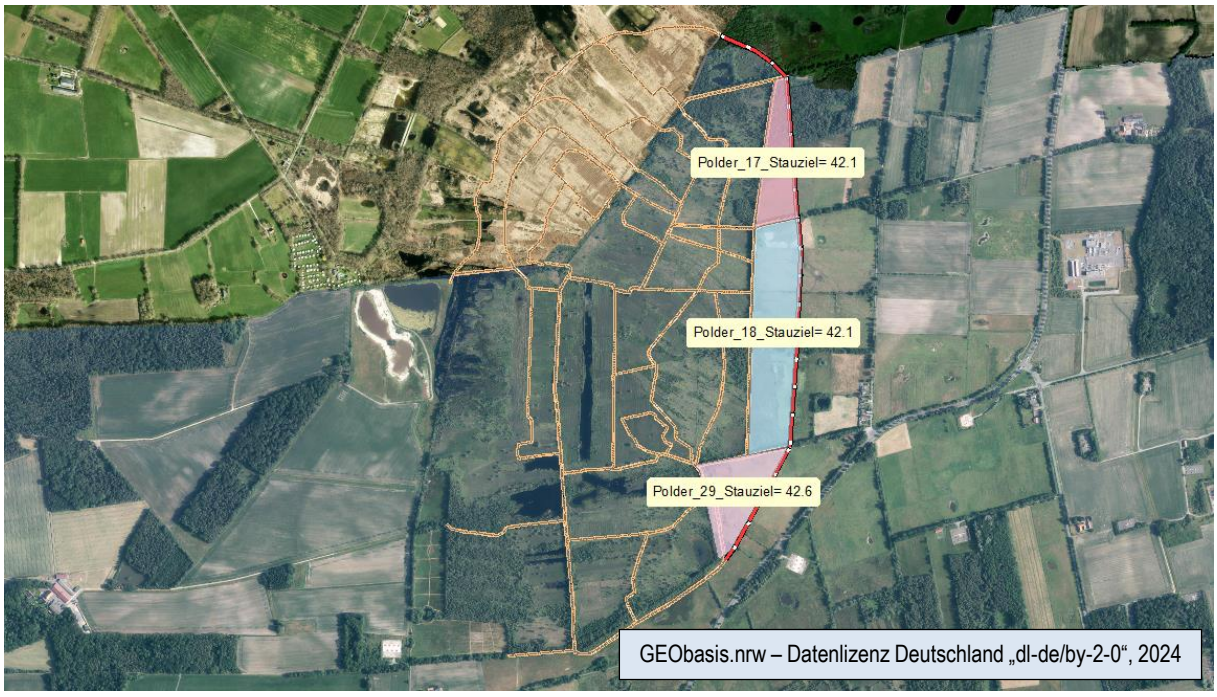


Abbildung 6-1: Lage der betrachteten Polder der Flachwasserseen mit Bezeichnung und Stauzielen

Für die Flachwasserseen (Polderbereiche 17, 18 und 29) wurden die Auswirkungen auf die Wasserstandsentwicklungen ausgewertet (vgl. Abbildung 6-1) und die Unterschiede für den Zielzustand mit Grundwasserabdichtung und ohne Grundwasserdichtung dargestellt.

Abbildung 6-2 zeigt die Wasserstandsentwicklung im Polder 17 im Zielzustand mit und ohne Grundwasserabdichtung.

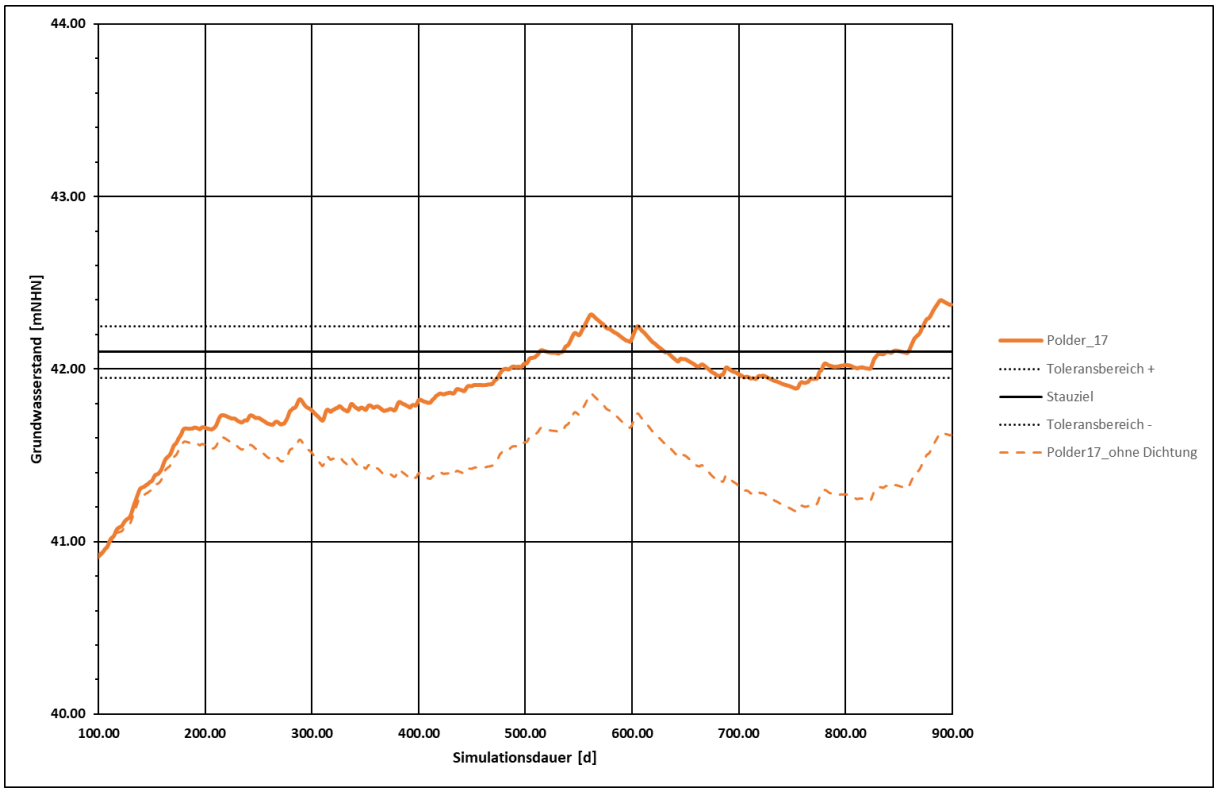


Abbildung 6-2: Wasserstandsentwicklung im Polder 17 im Zielzustand mit Grundwasserabdichtung (durchgezogene Linie) und ohne Abdichtung (gestrichelte Linie) sowie Stauziel und Toleranzbereiche

Wie in Abbildung 6-2 deutlich zu erkennen ist, wird durch den Verzicht auf die Grundwasserabdichtung das Stauziel im Polder 17 zu keinem Zeitpunkt erreicht. Die Wasserspiegellage sinkt im Verlauf der Simulation bei dem Vergleich zwischen Zielzustand mit Dichtwand und ohne Dichtwand um etwa 1 m ab.

Abbildung 6-3 zeigt die Wasserstandsentwicklung im Polder 18 im Zielzustand mit und ohne Grundwasserabdichtung. Hier zeichnet sich ein ähnliches Bild ab wie bei Polder 17. Auch bei Polder 18 sinkt der Wasserstand deutlich ab im Vergleich zum Zielzustand mit Grundwasserabdichtung.

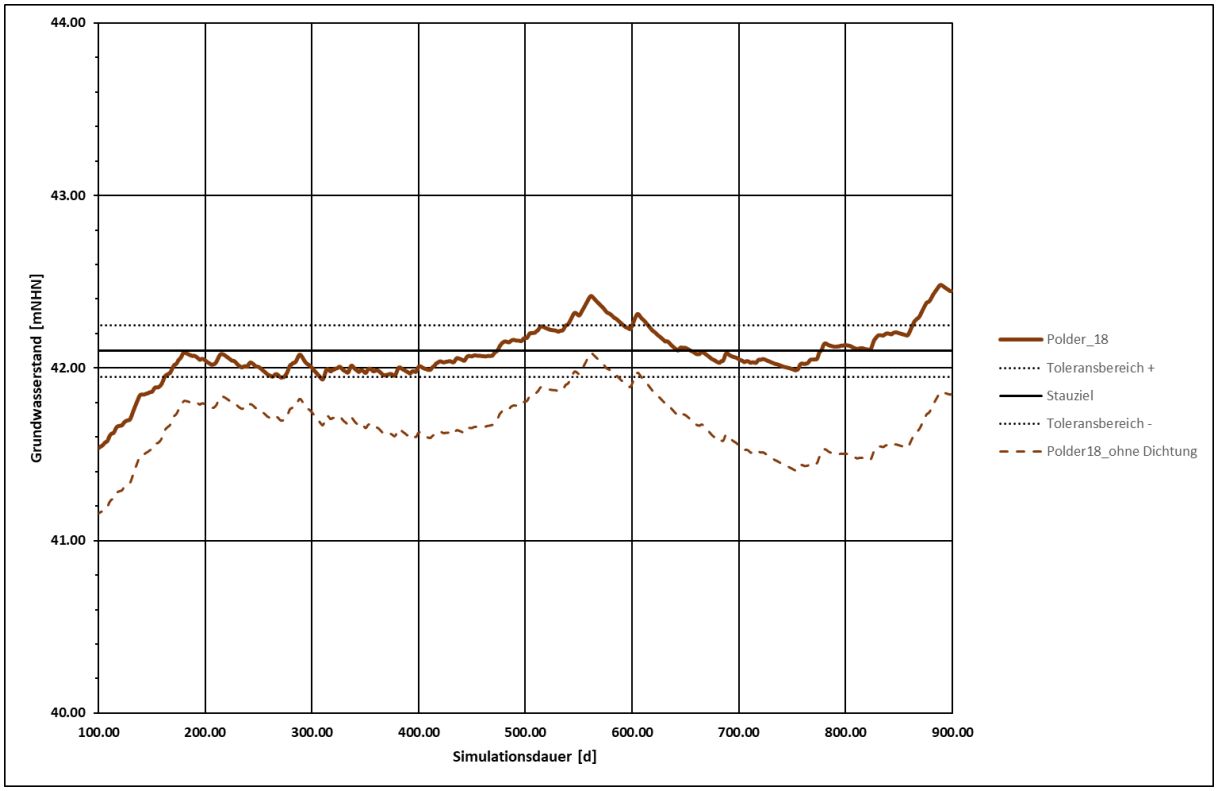


Abbildung 6-3: Wasserstandsentwicklung im Polder 18 im Zielzustand mit Grundwasserabdichtung (durchgezogene Linie) und ohne Abdichtung (gestrichelte Linie) sowie Stauziel und Toleranzbereiche

Wie schon zuvor bei den Poldern 17 und 18 zeigt sich auch bei Polder 29 (vgl. Abbildung 6-4), dass die Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen im Zielzustand bei einem Verzicht auf die Grundwasserabdichtung sehr massiv sind. Auch hier werden die Stauziele nicht erreicht, die Wasserspiegellagen liegen deutlich unter den angestrebten Zielen.

Die zuvor gezeigten Auswertungen der Flachwasserseen zeigen deutlich, dass die angedachten Ziele bei einem Verzicht auf die Dichtwand nicht im gleichen Maße realisiert werden können, wie bei den aktuellen Planungen. Durch den Einbau der Dichtwand sinkt das Grundwassergefälle von etwa 0,1 % im Istzustand auf etwa 0,07 % im Zielzustand ab (im Bereich der Maßnahmenplanung).

Das Anheben der Grundwasserstände mit Hilfe der geplanten Dichtwand im Maßnahmenbereich hat somit einen entscheidenden Anteil an der Zielerreichung.

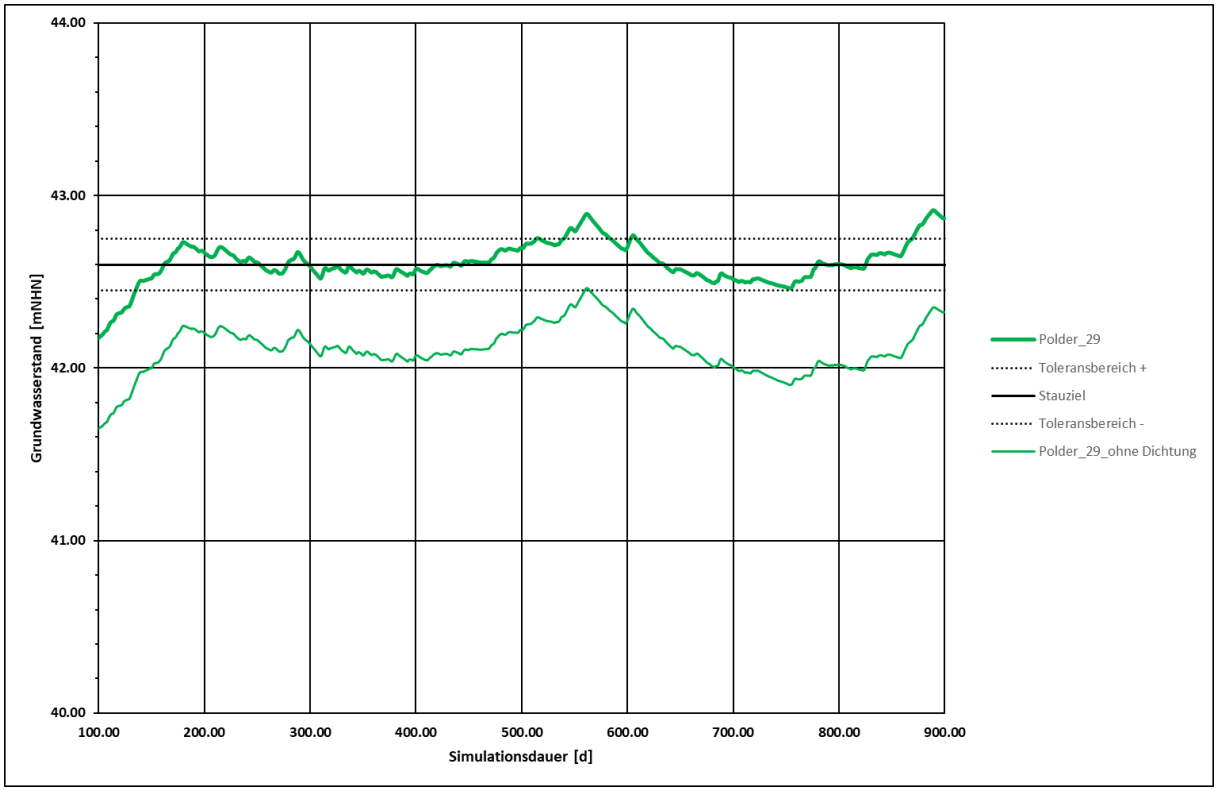


Abbildung 6-4: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung im Polder 29 im Zielzustand mit Grundwasserabdichtung (durchgezogene Linie) und ohne Abdichtung (gestrichelte Linie) sowie Stauziel und Toleranzbereiche

Abbildung 6-5 zeigt die Ergebnisse einer Vergleichsrechnung zwischen dem Zielzustand mit Dichtwand und dem Zielzustand ohne Dichtwand bei niedrigen Grundwasserverhältnissen. Es wird deutlich, dass die Grundwasserverhältnisse ohne Dichtwand flächendeckend deutlich niedriger sind. Insbesondere im Bereich der Flachwasserseen und Polderbereiche können die gewünschten Zielzustände ohne Dichtwand nicht erreicht werden.

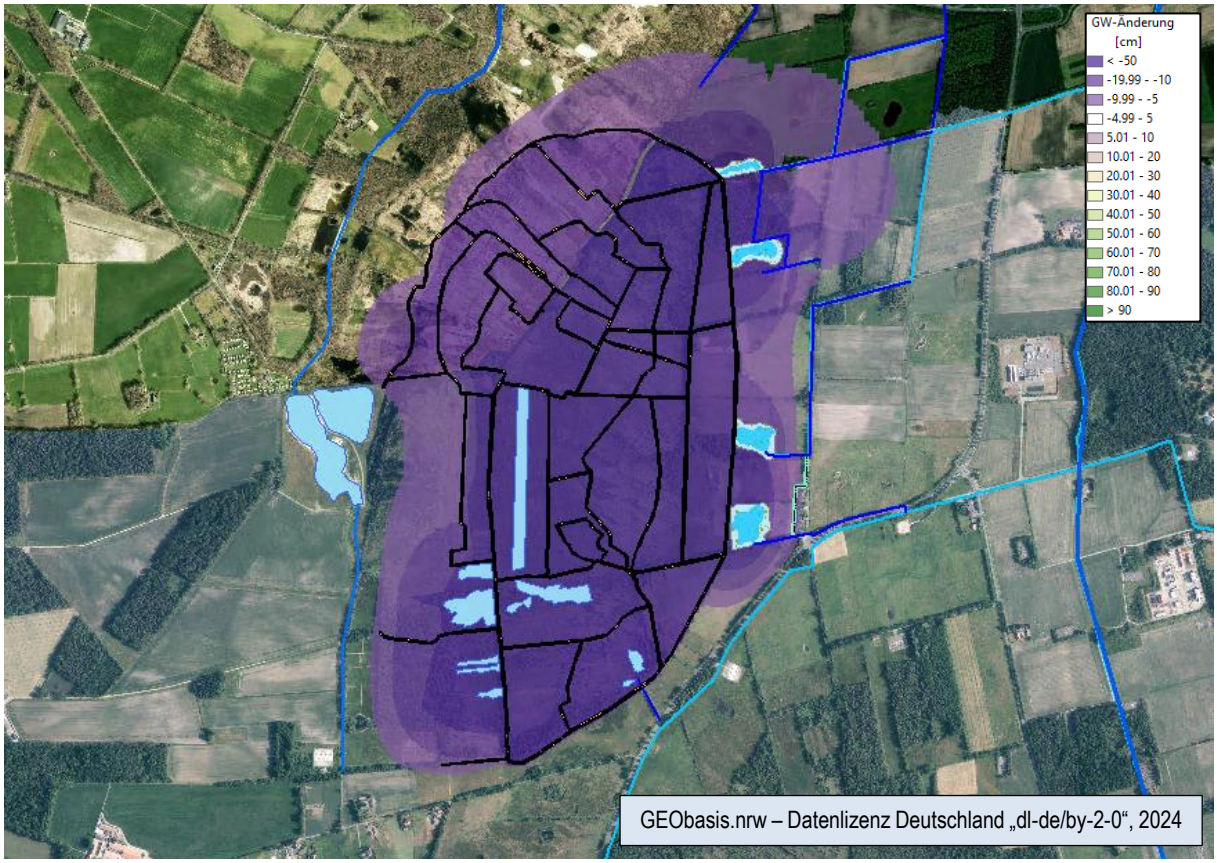


Abbildung 6-5: Grundwasserstandsdifferenzen bei Vergleichsrechnungen im Zielzustand mit und ohne Dichtwand bei niedrigen Grundwasserverhältnissen

6.2 Notwendigkeit der Dichtung in Mooraußendämmen (zwischen Moor und Stillgewässern)

Die Stauziele der östlichen Polderbereiche liegen zu großen Teilen nur 10 cm oberhalb der Stauziele der Flachwasserseen im Randbereich. In den Dämmen zwischen den Polderbereichen und den Flachwasserseen sind Dichtungen mit Schwarztorf geplant. Im Rahmen der Maßnahmenoptimierung soll geprüft werden, wie sich ein Verzicht auf die Dichtung in diesen Dämmen auf die Wasserstandsentwicklung im Zielzustand auswirkt.

Hier wurde exemplarisch für einen Polder mit 10 cm Stauzieldifferenz und verschiedene abgestufte kf-Werte berechnet, wie sich die Wasserspiegellagen im Polderbereich über den Jahresverlauf entwickeln.

Die Auswertung der Untersuchung zeigt Abbildung 6-6.

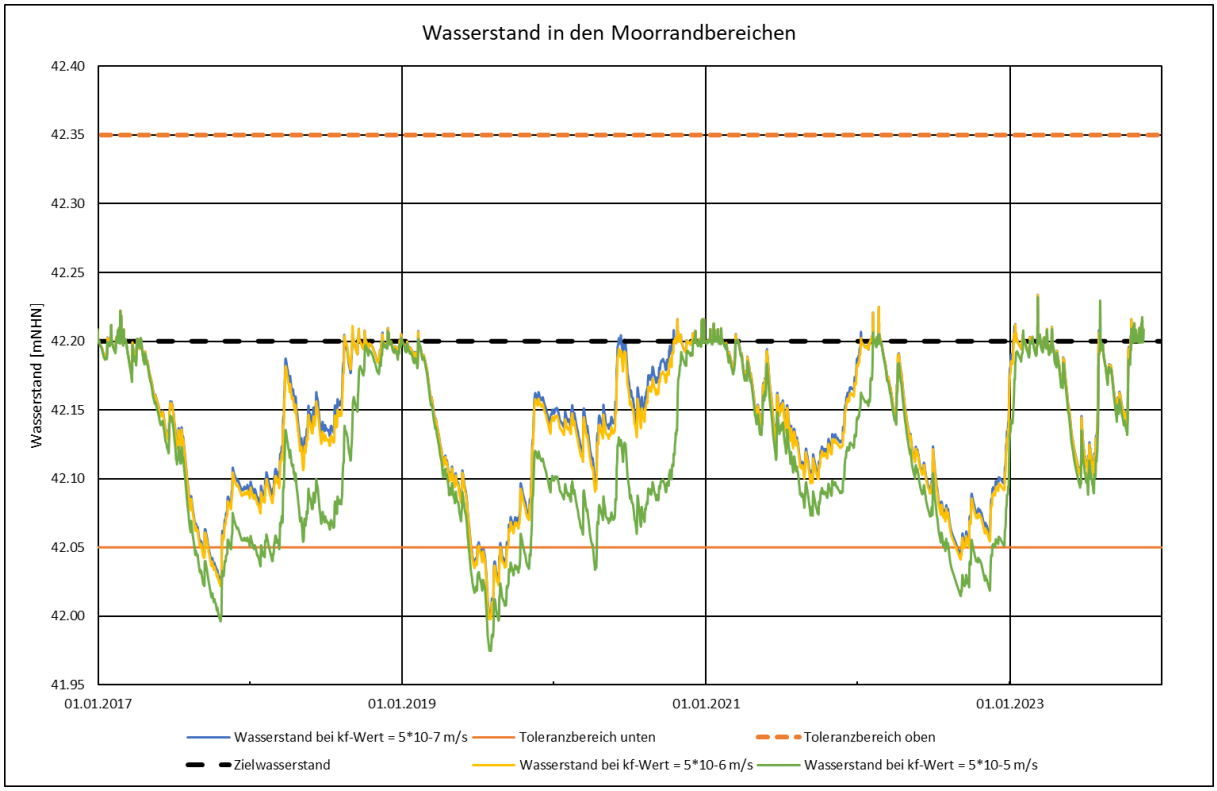


Abbildung 6-6: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung in den Moorrandbereichen bei Annahme verschiedener kf-Werte auf Basis der DWD-Klimadaten der dargestellten Jahre

Durch die Ergebnisse in Abbildung 6-6 wird deutlich, dass die Wasserstände bei einem Verzicht auf eine Dichtung bzw. bei einer Erhöhung der Durchlässigkeit im Bereich 5 * 10^{-5} m/s deutlich abnehmen. Die Zeiträume, in denen der untere Toleranzwert unterschritten wird, nehmen deutlich zu. Daneben sinken die Zeiträume, in denen der Zielwasserstand erreicht wird, rapide ab.

Es wird daher davon abgeraten, bei den Mooraußendämmen auf die geplanten Dichtungen zu verzichten. Durch die geplanten Dichtungen können die Ziele hingegen gut erreicht werden.

6.3 Prüfung der benötigten Breite der Dichtungen

Im Rahmen der Wiedervernässungsplanung Hündfelder Moor der Biologischen Station Zwillbrock wurde der Aufbau für einen Standard-Damm festgelegt. Dieser beinhaltet eine Abdichtung im gewachsenen Torf mit einer Breite von 1,0 m (vgl. Abbildung 6-7).

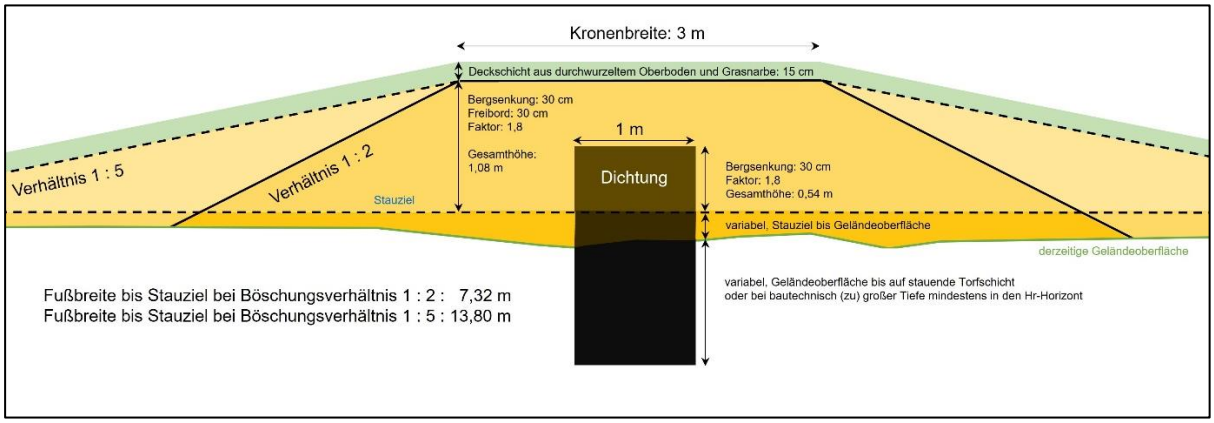


Abbildung 6-7: Standard-Damm-Aufbau (Biologische Station Zwillbrock, 2024)

Im Rahmen der Maßnahmenoptimierung war zu prüfen, wie sich die Breite der Abdichtung auf die Entwicklung der Wasserspiegellagen auswirkt und ob ggf. bspw. Zur Einsparung von Material auch eine schmalere Dichtung ausreicht, um die geplanten Maßnahmenziele zu erreichen.

Hierfür wurde anhand des Polderbereichs mit der höchsten Stauzieldifferenz zum Nachbarpolder (Polder 27) ausgewertet, wie sich eine schmalere Dichtung von 0,5 m Breite auf die Entwicklung der Wasserspiegellagen auswirkt.

Die Entwicklung der Wasserspiegellagen im Zielzustand bei einer Dichtung mit 1,0 m Breite und 0,5 m Breite sind in Abbildung 6-8 dargestellt.

Die Auswertungen zeigen, dass durch die Verringerung der Dichtungsbreite zwar Unterschiede in den Wasserspiegellagen auftreten. Die Zeiträume, in denen der Zielzustand erreicht wird, sinken etwas ab im Vergleich zu den Berechnungsergebnissen mit einer Dichtungsbreite von 1,0 m. Insgesamt sind die Änderungen durch eine Verringerung jedoch überschaubar. Für die Maßnahmenumsetzung wird daher empfohlen, dass nur bei Dämmen mit geringer Stauzieldifferenz und nur in dem Fall, dass zu wenig Dichtungsmaterial gewonnen werden kann, in einigen Bereichen schmalere Dichtungen Verwendung finden.

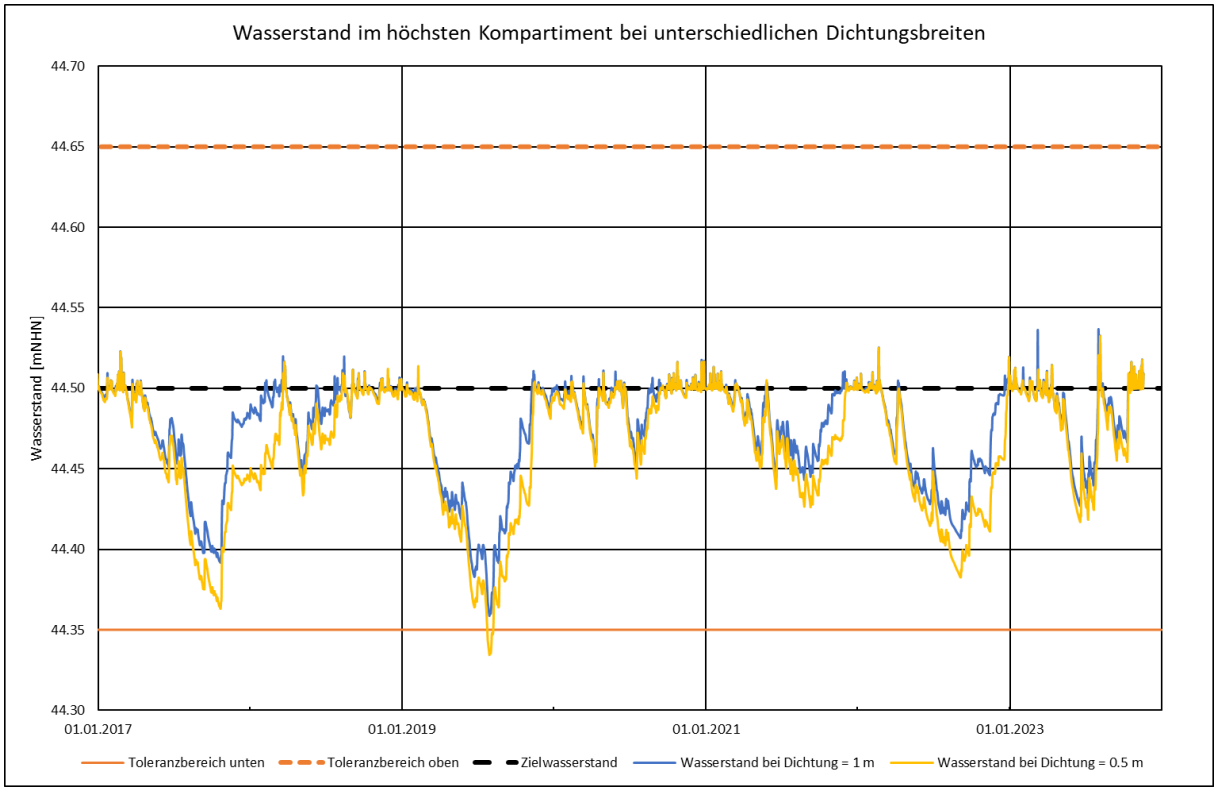


Abbildung 6-8: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung im höchsten Kompartiment bei unterschiedlichen Dichtungsbreiten auf der Basis von Klimadaten der dargestellten Jahre

6.4 Überstau von Poldern zum Wasserrückhalt für Trockenperioden

Die Polder mit den höchsten Stauzielen über mNHN sind lagebedingt auch die Polder mit den geringsten Zuflüssen von benachbarten Flächen. Dies führt dazu, dass diese Bereiche besonders anfällig sind für klimatologische Schwankungen, Trockenperioden haben einen höheren Einfluss da diese den Zufluss massiv beeinträchtigen. Darüber hinaus können Defizite aus Trockenperioden nur über längere Zeiträume wieder ausgeglichen werden.

Diese Überlegungen führten dazu, dass im Rahmen der Maßnahmenoptimierung zwei weitere Punkte geprüft werden sollten. Zum einen soll der Effekt aufgezeigt werden, den ein zusätzlicher Überstau über das Stauziel hinaus auf die Wasserspiegellagen im betrachteten Polderbereich hat.

Zum anderen wird geschaut, wie lange es nach Umsetzung der Maßnahmen dauert, bis das Stauziel erstmals erreicht wird. Geprüft wurden diese Überlegungen exemplarisch anhand des Polders mit dem höchsten Stauziel und der höchsten Stauzieldifferenz.

Basis für diese Abschätzungen sind die hydrologischen Input-Daten, welche auch dem Wasserbilanzmodell zugrunde liegen (DWD-Daten). Hierbei hat sich gezeigt, dass es etwa 4 bis 5 Jahre dauert, bis zum ersten Mal der Zielwasserstand erreicht werden kann (vgl. Abbildung 6-9). Natürlich ist die Dauer letztlich davon abhängig, wie die hydrologischen Bedingungen nach Abschluss der Baumaßnahmen und Beginn der Einstauphase sind.

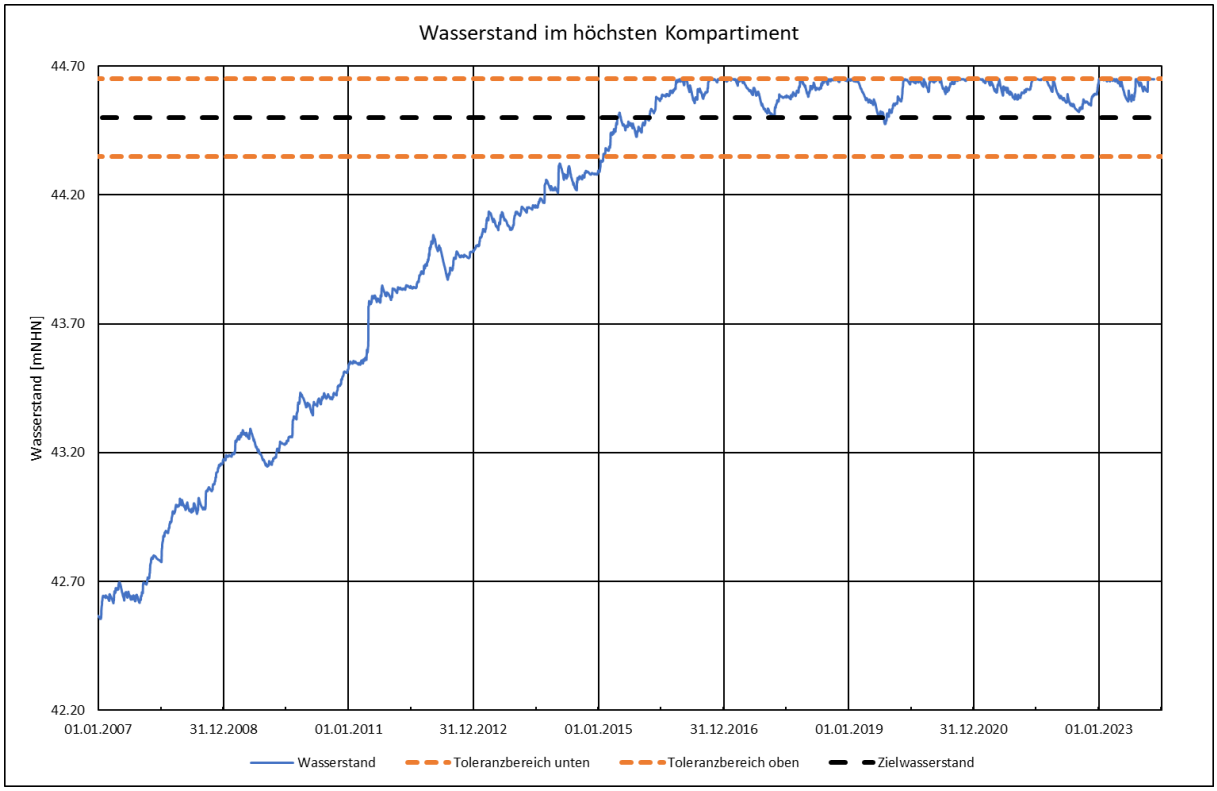


Abbildung 6-9: Prognostizierte Wasserstandsentwicklung im höchsten Kompartiment für den Zeitraum 2007 – 2023 (auf Basis der DWD-Klimadaten der dargestellten Jahre)

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass durch einen Überstau in den hohen Kompartimenten gewährleistet werden kann, dass insbesondere in Trockenperioden die Zielwasserstände über einen deutlich längeren Zeitraum erreicht werden können (vgl. hierzu auch die Auswertungen zur Wasserstandsentwicklung in Kapitel 5.1.3.2). Es wird daher empfohlen insbesondere bei den hohen Polderbereichen ohne Zufluss den tatsächlichen Einstau 15 cm oberhalb der eigentlichen Stauziele einzustellen. Die Auswertung wurde für den Polder mit dem höchsten Stauziel über mNHN erstellt, die Aussagen bezüglich dem Überstau und den daraus folgenden Effekten (Wasserrückhalt in den Polderbereichen zur Überbrückung längerer Trockenphasen) kann auch auf die anderen hoch gelegenen Polder übertragen werden.

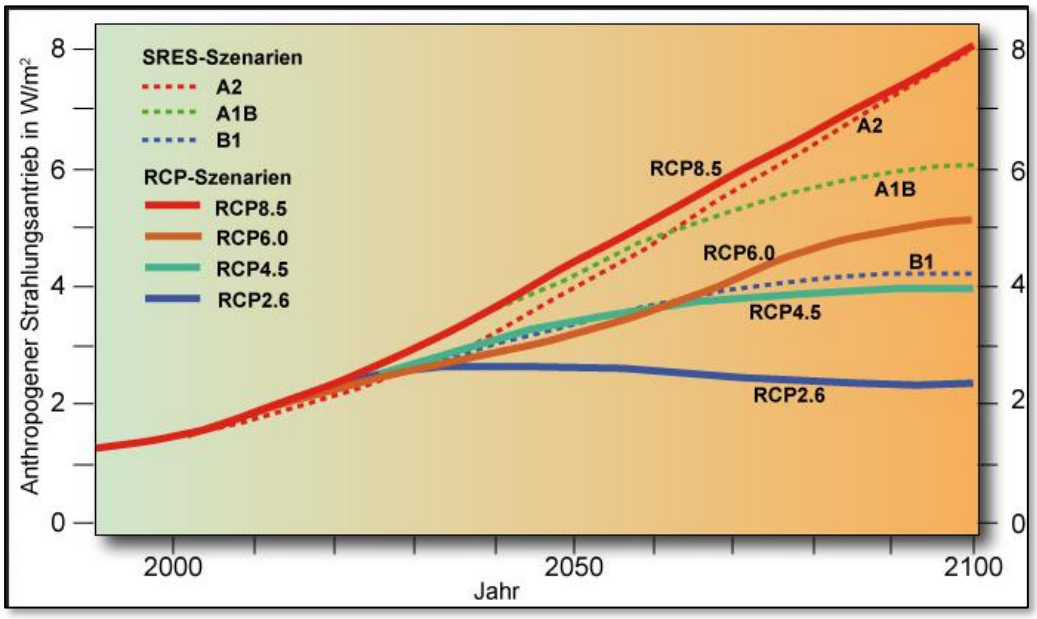
7 Klimawandel

Ausgangslage für die Erkenntnisse und Beobachtungen zum gegenwärtigen Klima bzw. Klimawandel ist die Evaluierung von langen Messreihen (Beobachtungsdaten). Aufgrund einer Vielzahl von variablen, anthropogenen Einflussfaktoren ist eine Prognose der klimatischen Entwicklung nur mit Hilfe von Klimamodellen möglich, welche auf unterschiedlichen Zukunftsszenarien beruhen (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), 2020).

Während für die Modellierung der Atmosphäre und der Ozeane eine grobe Auflösung des dreidimensionalen Berechnungsnetztes ausreichend ist, sind, um Unterschiede in den Ausprägungen des Klimawandels für eine kleinräumigere Region wie z. B. Deutschland darzustellen, detailliertere Modelle notwendig. Dazu werden regionale Klimamodelle mit einer deutlich höheren Auflösung genutzt. (LAWA, 2020). Bedingt durch eine Reihe von Annahmen (Szenarien) und Unsicherheiten in Bezug auf die Variabilität der Eingangsparameter und Einflussfaktoren von Klimamodellen, ist eine genaue Vorhersage des Klimas nicht möglich. Daher wird der Begriff der Klimaprojektion in der Fachwelt dem der Klimavorhersage vorgezogen. Aufgrund der Unsicherheiten ergibt sich bei der Nutzung von Klimamodellen eine Bandbreite an möglichen Ergebnissen. Um diese Unsicherheiten abschätzen zu können, hat sich die Verwendung von Klimamodellensembles durchgesetzt. Ensembles können z. B. durch die Kombination mehrerer unterschiedlicher globaler und regionaler Klimamodelle (so genanntes Multi-Modell-Ensemble) erstellt werden.“ (LAWA, 2020).

Eine Eingangsgröße für die Erstellung globaler und in der Folge auch regionaler Klimaprojektionen stellen unterschiedliche Emissionsszenarien für die wichtigsten anthropogenen Treibhausgase und Aerosole dar. Diese wurden im Rahmen des zwischen-staatlichen Ausschusses zum Klimawandel (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) erstellt und im „Special Report on Emissions Scenarios“ (SRES) veröffentlicht. Im Zuge der Erstellung des 5. Sachstandsbericht AR5 des IPCC wurde das Konzept für die Erstellung globaler Szenarien novelliert. Das neue Konzept basiert auf den sogenannten „Representative Concentrations Pathways“ (RCPs). (Jakob et al. 2012) Die RCP-Szenarien beschreiben dabei die an die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre gekoppelten repräsentativen Pfade des Strahlungsantriebs in W/m².

Während das RCP2.6-Szenario eine optimistische Entwicklung darstellt, die nur durch eine schnelle und starke Reduktion aller Treibhausgasemissionen zu erreichen wäre, stellt sich für das RCP8.5-Szenario ein pessimistischeres Bild dar, bei dem keinerlei Maßnahmen zum Klimaschutz unternommen werden. Das RCP4.5-Szenario entspricht einer moderaten, ressourcenschonenden Entwicklung (LAWA, 2020). Der Verlauf des Strahlungsantriebs in den jeweiligen Szenarien ist in Abbildung 7-1 dargestellt.



RCP-Szenarien für den 5. IPCC-Sachstandsbericht				
Bezeichnung	RCP8.5	RCP6.0	RCP4.5	RCP2.6
Treibhausgaskonzentration im Jahre 2100	1370 ppm CO_2-äq	850 ppm CO_2-äq	650 ppm CO_2-äq	400 ppm CO_2-äq
Strahlungsantrieb 1850-2100	8,5 W/m²	6,0 W/m²	4,5 W/m²	2,6 W/m²
Einstufung	sehr hoch	hoch	mittel	sehr niedrig

Abbildung 7-1: RCP-Szenarien gemäß dem 5. IPCC-Sachstandsbericht

Für quantitative Aussagen bzgl. der Änderungen der Klimadaten wurde auf den Klimaatlas NRW (https://www.klimaatlas.nrw.de) des Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) zurückgegriffen.

Im Klimaatlas NRW sind für wichtige hydrologische Parameter Projektionen – bei Ansatz unterschiedlicher Klimaszenarien - aufgeführt. Von besonderer Aussagekraft sind die Veränderungen der Parameter in Bezug auf den aktuellen bzw. zurückliegenden Zeitraum, auf die im Folgenden zurückgegriffen wurde. Auf der Seite www.klimaatlas.nrw.de sind unter anderem Veränderungen klimatischer Parameter in der „nahen Zukunft“ (Zeitraum 2031 – 2060) und die „ferne Zukunft“ (Zeitraum 2071-2100) in Bezug zum Zeitraum 1971-2000 zusammengestellt.

Für die mittlere Lufttemperatur wird z.B. für das Szenario RCP 4.5 ein Anstieg zwischen 0,8 C° und 1,9 C° projiziert. Die projizierten Änderungen der mittleren Jahresniederschläge variieren in der „nahen Zukunft“ zwischen -4 mm/a und +8 mm/a, in der „fernen Zukunft“ zwischen +1 mm/a und +12 mm/a. Die meisten Projektionen zeigen eine leichte Abnahme im Sommer und geringe Zunahme im Winter und Frühjahr.

Hinsichtlich des zu erwartenden Basisabflusses und des Bodenwasserhaushalts ist die Änderung der Grundwasserneubildung eine wichtige hydrologische Kenngröße. In Abbildung 7-2 ist exemplarisch die Änderung der Grundwasserneubildung als Kartenausschnitt im Bereich des Hündfelder Moores für die Projektion RCP2.6 (50. Perzentil) dargestellt.

Die Schwankungsbreite der Projektionen reicht von -8 mm (15. Perzentil) bis zu +27 mm (85. Perzentil)

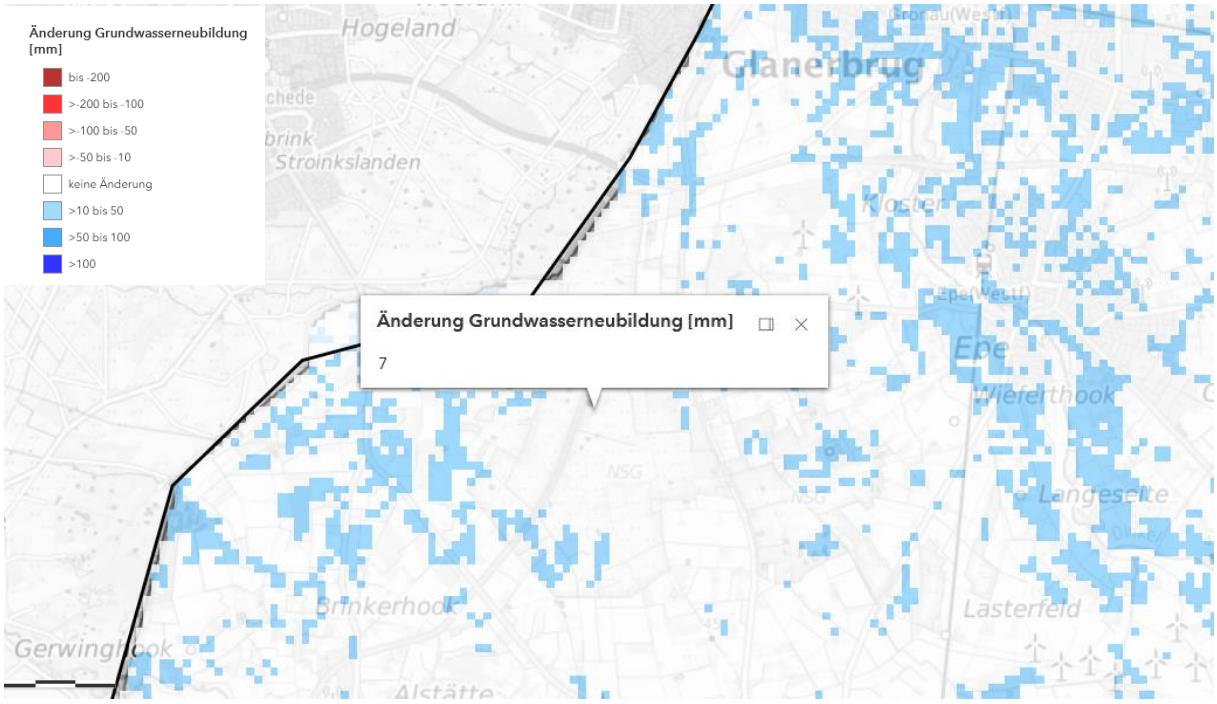


Abbildung 7-2: Projizierte Veränderung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsrate für die „nahe Zukunft“ (RCP2.6) im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Mittelwert der Klimaprojektionen) Quelle: www.klimaatlas.nrw.de

Abbildung 7-3 zeigt die gleiche Auswertung für die Projektion RCP4.5. Hier reicht die Spannweite der Änderung der Grundwasserneubildung von +27 mm (15. Perzentil) bis +62 mm (85. Perzentil).

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Klimaprojektionen für das Hündfelder Moor zu großen Teilen eine Zunahme der Grundwasserneubildung prognostizieren.

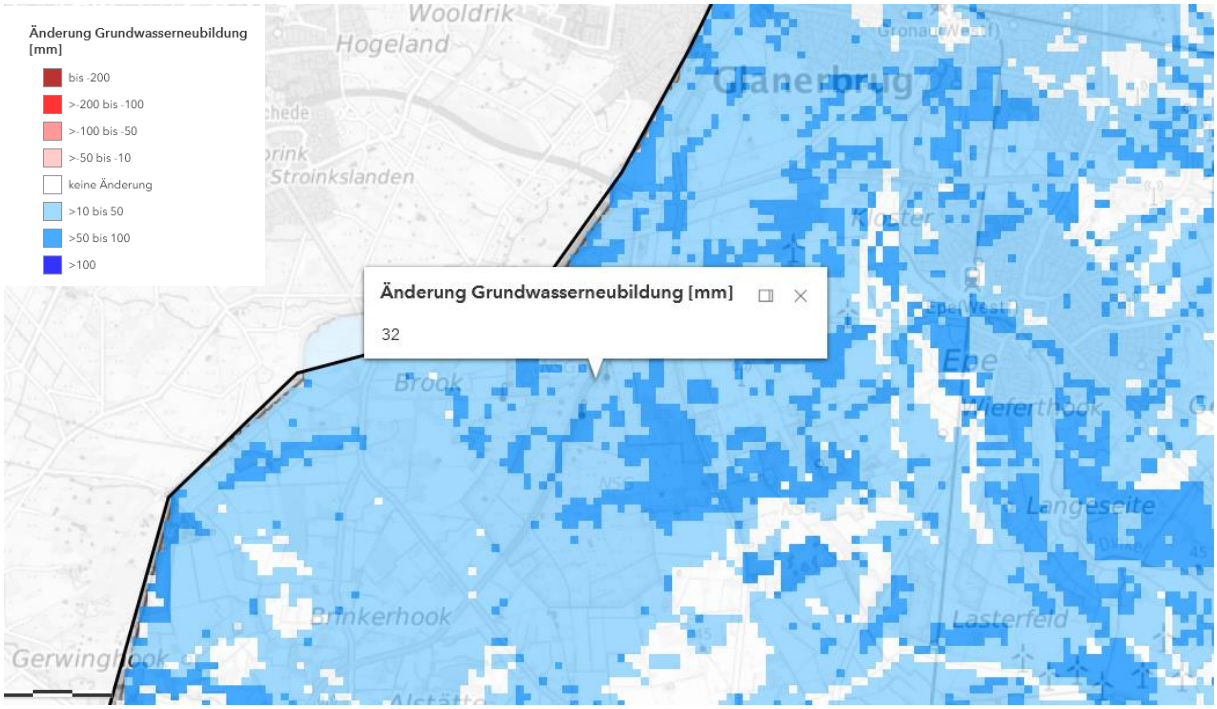


Abbildung 7-3: Projizierte Veränderung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildungsrate für die „nahe Zukunft“ (RCP 4.5) im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Mittelwert der Klimaprojektionen) Quelle: www.klimaatlas.nrw.de

Die klimatische Wasserbilanz (Differenz zwischen Niederschlag und Evapotranspiration; für die Verdunstungsberechnung wurde Grasreferenzverdunstung herangezogen) ist ebenfalls ein wichtiger Indikator, im Bezugszeitraum (1971-2000) liegt sie bei etwa 240 mm/a. Für die „nahe Zukunft“ wurde beim Szenario RCP4.5 (mittel bzw. 50-Perzentil) eine Erhöhung um 14 mm/a projiziert. Für das Szenario RCP2.6 zeigen die 50-Perzentil eine Abnahme von etwa 2 mm/a, was einer Abnahme von 0,8% entspricht. Die Schwankungsbreite der Klimaprojektionen ist sehr groß., Im Klimaatlas heißt es:

„…Alle Szenarien zeigen eine sehr hohe Spannweite, die von einer deutlichen Abnahme der jährlichen klimatischen Wasserbilanz bis zu einer leichten Zunahme reicht. Insgesamt verstärkt sich die Spannweite in der fernen Zukunft (2071-2100), insbesondere beim Szenario RCP8.5. prinzipiell ist allerdings eine Verstärkung der jeweiligen Ausgangsbedingungen je nach Monat bzw. Jahreszeit erkennbar. Monate mit positiver klimatischer Wasserbilanz erleben eine weitere Zunahme, Monate mit negativer klimatischer Wasserbilanz erleben zusätzliche Abnahmen ebendieser. Dadurch wird die Amplitude innerhalb des Jahresverlaufes größer. Betrachtet man die einzelnen Jahreszeiten, zeigt sich in den Projektionen vor allem im Sommer eine Abnahme der klimatischen Wasserbilanz. Dies kann zum einen auf die höheren Temperaturen und die dadurch gesteigerte Verdunstung, zum anderen auf sich verringernde Niederschläge zurückgeführt werden.“

Da alle Klimaprojektionen als gleich wahrscheinlich eingeschätzt werden, lassen sich keine „mittleren“ zu erwartenden Änderungen ableiten. Praktisch alle Projektionen zeigen jedoch etwas feuchtere Winter und etwas trockenere Sommer, so dass die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse „ungünstiger“ werden. Für den Bereich des Hündfelder Moors sind die Änderungen zu großen Teilen als eher positiv (steigende Niederschläge und steigende Grundwasserneubildungsraten) zu bewerten, auch wenn diese Ergebnisse zunächst überraschen.

Die Ergebnisse zur Grundwasserneubildung im Klimaatlas NRW beziehen sich nur auf Jahreswerte. Der zeitliche Verlauf im Jahresgang (saisonale Schwankungen) hat jedoch ebenfalls große Auswirkungen auf die Wirkung der Änderungen, insbesondere, da die Moorgebiete gerade in den Sommermonaten häufig mit Trockenheit zu kämpfen haben.

Um die saisonalen Schwankungen besser berücksichtigen zu können, wurde auf das Wasserbilanzmodell zurückgegriffen (vgl. Kapitel 2). Dieses basiert auf Klimadaten des DWD (Niederschlag, Verdunstung). Zumindest für die Änderungen des Niederschlags werden durch den Klimaatlas NRW Monatsdaten bereitgestellt. Diese wurden für das Hündfelder Moor ausgewertet und in das Wasserbilanzmodell implementiert.

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der prognostizierten Änderung der Verdunstung konnte auf dieser Basis die Änderung der Grundwasserneubildung im Jahresverlauf und unter Berücksichtigung verschiedener Bodentypen ermittelt werden.

In Tabelle 7-1 sind die mittleren Monatsniederschläge der DWD-Station Ahaus für den Zeitraum 2007 bis 2023 aufgeführt. Daneben finden sich die Änderungen der monatlichen Niederschläge in [mm] und [%] für die Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP4.5 (jeweils Mittelwerte der Projektionen).

Tabelle 7-1: Mittlere Monatsniederschläge der DWD-Station Ahaus (Zeitraum 2007 – 2023) und Änderung der Monatsniederschläge auf Basis der Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP 4.5 (50. Perzentil)

Mittlere Monatsniederschläge DWD-Station Ahaus Zeitraum 2007 - 2023		Änderung des Monatsniederschlag			
Monat	Niederschlag	Klimaprojektion RCP2.6 (50. Perzentil)		Klimaprojektion RCP4.5 (50. Perzentil)	
	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[%]
Januar	57.5	1	2%	1	2%
Februar	60.6	4	7%	5	8%
März	76.1	0	0%	12	16%
April	86.0	10	12%	7	8%
Mai	62.8	13	21%	7	11%
Juni	64.2	0	0%	-2	-3%
Juli	69.6	2	3%	8	11%
August	77.0	-6	-8%	-6	-8%
September	69.0	-7	-10%	3	4%
Oktober	67.3	3	4%	2	3%
November	57.3	2	3%	1	2%
Dezember	41.4	15	36%	7	17%
Summe	**788.8**	**37**		**45**	

Abbildung 7-4 zeigt die mittlere Änderung der Monatsniederschläge in Prozent bezogen auf die DWD-Station Ahaus (mittlere Monatswerte für den Zeitraum 2007 – 2023) für die Projektionen RCP2.6 und RCP4.5 und jeweils bezogen auf das 50. Perzentil.

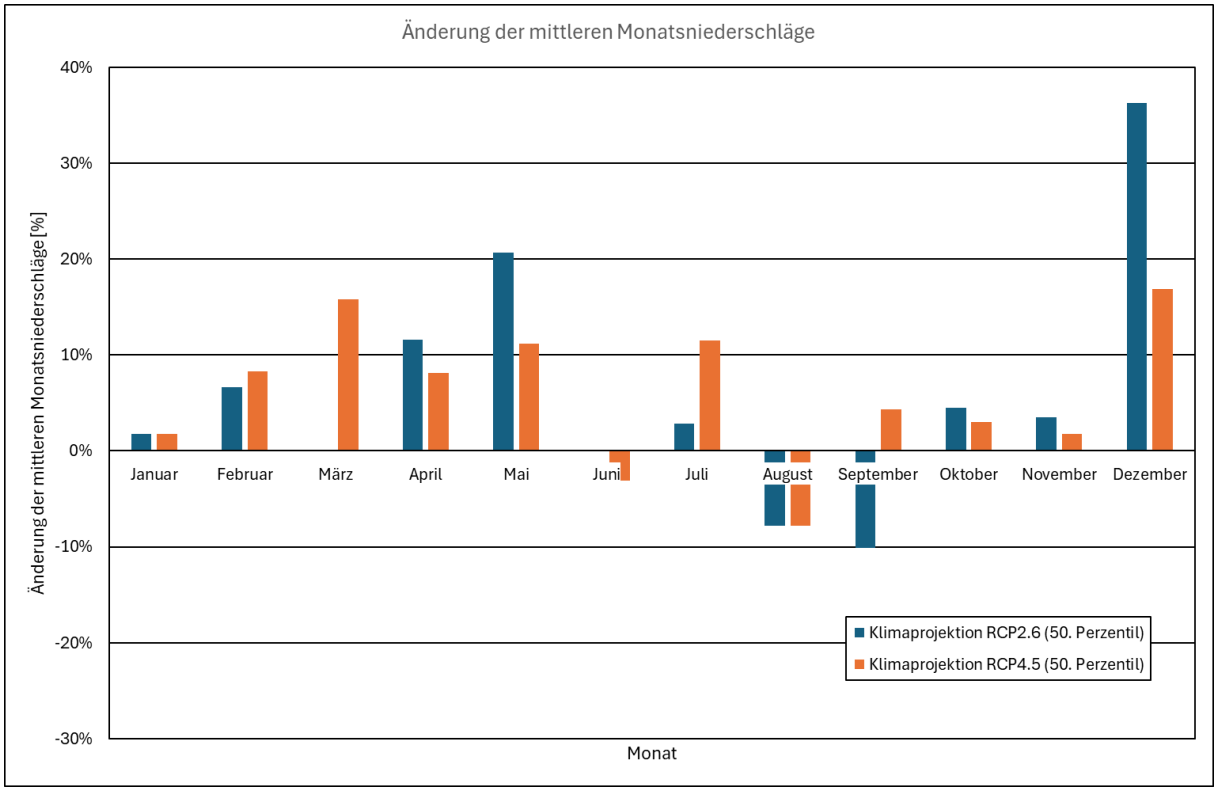


Abbildung 7-4: Änderung der mittleren Monatsniederschläge für die Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP4.5 (Mittelwerte der Projektionen) in Bezug auf die Niederschlagsdaten der DWD Station Ahaus für den Zeitraum 2007 – 2023

Im Jahresverlauf ist eine deutliche Variation der Änderungen zu erkennen. Im Winter und Frühjahr nehmen die Niederschläge tendenziell zu, in den Sommermonaten sieht es etwas differenzierter aus. Hier wechseln sich kleine Zunahmen und kleine Abnahmen der Niederschläge ab. Insgesamt kommt es aber bei beiden Projektionen zu einer Zunahme der Niederschlagsjahressummen.

Auch die Verdunstungsraten nehmen bei den betrachteten Projektionen tendenziell zu. Abbildung 7-5 zeigt die Änderung der Verdunstung für das Szenario RCP2.6 (50. Perzentil) für die nahe Zukunft. Die Änderungen variieren zwischen -3 mm (15. Perzentil) und 36 mm (85. Perzentil).

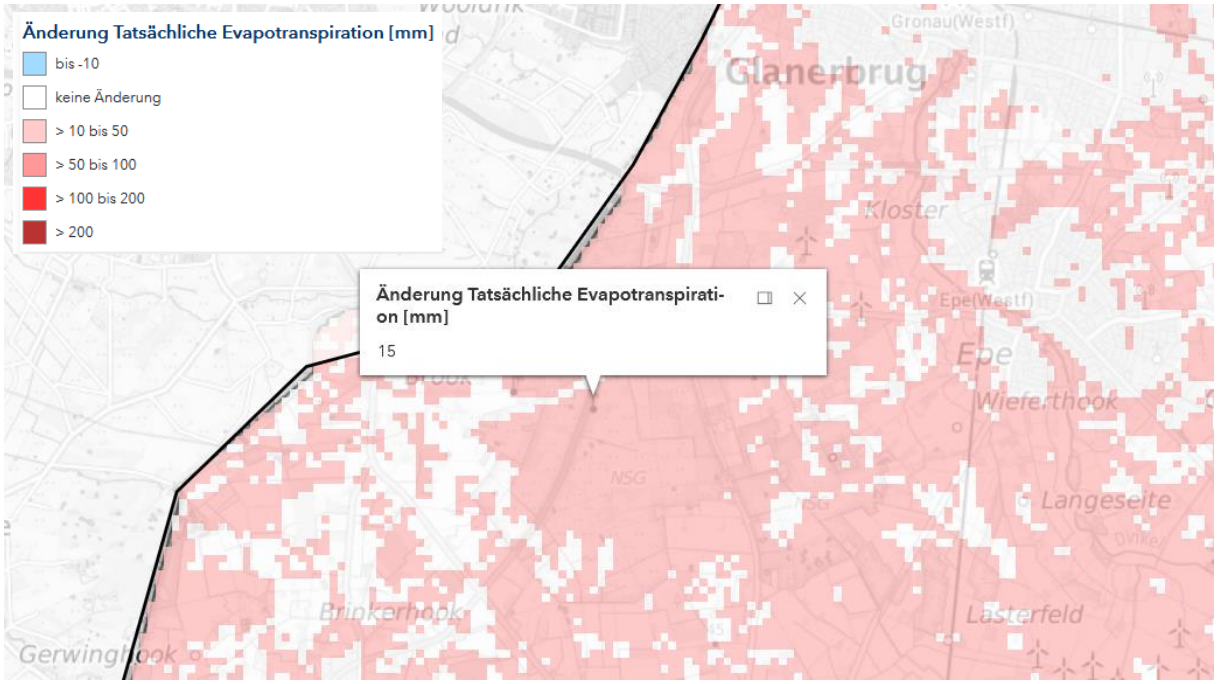


Abbildung 7-5: Projizierte Veränderung der mittleren jährlichen Verdunstung für die „nahe Zukunft“ (RCP2.6) im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Mittelwert der Klimaprojektionen) Quelle: www.klimaatlas.nrw.de

Auf Basis der geänderten hydrologischen Eingangsdaten wurde mit Hilfe des Wasserbilanzmodell die Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung der Klimaprojektionen berechnet.

Die Grundwasserneubildung nimmt bei beiden betrachteten Projektionen zu. Für die Klimaprojektion RCP2.6 steigt die Grundwasserneubildung je nach Bodentyp um 0,2 % bis 2,8 %. Bei der Klimaprojektion RCP4.5 nimmt die Grundwasserneubildung um 7,1 % bis 8,3 % zu.

Die Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Zielzustand unter heutigen klimatischen Bedingungen und Zielzustand unter Berücksichtigung der Klimaprojektion RCP2.6 (50. Perzentil) sind sehr gering. Im Mittel liegen sie bei etwa +/- 1-2 cm.

Die Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Zielzustand unter heutigen klimatischen Bedingungen und Zielzustand unter Berücksichtigung der Klimaprojektion RCP4.5 (50. Perzentil) sind ebenfalls sehr gering. Im Mittel liegen sie bei etwa +/- 3-4 cm.

Die Änderungen bei hohen und niedrigen Grundwasserverhältnissen unterscheiden sich nur marginal zu den Ergebnissen bei mittleren Verhältnissen.

Aufgrund der minimalen Auswirkungen auf Niederschlag, Verdunstung, Grundwasserneubildung und klimatische Wasserbilanz gibt es auch kaum Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse. Der Klimaatlas enthält keine Aussagen zu Dürreperioden, daher sind keine Aussagen zur möglichen Zunahme von Dürreperioden möglich.

Insgesamt die sie prognostizierten Änderungen auf Grundlage der untersuchten Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP4.5 sehr gering, im Mittel steigen die Grundwasserstände bei beiden Projektionen an, jeweils jedoch nur um wenige Zentimeter. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Ziele der Maßnahmenplanungen sind zumindest unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Klimaprojektionen sehr gering, negative Auswirkungen sind nicht zu erwarten.

8 Zusammenfassung und Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die hydrologischen Verhältnisse im Naturschutzgebiet Hündfelder Moor (Projektgebiet des LIFE-Projektes CrossBorderBog) untersucht. Mithilfe eines für diese Untersuchung erstellten 3D-instationären Grundwassermodells wurde der Istzustand des Untersuchungsgebietes abgebildet.

Zur Analyse der hydrologischen Verhältnisse und zur Ermittlung der Grundwasserneubildung als Modellinput für das Grundwassermodell wurde zudem auch ein Wasserbilanzmodell erstellt. Mit diesem Modell konnten auf Basis von hydrologischen Eingangsdaten (DWD-Daten zu Niederschlag, Verdunstung) die Abflussverhältnisse und die Aufteilung in unterschiedliche Abflusskompartimente bestimmt und die Grundwasserneubildung berechnet werden.

Die im Rahmen des Projektes durch die Biologische Station Zwillbrock aufgestellten Grundwassermessstellen wurden als Referenz genutzt, um sowohl das Wasserbilanzmodell als auch das Grundwassermodell zu kalibrieren. Nach erfolgreicher Kalibrierung standen somit Modelle zur Verfügung, mit denen im weiteren Projektverlauf der geplante Zielzustand modelliert werden konnte.

Im Rahmen des LIFE-Projekts CrossBorderBog wurden diverse Maßnahmen geplant, die im Zusammenspiel zu einem deutlichen Anstieg der Grundwasserverhältnisse und damit zu einer Verbesserung der Moorgebiete beitragen sollen.

Für den Zielzustand wurden die geplanten Dämme und Dichtungen sowie Überläufe und Versickerungsbereich im Modell implementiert. Die Ergebnisse zeigen, dass der gewünschte Wasseranstieg in den meisten Polderbereichen durch die Maßnahmen gut erreicht werden kann.

Einzelne Polderbereiche, insbesondere besonders hoch gelegene Bereiche sowie Bereiche im westlichen und südlichen Anstrombereich erreichen die gesetzten Zielwasserstände nicht so häufig und lange wie gewünscht. Insgesamt kann aber davon ausgegangen werden, dass die Zielwasserstände über große Zeiträume und große Flächenanteile durch Umsetzung der Maßnahmen erreicht werden können. Durch Maßnahmenoptimierungen konnte gezeigt werden, dass bspw. durch einen höheren Überstau von Polderbereichen mit einem hohen Stauziel über mNHN die Zeiträume, in denen die Zielwasserstände erreicht oder überschritten werden deutlich verlängert werden können.

Durch die Unterteilung des Hündfelder Moores in Polderbereiche wird der Oberflächenabfluss im Gebiet geändert. Zur Gewährleistung der Wasserverteilung sind Überläufe zwischen den Polderbereichen notwendig. Die Dimensionierung dieser Überläufe war Bestandteil der hydrologischen Studie.

Nachgelagert zu den Polderbereichen befinden sich am östlichen Rand des Maßnahmengebietes Flachwasserseen. Von diesen Seen wird das Wasser weiter in Versickerungsbereiche östlich der Dichtwand geleitet. Diese Versickerungsbereiche wurden so dimensioniert, dass das Grundwasser, welches durch die Dichtwand aufgestaut und zurückgehalten wird, unterhalb der Dichtwand durch die Versickerung wieder dem Grundwasserkörper zurückgegeben werden kann.

Neben der Wasserverteilung und Versickerung wurden Untersuchungen zur Auswirkung der Polderbereiche im Falle von Starkregen durchgeführt. Hierdurch wurde ein Worst-Case Ansatz gewählt, sodass gewährleistet werden kann, dass auch bei Verschluss von Überläufen genug Retentionsvolumen in den Polderbereichen verbleibt und Starkregen geregelt abgeführt werden kann.

Um beurteilen zu können, wie sich die Maßnahmen in Zukunft auswirken und ob die durch den Klimawandel induzierten Prognosen zur erfolgreichen Wiedervernässung weiterhin Bestand haben, wurden verschiedene Klimawandelszenarien berechnet.

Grundlage hierfür waren die Klimaprojektionen RCP2.6 und RCP4.5 (jeweils mittlere Perzentile), bzw. die auf diesen Projektionen basierenden Auswertungen des LANUV zur Auswirkung auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in NRW (Klimaatlas-NRW).

Durch die Auswertungen konnte gezeigt werden, dass die Niederschläge bei einem Großteil der Projektionen im untersuchten Gebiet tendenziell eher zunehmen. Gleiches gilt für die Verdunstung, die klimatische Wasserbilanz und die Grundwasserneubildung. Um die konkreten Auswirkungen auf die Grundwasserstände bzw. Grundwasserstandsdifferenzen zwischen Zielzustand bei heutigen hydrologischen Verhältnissen und Zielzustand in der Zukunft im Gebiet ermitteln zu können, wurden die Ergebnisse des Klimaatlas zunächst in das Wasserbilanzmodell implementiert und anschließend im Grundwassermodell berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Grundwasserstände im Umfeld des Gebietes um wenige Zentimeter zunehmen, im Maßnahmengebiet selbst sinken die Grundwasserstände minimal (1-2 cm). Dies ist vermutlich auf die höhere Verdunstung in Folge der größeren Wasserflächen zurückzuführen.

Insgesamt sind die prognostizierten Auswirkungen durch Berücksichtigung der Klimaprojektionen jedoch als sehr gering zu bewerten (Schwankungsbreite der Änderungen zwischen -2 cm und +3 cm).

Gerade bei den Prognosebetrachtungen ist jedoch zu beachten, dass diese teilweise erheblichen Unsicherheiten unterliegen. Diese setzen sich zum einen aus Unsicherheiten der Klimaprojektionen selbst zusammen, welche mit zunehmender Ferne in die Zukunft deutlich zunehmen, zum anderen auch aus modellseitigen Unsicherheiten.

Im Rahmen der Hydrologischen Studie konnte gezeigt werden, dass die geplanten Maßnahmen gut geeignet sind die gewünschten Ziele der Wiedervernässung zu erreichen.

Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass die Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse außerhalb des Gebietes nur in einem räumlich sehr begrenzten Umfeld vorhanden sind. Insbesondere auch auf bebauten Grundstücken (bspw. Zollhäuser) sind kaum Änderungen der Grundwasserverhältnisse zu erwarten.

Darüber hinaus wurden die Abflussverhältnisse von aus dem Gebiet ablaufenden Gräben analysiert. Auch hier konnten nur geringe Änderungen des Abflussregimes festgestellt werden. Die Polderung hat darüber hinaus den positiven Nebeneffekt, dass der Abfluss vergleichmäßigt wird und Hochwasser bzw. Starkregenabflüsse zurückgehalten werden können und die Trockenphasen in den Gräben abnehmen.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Modellberechnungen bspw. auf Angaben zur Ausführung der geplanten Dämme und der verwendeten Torfe und Lehme zur Abdichtung der Dämme beruhen. Diese sind mit Unsicherheiten behaftet. Im Rahmen der Ausführung ist daher dafür Sorge zu tragen, die geplanten Baumaßnahmen auch entsprechend der Planung umzusetzen, um die prognostizierten Ziele auch wirklich erreichen zu können.