

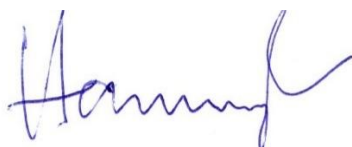
Nachhaltiges Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke

Auftraggeber: Landkreis Emsland
Fachbereich Umwelt
Ordeniederung 1
49716 Meppen

Auftragnehmer: Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH
NINO-Allee 30
48529 Nordhorn

in Kooperation: HYDOR Consult GmbH
mit Am Borsigturm 31
13507 Berlin

Bearbeitung: M. Sc. Lisa Rebhuhn
Dipl. Geol. Dr. Stephan Hannappel
M. Sc. Jens Wiese
Berlin & Nordhorn, 12.02.2025



Dr. S. Hannappel
Geschäftsführer HYDOR Consult GmbH



Ἀριστον μὲν ὕδωρ – Das Beste aber ist das Wasser

Inhalt

1.	Veranlassung und Zielsetzung.....	8
2.	Einbindung der Akteure.....	9
3.	Datengrundlagen.....	13
4.	Bestandsaufnahme und Charakterisierung des Untersuchungsgebietes	14
4.1	Wasserdargebot des Grundwasserkörpers „Hase links Lockergestein“	14
4.2	Topographie	15
4.3	Landnutzung und Naturschutz.....	16
4.4	Böden.....	19
4.5	Klimatische Verhältnisse und Grundwasserneubildung	20
4.6	Hydrologie	24
4.7	Geologie und Hydrogeologie	30
5.	Zeitliche Entwicklung der Wasserstände und Ermittlung des Grundwasserflurabstandes	39
5.1	Zeitliche Entwicklung der Wasserstände	39
5.2	Ermittlung des Grundwasserflurabstandes	40
6.	Gebietskulisse und Maßnahmenvorplanung.....	46
6.1	Landesweite maßnahmenbezogene Eignungskarten des LBEG	46
6.2	Gebietskulisse Maßnahmen	47
6.3	Maßnahmenvorauswahl und -vorplanung.....	48
7.	Maßnahmenbewertung und Auswirkungsprognose.....	51
7.1	Gekoppeltes numerisches Grundwasser- und Oberflächenwassermodell	51
7.1.1	Aufbau des Grundwassermodells.....	51
7.1.1.1	Abgrenzung des Modellgebietes und Modellrandbedingungen.....	52
7.1.1.2	Hydrogeologischer Aufbau	55
7.1.2	Aufbau des Oberflächenwassermodells	57
7.1.2.1	Gewässernetz, Gerinnequerschnitte und hydrologische Parameter	57
7.1.2.2	Bauwerke im Gewässer	58
7.1.3	Modellkalibrierung	59
7.1.4	Ergebnisse – Ist-Zustand	62
7.1.5	Szenariorechnungen	63
7.2	Praxistaugliche Werkzeuge für Auswirkungsprognosen	70
7.2.1	Recherche praxistauglicher Werkzeuge für Auswirkungsprognosen	70
7.2.1.1	Formel nach Eggelsmann – Grundwasser.....	70
7.2.1.2	Formel nach Hooghoudt-Ernst – Grundwasser.....	70

7.2.1.3	Brunnenformel nach Dupuit-Thiem – Grundwasser	71
7.2.1.4	Stationäre Grundwassergleichungen in MS-Excel – Grundwasser	72
7.2.1.5	Formel nach Rühlmann und Annahme Sohlenerhebung – Oberflächenwasser	73
7.2.1.6	Kleinräumiges Grundwasser- und Oberflächenwassermodell.....	74
7.2.2	Bewertung praxistauglicher Werkzeuge für die Auswirkungsprognosen	75
7.2.2.1	Kombination der Formeln nach Eggelsmann und Rühlmann unter Berücksichtigung der Annahmen zu Sohlenerhebungen	75
7.2.2.2	Formel nach Hooghoudt-Ernst unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann unter Berücksichtigung der Annahmen zu Sohlenerhebungen	76
7.2.2.3	Brunnenformel nach Dupuit-Thiem unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann ..	76
7.2.2.4	Lösung stationärer Grundwassergleichungen unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann unter Berücksichtigung der Annahmen zu Sohlenerhebungen	77
7.2.2.5	Kleinräumiges Grund- und Oberflächenwassermodell.....	77
7.2.3	Auswahl der praxistauglichen Werkzeuge	77
7.2.4	Anwendung des ausgewählten praxistauglichen Werkzeuges.....	80
7.2.4.1	Oberlauf Lotter Beeke	80
7.2.4.2	Mittellauf Lotter Beeke.....	85
7.2.4.3	Unterlauf Lotter Beeke	89
7.2.4.4	Scheilgraben	91
8.	Ausblick und Empfehlungen	94
9.	Zusammenfassung.....	97
10.	Literaturverzeichnis	98

Verzeichnis des Anhangs

- Anhang 1: Katalog und Beschreibung möglicher Maßnahmen zum flächenhaft wirksamen Wasserrückhalt im Einzugsgebiet der Lotter Beeke
- Anhang 2: Monatliche Auswirkungsprognosen des Grund- und Oberflächenwassermodells für vier Szenarien im Jahr 2020 für das Teileinzugsgebiet des Hestruper Mühlenbachs
- Anhang 3: Benutzeranleitung zum Prognose-Tool zur Berechnung flächenhafter Grundwasserstandsänderungen im Ergebnis baulicher Maßnahmen an oberirdischen Fließgewässern (samt digitaler Beilage zu den Datengrundlagen der Anwendung des Prognose-Tools)
- Anhang 4: Optimierte Maßnahmenstandorte inkl. zeitlicher Priorisierung der Maßnahmen je Teileinzugsgebiet

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Teileinzugsgebiete des Einzugsgebietes Lotter Beeke und Grenzen der Arbeitsgruppen	11
Abbildung 2: Grundwasserkörper in der Umgebung des Einzugsgebietes Lotter Beeke.	14
Abbildung 3: Topographie des Projektgebietes unter Verwendung des DGM1	15
Abbildung 4 Verteilung der Landnutzungsarten im Einzugsgebiet (EZG) der Lotter Beeke und den fünf Teileinzugsgebieten (TEZG)	16
Abbildung 5: Landnutzung im Einzugsgebiet der Lotter Beeke nach dem DLM des LGLN	17
Abbildung 6: Landschaftsschutzgebiete, FFH-Gebiete, Naturschutzgebiete und geschützte Biotope im Einzugsgebiet der Lotter Beeke	18
Abbildung 7 Bodenartlicher Profiltyp nach der BK50 des LBEG für das Einzugsgebiet der Lotter Beeke	19
Abbildung 8: Niederschlag der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1990 bis 2023 an der DWD-Station Haselünne. Bei mit * gekennzeichneten Jahren fehlen Messwerte	21
Abbildung 9: Niederschlag der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1990 bis 2023 an der DWD-Station Fürstenau. Bei mit * gekennzeichneten Jahren fehlen Messwerte	21
Abbildung 10: Niederschlag und Lufttemperatur der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1990 bis 2023 an der DWD-Station Alfhausen. Bei mit * gekennzeichneten Jahren fehlen Messwerte	22
Abbildung 11: Potentielle Verdunstung über Gras nach FAO der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1992 bis 2023 an der Station Lingen-Baccum.	22
Abbildung 12: Mittlere Grundwasserneubildung nach mGROWA22	23
Abbildung 13: Fließgewässernetz, Standgewässer und verfügbare Pegel an oberirdischen Gewässern des WVLL und des NLWKN	25
Abbildung 14: Ganglinie des Abflusses am Pegel Lotten für den Zeitraum 01.03.1972 bis 31.12.2017	27
Abbildung 15: (links) Sohlabsturz in der Ossenbeeke, (rechts) Sohlgleite im Hestruper Mühlenbach	28
Abbildung 16: Übersicht Sohlabstürze und in Sohlgleiten umgebaute Sohlabstürze	28
Abbildung 17: Wasserstandsganglinie des Pegels Lotten an der Lotter Beeke für den Zeitraum 2005 bis 2020	29
Abbildung 18: Geologischer Schnitt 1 in Richtung Südwest-Nordost (Erstellung: HYDOR)	30
Abbildung 19: Geologische Übersichtskarte im Maßstab 1: 500 000	31
Abbildung 20: Geologischer Schnitt 2 in Richtung Südwest-Nordost (Erstellung HYDOR)	32
Abbildung 21: Geologischer Schnitt „Hase_links_PS06“ (Nord-Süd) des LBEG (verändert)	33
Abbildung 22: Grundwasserstandsganglinien an den Grundwassermessstellen 1200000877 Hestruper Mühlenbach I, 1200000782 Hestruper Mühlenbach II und 1200000880 Hestruper Mühlenbach III ..	33
Abbildung 23: Grundwasserstandsganglinien an den Grundwassermessstellen 40504591 Lotten I und 40504602 Lotten II.	34
Abbildung 24: Grundwassermessstellen im Einzugsgebiet der Lotter Beeke	35
Abbildung 25: Wasserentnahmen im Untersuchungsgebiet (Quelle: Landkreis Emsland)	36
Abbildung 26: Monatliche Fördermengen der Pumpphase des Pumpversuches des WV Lingener Land im Einzugsgebiet der Lotter Beeke von März 2020 bis Oktober 2022 (Consulaqua 2022)	36
Abbildung 27: Bohrprofil und Ausbauplan des Brunnens 4 des WV LL östlich von Lengerich	37
Abbildung 28: Ausschnitt Geologischer Profilschnitt Hase links PS07 (Legende s. Abbildung 21)	37
Abbildung 29: Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände von 2013 bis 2024 an einer doppelt im oberen und unteren GWL verfilterten Grundwassermessstelle im Nahfeld zum Brunnen IV des PV	38
Abbildung 30: Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände von 2013 bis 2024 an einer doppelt im oberen und unteren GWL verfilterten Grundwassermessstelle im Nahfeld zum Brunnen I des PV	38
Abbildung 31: Entwicklung der mittleren Grundwasserstände zwischen dem 01.01.2010 und dem 01.04.2023 40	
Abbildung 32: Entwicklung der mittleren Oberflächenwasserstände zwischen dem 01.01.2010 und dem 01.04.2023	40
Abbildung 33: Darstellung des Flurabstandes bei ungespanntem und gespanntem Grundwasser (SenSBW	

2006)	41
Abbildung 34: Flurabstände Niedrigwasserstand September 2022	43
Abbildung 35: Flurabstände Mittelwasserstand Dezember 2021	44
Abbildung 36: Flurabstände Hochwasserstand März 2020	45
Abbildung 37: Eignungskarte für die Maßnahme Versickerungsteich (Witthöft et al. 2024)	46
Abbildung 38: Eignungskarte für die Maßnahme Grabeneinstau (verändert nach Witthöft et al. 2023)	47
Abbildung 39: Gebietskulisse Maßnahmen und Maßnahmenvorschläge der lokalen Arbeitsgruppen	50
Abbildung 40: Abgrenzung des Modellgebietes des gekoppelten Grundwasser-Oberflächenwassermodells für das zentral im Modellgebiet liegende Teileinzugsgebiet des Hestruper Mühlenbaches	52
Abbildung 41: Mittlere Grundwasserneubildungsrate für das Jahr 2020 im aufgebauten Modell	55
Abbildung 42: Verwendete Bohrungen für die Erstellung des hydrogeologischen Strukturmodells	56
Abbildung 43: Exemplarische Schnitte (West-Ost und Süd-Nord) durch das unterirdische Modellgebiet des Hestruper Mühlenbaches	56
Abbildung 44: Gewässernetz des Oberflächenwassermodells	58
Abbildung 45: RMSE an den Grundwassermessstellen für das kalibrierte instationäre Grund- und Oberflächenwassermodell	61
Abbildung 46: R^2 an den Grundwassermessstellen für das kalibrierte instationäre Grund- und Oberflächenwassermodell	61
Abbildung 47: Simulierte und gemessene Abflüsse an den drei Oberflächenwassermessstellen Pegel 8, Pegel 9 und Pegel 10 des WVLL	62
Abbildung 48: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 1 im April 2020	65
Abbildung 49: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 2 im April 2020	65
Abbildung 50: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 3 im April 2020	66
Abbildung 51: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 4 im April 2020	66
Abbildung 52: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 1 im August 2020	68
Abbildung 53: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 2 im August 2020	68
Abbildung 54: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 3 im August 2020	69
Abbildung 55: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 4 im August 2020	69
Abbildung 56: Parameter zur Berechnung der Reichweite nach Hooghoudt-Ernst (Kratz und Pfadenhauer 2001)	71
Abbildung 57: Diskretisierung eines Modellgebietes für ein numerisches Grundwassermodell mit rechteckigem Gitter und konstanten Zellweiten (Lühr 2003)	72
Abbildung 58: Vergleich der Auswirkungsprognose ermittelt mit dem Grund- und Oberflächenwassermodell und dem Prognose-Tool.	78
Abbildung 59: Teilgebiete für die Anwendung des Prognose-Tools für aktive und passive Stauhaltungen im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.	80
Abbildung 60: Auswirkungsprognose für Gebiet 1 Oberlauf Lotter Beeke.	81
Abbildung 61: für Gebiet 2 im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.	81
Abbildung 62: Auswirkungsprognose für Gebiet 3 Oberlauf Lotter Beeke.	82
Abbildung 63: Auswirkungsprognose für Gebiet 4 Oberlauf Lotter Beeke.	82
Abbildung 64: Auswirkungsprognose für Gebiet 5 Oberlauf Lotter Beeke.	83
Abbildung 65: Auswirkungsprognose für Sohlanehebungen (Halbierung mittlere Wassersäule) in ausgewählten Gewässern III. Ordnung im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.	84
Abbildung 66: Auswirkungsprognose für Sohlanehebungen (Halbierung mittlere Wassersäule) in ausgewählten Gewässern II. Ordnung im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.	84
Abbildung 67: Auswirkungsprognose für Sohlanehebungen (Halbierung mittlere Wassersäule) in ausgewählten Gewässern II. Ordnung im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke	85
Abbildung 68: Teilgebiete für aktive und passive Stauhaltungen im Mittellauf Lotter Beeke	85
Abbildung 69: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 1 Mittellauf Lotter Beeke.	86
Abbildung 70: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 2 Mittellauf Lotter Beeke.	86

Abbildung 71: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 3 Mittellauf Lotter Beeke.....	87
Abbildung 72: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 4 Mittellauf Lotter Beeke.....	87
Abbildung 73: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 5 Mittellauf Lotter Beeke.....	88
Abbildung 74: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Sohlhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Teileinzugsgebiet Mittellauf Lotter Beeke.	88
Abbildung 75: Teilgebiete für aktive und passive Stauhaltungen im Unterlauf Lotter Beeke.....	89
Abbildung 76: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 1 Unterlauf Lotter Beeke.....	89
Abbildung 77: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 2 Unterlauf Lotter Beeke.....	90
Abbildung 78: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 3 Unterlauf Lotter Beeke.....	90
Abbildung 79: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Sohlhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Teileinzugsgebiet Unterlauf Lotter Beeke.	91
Abbildung 80: Teilgebiete für aktive und passive Stauhaltungen im Scheilgraben.....	91
Abbildung 81: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 1 Scheilgraben.....	92
Abbildung 82: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 2 Scheilgraben.....	92
Abbildung 83: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 3 Scheilgraben.....	93
Abbildung 84: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Sohlhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Teileinzugsgebiet Scheilgraben.	93
Abbildung 85: Zeitplan zur Maßnahmenumsetzung.....	95
Abbildung 86: Übersicht zur Priorisierung der Maßnahmenumsetzung in den fünf Teileinzugsgebieten.....	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erfolgte Rückmeldungen der eingeladenen Flächeneigentümer und -bewirtschafter.....	10
Tabelle 2: Übersicht zu den Veranstaltungen im Rahmen des Projektes zum Nachhaltigen Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke	12
Tabelle 3 Datengrundlagen für das Projekt zum nachhaltigen Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke	13
Tabelle 4: Liste der Typen von geschützten Biotopen sortiert nach Teileinzugsgebieten. Darlegung ausschließlich der vom LK Emsland klassifizierten Biotoptypen.	16
Tabelle 5: Statistische Auswertungen zu den Abflussmessungen an den Pegeln 1 bis 10 des WVLL und am Pegel Lotten des NLWKN.....	27
Tabelle 6: Ausgewählte Zeitpunkte für die drei Zustände niedriges Grundwasser, mittleres Grundwasser und hohes Grundwasser.....	41
Tabelle 7: Differenzen zwischen gemessenen Oberflächenwasserständen und dem DGM1 unter Betrachtung der elf Oberflächenwassermessstellen in Fließgewässern im Einzugsgebiet der Lotter Beeke.	42
Tabelle 8: Im Modell verwendete hydrogeologische Parameter der fünf Schichten	57
Tabelle 9: Kalibrierte Parameter und deren Schwankungsbereich.	60
Tabelle 10: Übersicht Szenarien. Standorte an denen ebenfalls Anhebung Grabensohle/Umbau Grabenprofil vorgesehen sind, sind ausgenommen, ++ Standorte an denen ebenfalls aktive und passive Stauhaltungen vorgesehen sind, sind ausgenommen.....	63
Tabelle 11: Angaben zu $\varphi(Z)t$ in Abhängigkeit von Zt	74
Tabelle 12: Übersicht über recherchierte und grundsätzlich als praxistauglich bewerteten Werkzeugen.....	79
Tabelle 13: Anzahl der Standorte pro Maßnahmenart und Teileinzugsgebiet (L. B.: Lotter Beeke).....	94

Abkürzungsverzeichnis

BK50	Bodenkundliche Karte im Maßstab 1 : 50.000
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz

BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
DGM1	digitales Geländehöhenmodell im 1-Meter-Rasterabstand der Gitterzellen (zur Verfügung gestellt vom LK Emsland)
DTK	digitale topographische Karten
DWD	Deutscher Wetterdienst
EZG	Einzugsgebiet
FAO	Food and Agriculture Organization
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FGG	Flussgebietsgemeinschaft
FH-DGGV	Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der Deutschen Geologischen Gesellschaft e. V.
GÜK	geologische Übersichtskarte
GWK	Grundwasserkörper
HK	hydrogeologische Karte
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
LK	Landkreis
LWK	Landwirtschaftskammer
ML Niedersachsen	niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
MODFLOW-NWT	Newton Formulation für MODFLOW-2005
MU	niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NHN	Normalhöhennull
NLWKN	Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
R ²	Bestimmtheitsmaß
RdErl.	Runderlass
RMSE	Root Mean Square Error (deutsche Bezeichnung: Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme)
SWR	Surface-Water Routing (deutsche Bezeichnung: Oberflächenwasserberechnungspaket)
TEZG	Teileinzugsgebiet
u. a.	unter anderem
ULV	Unterhaltungs- und Landschaftspflegeverband
USGS	United States Geological Survey
WBV	Wasser- und Bodenverband
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WVLL	Wasserverband Lingener Land

1. Veranlassung und Zielsetzung

Das Einzugsgebiet des Gewässers Lotter Beeke liegt im Landkreis Emsland im westlichen Niedersachsen. Ursprünglich prägten das Emsland ausgedehnte Heide und Mooregebiete. Im Rahmen der Umsetzung des am 05.05.1950 durch den Deutschen Bundestag beschlossenen „Emslandplanes“¹ verbesserten sich auch die Bedingungen für die Landwirtschaft. Hierzu wurden u. a. umfangreiche Entwässerungsmaßnahmen, wie das Drainieren von Flächen und der Ausbau von Gräben, umgesetzt (LK Emsland 2024). Diese Maßnahmen wurden auch im Einzugsgebiet der Lotter Beeke realisiert. Der Wasserhaushalt ist heute noch durch die damals angelegten Gräben geprägt.

In den Jahren 2018 und 2019 wurde aufgrund der Trockenheit ein Absinken der Grundwasserstände in Niedersachsen beobachtet, wobei im Winter 2023/2024 bedingt durch hohe Niederschlagsmengen wieder ein Anstieg der Grundwasserstände verzeichnet werden konnte (Wriedt 2023; NLWKN 2024c). Dies zeigt deutlich die Folgen des Klimawandels (NLWKN 2023b). Aus diesem Grund ist das Ziel verschiedener Projekte im Emsland eine nachhaltige Ausrichtung des Wassermanagements (LK Emsland 2023b). Das im Jahr 2021 abgeschlossene Projekt „Emslandplan 2.0 – Nachhaltiges Wassermengenmanagement in die Fläche bringen“ verfolgte einen ganzheitlichen Ansatz für die Entwicklung von nachhaltigen Wassermengenmanagementkonzepten und bezog alle Akteure mit ein. Es wurden geeignete Maßnahmen zur Reduktion der Klimawandelauswirkungen ausgewählt, wobei die Gebietseigenschaften des Emslandes berücksichtigt wurden. Die Maßnahmen wurden mit den betroffenen Institutionen und Personen diskutiert (HYDOR 2021).

Derzeit führen bzw. führten drei Projekte den sog. „Emslandplan 2.0“ fort. Hierzu zählen Projekte in den Einzugsgebieten des Ahlder und Engdener Bachs, im Bereich „Ems-West“ und „Süd-Nord-Kanal“ sowie das zu diesem Bericht zugehörnde Projekt „Nachhaltiges Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke“ (LK Emsland 2023b). Alle drei genannten Projekte werden durch die NBank nach der Richtlinie des Landes zum Wassermengenmanagement (MU 2022) gefördert.

Das Projekt „Nachhaltiges Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke“ diene dem Schritt vom Wassermengenmanagement auf regionaler Ebene zum Wassermengenmanagement auf lokaler Ebene. Ziel war es effektive Wasserrückhalte- bzw. Wasserspeicherungsmaßnahmen zu identifizieren und zu verorten (LK Emsland 2023a). Hierbei spielte die Einbindung der Flächeneigentümer und -bewirtschafter eine bedeutende Rolle. In lokalen Arbeitsgruppen auf Ebene von fünf Teileinzugsgebieten der Lotter Beeke (Oberlauf Lotter Beeke, Mittellauf Lotter Beeke, Unterlauf Lotter Beeke, Scheilgraben, Hestruper Mühlenbach) fand eine Abstimmung hinsichtlich der Flächen mit Maßnahmenbedarf sowie eine Verortung von geeigneten Maßnahmen statt. Die Auswirkungen der Maßnahmen wurden anschließend ermittelt und die Standorte der vorgeschlagenen Maßnahmen bei Bedarf angepasst. Auf Grundlage der Projektergebnisse wurden Handlungsempfehlungen hinsichtlich der Umsetzung der Wasserrückhaltemaßnahmen abgeleitet.

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Emslandplan>

2. Einbindung der Akteure

Die Einladung zur Auftaktveranstaltung am 14.09.2023 in Handrup zur Einbindung möglichst aller Akteure erfolgte postalisch und über eine Veröffentlichung auf der Internetseite des Landkreises Emsland an die im Gebiet maßgeblich wirtschaftenden Akteure (Landwirte), Träger öffentlicher Belange, Behörden und die interessierte Öffentlichkeit; hierzu zählten u.a.:

- Landkreis Emsland (LK Emsland) (Fachbereich Umwelt)
- der Unterhaltungsverband Unter Hase ULV 99 und der Kreisverband der Wasser- und Bodenverbände Meppen
- die Samtgemeinde Lengerich und die Stadt Haselünne
- das Amt für regionale Landesentwicklung Weser-Ems
- das Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz
- der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)
- die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK)
- Wasserverband Lingener Land (WVLL)
- die Kreisgruppe Emsland des Bunds für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND)
- Naturschutzbund Deutschland (NABU) Regionalgeschäftsstelle Emsland/Grafschaft Bentheim
- Niedersächsische Landesforsten
- Jägerschaft Lingen e. V.
- Landvolk Emsland und Kreisverein Lingen
- Angelfischerverband im Landesfischerverband Weser-Ems e. V.
- Bezirksfischerverband Emsland e. V.

Im Rahmen der Einladung wurde den eingeladenen Personenkreisen die Möglichkeit geboten, ihre Erwartungen, Wünsche, Zielvorstellungen hinsichtlich des Projektes Wassermengenmanagement Lotter Beeke vorab zu kommunizieren. Des Weiteren wurden vorhandene Kenntnisse und Erfahrungen zum Thema Wasserhaushalt und Wassermengenmanagement abgefragt und um Mitteilung gebeten, in welchen Bereichen des Projektes Konfliktpotenzial gesehen wird. Des Weiteren wurde in der Einladung zur Auftaktveranstaltung dazu aufgerufen, sich in fünf lokalen Arbeitsgruppen zu beteiligen. Dadurch sollte eine Vorplanung der Maßnahmen in enger Abstimmung und direktem Austausch mit den Beteiligten gewährleistet werden. Die Bildung der lokalen Arbeitsgruppen erfolgte in Anlehnung an die fünf Teileinzugsgebiete der Lotter Beeke (s. Abbildung 1):

- Hestruper Mühlenbach,
- Oberlauf Lotter Beeke,
- Mittellauf Lotter Beeke,
- Scheilgraben und
- Unterlauf Lotter Beeke.

Diese entsprechen der vierten Unterteilung der oberirdischen Einzugsgebiete der hydrographischen Karte des NLWKN (s. Abschnitt 4.6).

Zu den abgefragten Themen gingen insbesondere von den eingeladenen Flächeneigentümern und -bewirtschaftern zahlreiche Rückmeldungen ein. Diese sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Erfolgte Rückmeldungen der eingeladenen Flächeneigentümer und -bewirtschafter

Erwartungen, Wünsche und Zielvorstellungen an das Projekt
- Geordnetes, gut gemanagtes Zusammenspiel zwischen Wasserabfluss, Einflussnahme auf den GW-Stand und Bewässerung der Ackerflächen. - Grundsätzliche, ganzheitliche Betrachtung der Ressource Wasser im Gebiet. - Anpassung des Wassermanagements an die Herausforderungen der veränderten klimatischen Bedingungen. Beispiel Niederlande. - Möglichst viele Flächeneigentümer mitnehmen. - Gerechte Wasserverteilung. - Erhöhung des Wasserdargebots – mehr Wasser in der Fläche. - Stabilisierung der Grundwasserstände. - Beregnung für die Landwirtschaft auch in Zukunft gewährleisten. - Konzeption geeigneter Maßnahmen. - Anhebung der Grabensohlen, wo Gräben zu tief sind. - Anlegen von Staustufen. - Erhöhung des Wasserstandes der Lotter Beeke und dadurch mehr Wasser in der Fläche. - Zügige Umsetzung des Projektes, da das Wasser dringend in der Fläche benötigt wird.
Kenntnisse und Erfahrungen zum Thema Wasserhaushalt und Wassermengenmanagement
- Eigene Flächenbewirtschaftung. - Beregnung eigener landwirtschaftlicher Flächen. - Minimalbodenbearbeitung. - Erfassung der Grundwasserstände durch eigene Messstelle. - Bereits vorhandene und betriebene Stauanlagen in tief liegenden Flächen. - Gravierende Schäden durch Nässe mit hohem Ertragsausfall.
Konfliktpotenzial
- Begünstigung vs. Benachteiligung durch geplante Maßnahmen. - Gerechte Verteilung des Wassers. - Konkurrierende Ansprüche unterschiedlicher Nutzer. - Trinkwassergewinnung. - Vernässung von Flächen. - Benachteiligung bereits zu nasser Flächen. - Verlust der derzeitigen Nutzungsart der Flächen (z.B. Winterfruchtanbau). - Entschädigung und Kostenübernahme: durch wen und wie lange?

Bei der Auftaktveranstaltung wurden neben verschiedenen Fachvorträgen, z. B. des NLWKN und der LWK Niedersachsen, die Projektziele und erste Ergebnisse der Bestandsaufnahme präsentiert sowie die Erfahrungen und Zielvorstellungen der Projektbeteiligten zum Wasserhaushalt dargelegt (vgl. Tabelle 1). Der Abschluss der Auftaktveranstaltung markierte zugleich den Anmeldeschluss für die fünf lokalen Arbeitsgruppen (AG) im Einzugsgebiet der Lotter Beeke (s. Abbildung 1). In den AG

beteiligten sich größtenteils die Flächeneigentümer/-innen sowie vereinzelt ein Vertreter einer Stadt. Insgesamt bestand die Arbeitsgruppe „Hestruper Mühlenbach“ aus zwölf Teilnehmern, die AG „Scheilgraben“ aus vier Teilnehmer/-innen, die AG „Oberlauf Lotter Beeke“ aus sieben Teilnehmern,

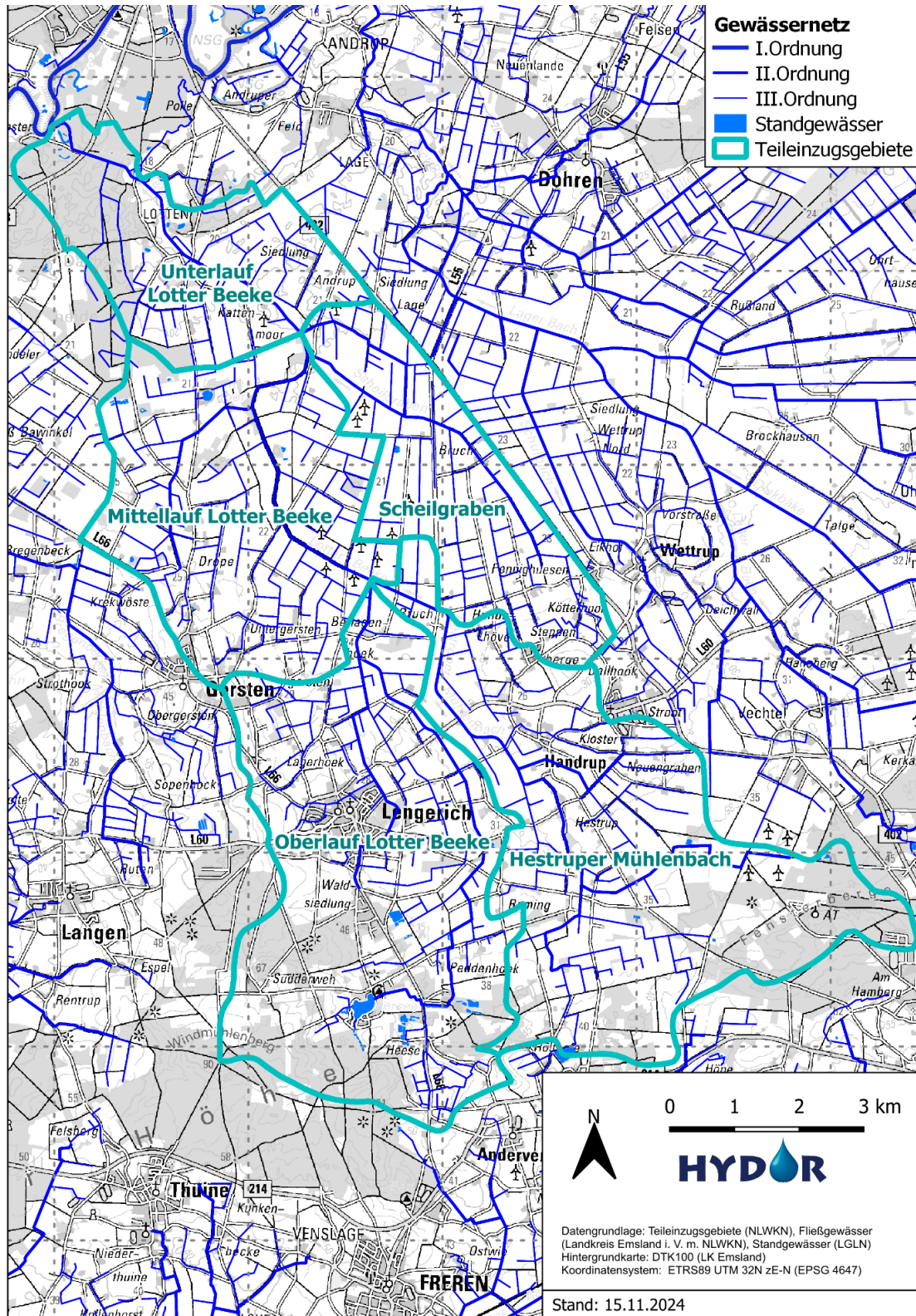


Abbildung 1: Teileinzugsgebiete des Einzugsgebietes Lotter Beeke und Grenzen der Arbeitsgruppen die AG „Mittellauf Lotter Beeke“ aus dreizehn Teilnehmern sowie die Arbeitsgruppe „Unterlauf Lotter

Beeke“ aus acht Teilnehmern. Über die Dauer des Projektes wurden zu drei Zeiträumen Arbeitsgruppentreffen veranstaltet (s. Tabelle 2).

Die ersten jeweils eintägigen Treffen pro Teileinzugsgebiet wurden in der Zeit vom 04.12.2023 bis 08.12.2023 durchgeführt. Im Rahmen der ersten Treffen erfolgte zunächst eine Erläuterung der Ziele des Projektes. Des Weiteren erfolgte eine Abstimmung hinsichtlich der Flächen mit Handlungsbedarf und eine Verortung von Maßnahmen (s. Abschnitt 6) inkl. Befahrung ausgewählter Standorte. Auch wurden Informationen zur Lage und Funktionstüchtigkeit der im Einzugsgebiet der Lotter Beeke vorhandenen Drainagen zusammengetragen.

Das zweite Arbeitsgruppentreffen am 17.06.2024 in Langen stellte eine gemeinsame Veranstaltung für alle Teileinzugsgebiete dar und thematisierte den zum damaligen Zeitpunkt aktuellen Stand der Grund- und Oberflächenwassermodellierung im Teileinzugsgebiet Hestruper Mühlenbach. Hierbei wurden der IST-Zustand des Grundwassers des modellierten Jahres sowie verschiedene Szenario-rechnungen dargestellt und mit den Teilnehmer/-innen der Arbeitsgruppen diskutiert. Im Zuge dessen wurden die Maßnahmen weiter konkretisiert sowie Vorschläge zur Anpassung eingebracht.

Die letzten Arbeitsgruppentreffen fanden vom 16.09.2024 bis 18.09.2024 statt. Für jedes Teileinzugsgebiet wurde ein Termin von circa drei Stunden anberaumt. Es wurden die ausgewählten Maßnahmen sowie die erstellten Auswirkungsprognosen dargestellt und anschließend diskutiert. Bei Bedarf erfolgte eine letzte Anpassung bzw. Ergänzung der Wasserrückhaltemaßnahmen. Abschließend wurden die Maßnahmenstandorte priorisiert (s. Abschnitt 8). Die in den einzelnen Arbeitsgruppentreffen erzielten Resultate wurden den Teilnehmern der Arbeitsgruppen jeweils im Anschluss an die Treffen zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise wurde den Arbeitsgruppenmitgliedern die Möglichkeit gegeben, die erarbeiteten Ergebnisse zu prüfen und gegebenenfalls Anmerkungen oder Änderungswünsche mitzuteilen.

Tabelle 2: Übersicht zu den Veranstaltungen im Rahmen des Projektes zum Nachhaltigen Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke

Veranstaltung	Zeitraum	Inhalt
Auftaktveranstaltung	14.09.2023	Vorstellung des Projektes, Impulsvorträge des NLWKN, der LWK und lokaler Flächenbewirtschafter, Darstellung der ersten Ergebnisse der Bestandsaufnahme sowie der Erfahrungen und Zielvorstellungen der Projektbeteiligten zum Wasserhaushalt, Bildung von Arbeitsgruppen
1. Arbeitsgruppentreffen	04.12.2023 bis 08.12.2023	Verortung von Drainagen inkl. deren Funktionstüchtigkeit, Anpassung der „Gebietskulisse Maßnahmen“, Verortung von Maßnahmen, Vorortbegehungen
2. Arbeitsgruppentreffen	17.06.2024	Vorstellung der ersten Ergebnisse des Grund- und Oberflächenwassermodells und Anpassung der Maßnahmenvorschläge
3. Arbeitsgruppentreffen	16.09.2024 bis 18.09.2024	Vorstellung der Ergebnisse des Grund- und Oberflächenwassermodells sowie des praxistauglichen Werkzeuges, Anpassung der Maßnahmenvorschläge, Priorisierung von Maßnahmen
Abschlussveranstaltung	06.02.2025	Vorstellung der Projektergebnisse inkl. Empfehlungen zum künftigen Vorgehen

3. Datengrundlagen

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden für das Einzugsgebiet der Lotter Beeke umfangreiche Fachdaten zusammengetragen (s. Tabelle 3). Diese Daten wurden kartografisch bzw. visuell aufbereitet und werden in Kap. 4 erörtert.

Tabelle 3 Datengrundlagen für das Projekt zum nachhaltigen Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke

Daten	Datenquelle
Digitale Topografische Karten (DTK) im Maßstab 1: 25.000 (DTK 25), im Maßstab 1: 50.000 (DTK 50) und im Maßstab 1:100.000 (DTK100)	LK Emsland
Digitale Orthophotos des ATIKS	LGLN (2024a)
Digitales Geländemodell (DGM) Gitterweite 1 m und Gitterweite 25 m	LK Emsland
Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM), Aktualität 2021 bzw. 2022	LGLN (2024b)
Landwirtschaftliche Schläge	ML (2023)
Übersicht über naturschutzfachliche relevante Gebiete	MU (2024), NLWKN
Geschützte Biotope nach §30 BNatSchG	LK Emsland
grundwasserabhängige Landökosysteme und grundwasserabhängiges Grünland	LK Emsland
Bodenkarte im Maßstab 1: 50.000 (BK50)	LBEG
Niederschlags- und Temperaturmessungen	DWD (2024)
Berechnete Parameter des DWD, wie die potentielle Verdunstung über Gras nach der Food and Agriculture Organization (FAO)	DWD (2024)
Grundwasserneubildung sowie zugehörige Größen wie Direktabfluss, Drainageabfluss, tatsächliche Verdunstung und urbaner Abfluss, Grundlage Wasserhaushaltsmodell mGROWA (detaillierte Beschreibung in Ertl et al. (2019) und Ertl et al. (2022)) in Version mGROWA22	LBEG (2023b)
Grundwasserkörper	NLWKN (2016b)
Fließgewässernetz	LK Emsland (angepasst mit Gewässernetz nach NLWKN (2023a) und Orthofotos des LGLN (2024a))
Ausbauunterlagen Fließgewässer	LK Emsland
Bauwerke in Fließgewässern	LK Emsland, NLWKN
Wasserstands- und Abflussmessungen an Oberflächengewässern	WVLL und NLWKN
Stichtagsmessung der Wassertiefen im Mai 2024 und Vermessungen des Unterschiedes zwischen Grabensohle und Böschungsoberkante	Mönster (2024)
Hydrografische Karte	NLWKN (2024b)
Unterlagen zu in Sohlgleiten abgebauten Abstürzen	LK Emsland, Lindschulte Ingenieurges. Emsland (2023)
Wasserstandsmessungen an Grundwassermessstellen	WVLL, NLWKN und AG Unser Wasser Lengerich-Handrup
Lage und Funktionsfähigkeit von Drainagen auf landwirtschaftlichen Flächen	Projektarbeitsgruppen
geologische Übersichtskarte im Maßstab 1:500.000 (GÜK500)	LBEG (2000)
geologische und hydrostratigrafische Schnitte	LBEG (2024a)
Lage der Grundwasseroberfläche nach der hydrogeologischen Karte im Maßstab 1:50.000 (HK50)	LBEG (2024b)
Bohrdatenbank	LBEG (2023a)
Wasserentnahmen	LK Emsland (2023c)
Informationen zum Pumpversuch Lengerich-Handrup	WVLL (2024)
Verwaltungsgebiete	BKG (2024)

4. Bestandsaufnahme und Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

Für die Erarbeitung eines nachhaltigen Wassermengenmanagements ist die Kenntnis der hydro-(geo-)logischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet notwendig. Die recherchierten Daten der Bestandsaufnahme werden im Folgenden beschrieben und z. T. kartografisch dargestellt. Das Einzugsgebiet der Lotter Beeke wurde im Rahmen des Projektes in fünf Teileinzugsgebiete untergliedert (Teileinzugsgebiete s. Kap. 2, Herkunft der Einteilung s. Kap. 4.6), diese räumliche Einteilung wird nachfolgend abgebildet.

4.1 Wasserdargebot des Grundwasserkörpers „Hase links Lockergestein“

Im Mai 2024 wurde vom niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz (MU) ein Runderlass zur mengenmäßigen Bewirtschaftung des Grundwassers veröffentlicht. Dieser Erlass trat am 01.05.2024 in Kraft und soll dazu dienen, dass die Ziele des mengenmäßigen Zustandes der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) erreicht werden, wobei sich die Einhaltung der Bewirtschaftungsziele auf die Grundwasserkörper (GWK) bezieht (RdErl. d. MU v. 23.04.2024 2024). Das Einzugsgebiet der Lotter Beeke liegt im GWK „Hase links Lockergestein“ und grenzt im Südosten an den nach NW grenzüberschreitenden GWK „Große Aa“ (s. Abbildung 2). Der GWK „Hase links Lockergestein“ ist nach dem Erlass 1.011 km² groß, hat ein - mit mGrowa22 (LBEG 2024c) abgeschätztes - mittleres Grundwasserdargebot von 176 Mio. m³/a, eine zugelassene Entnahmemenge von 19,9 Mio. m³/a und eine maßgebliche, auf mittlere Verhältnissen bezogene nutzbare Grundwasser-Dargebotsreserve von 11,3 Millionen m³/a (RdErl. d. MU v. 23.04.2024 2024; Anlagen 2 und 3).

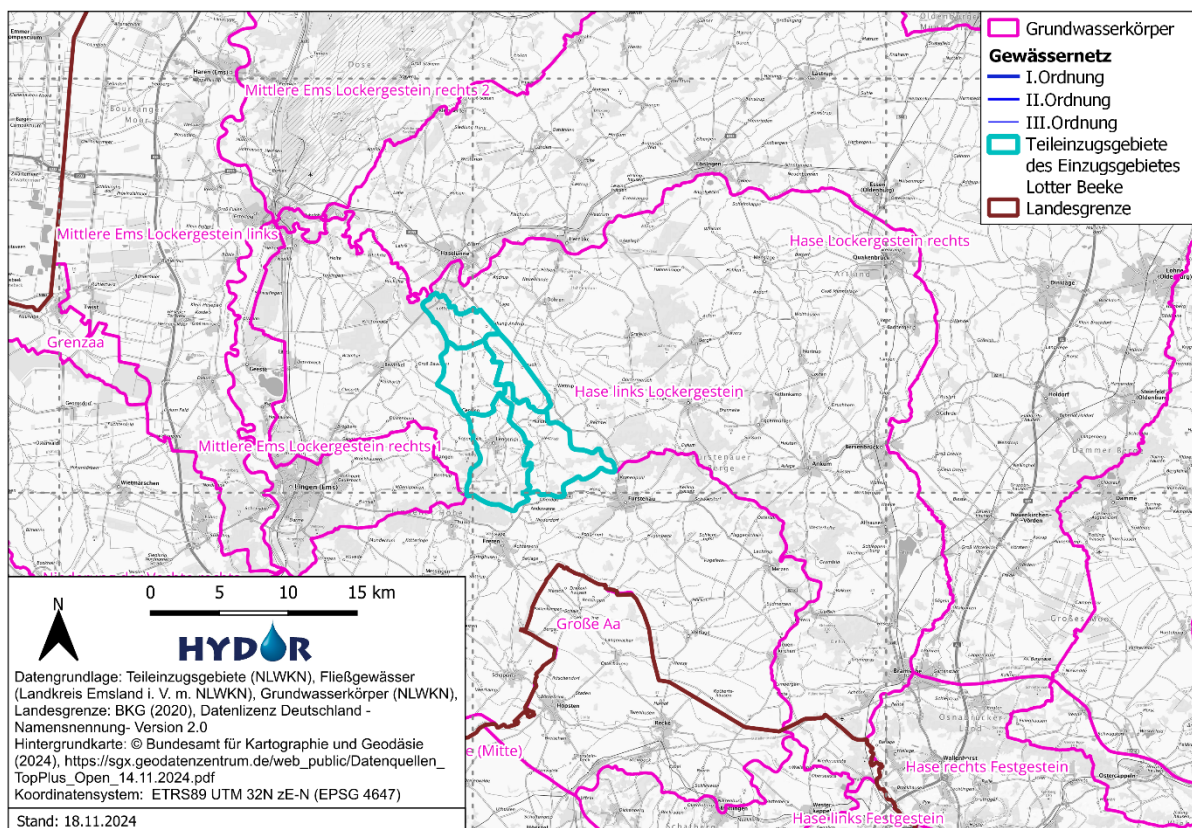


Abbildung 2: Grundwasserkörper in der Umgebung des Einzugsgebietes Lotter Beeke.

4.3 Landnutzung und Naturschutz

Im gesamten Einzugsgebiet der Lotter Beeke, wie auch in allen fünf Teileinzugsgebieten, überwiegt die Landnutzung Ackerland, gefolgt von Wald, welcher allein im Teileinzugsgebiet Scheilgraben prozentual wenig verbreitet ist (s. Abbildung 4 und Abbildung 5). Weiterhin treten folgende Landnutzungsformen in absteigendem Anteil bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet der Lotter Beeke auf: Siedlung, Grünland, Gehölz und Unland, Gewässer, Moor.

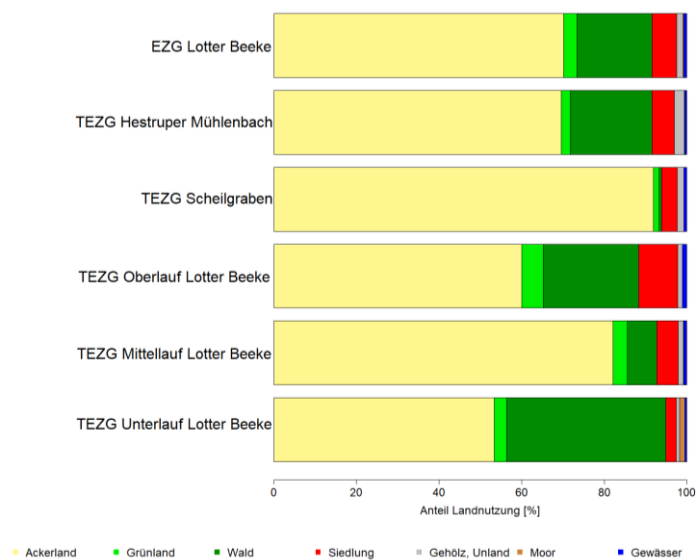


Abbildung 4 Verteilung der Landnutzungsarten im Einzugsgebiet (EZG) der Lotter Beeke und den fünf Teileinzugsgebieten (TEZG)

Innerhalb des Einzugsgebietes Lotter Beeke liegen kleinräumig verschiedene für den Naturschutz relevante Areale (s. Abbildung 6), welche im Folgenden auszugsweise kurz dargestellt wurden. Im Unterlauf der Lotter Beeke befindet sich das Fauna-Flora-Habitat-Gebiet (FFH-Gebiet) „Untere Haseniederung“ und ist mit ca. 19 ha im Projektgebiet vertreten. Dieses überlagert sich in etwa mit dem gleichnamigen Landschaftsschutzgebiet. Weiterhin ist

das FFH-Gebiet „Swatte Poele“ im Teileinzugsgebiet Hestruper Mühlenbach mit ca. 4 ha lokalisiert. Die FFH-Gebiete „Swatte Poele“ und „Untere Haseniederung“ sind ganz oder zumindest anteilig auch Naturschutzgebiete. Weitere Naturschutzgebiete im Einzugsgebiet sind das „Langenberger Moor“ und das „Lechtegoor“ (MU 2024).

Geschützte Biotope nach §30 BNatSchG finden sich kleinräumig in allen Teileinzugsgebieten unter Ausnahme des Scheilgrabens (s. Tabelle 4). Anzutreffen sind z. B. Sümpfe, naturnahe Kleingewässer und Verlandungsbereiche stehender Gewässer.

Tabelle 4: Liste der Typen von geschützten Biotopen sortiert nach Teileinzugsgebieten. Darlegung ausschließlich der vom LK Emsland klassifizierten Biotoptypen.

Teileinzugsgebiet	Typen von geschützten Biotopen
Hestruper Mühlenbach	• Sümpfe • seggen-, binsen oder hochstaudenreiche Nasswiesen • naturnaher Tieflandbach mit Sandsubstrat, Wiesentümpel
Oberlauf Lotter Beeke	• naturnaher Quellbereich, Sümpfe • naturnahe Kleingewässer • naturnahe Kleingewässer, Verlandungsbereiche stehender Gewässer • Verlandungsbereich stehender Gewässer
Mittellauf Lotter Beeke	• Bruch-, Sumpf-, Au- und Schluchtwälder, Röhrichte • Bruch-, Sumpf-, Au- und Schluchtwälder, Sümpfe, Verlandungsbereiche stehender Gewässer • Bruch-, Sumpf-, Au- und Schluchtwälder, naturnahe Kleingewässer, Röhrichte, Sümpfe, Verlandungsbereiche stehender Gewässer
Unterlauf Lotter Beeke	• Verlandungsbereiche stehender Gewässer • Naturnahe Kleingewässer, seggen-, binsen- oder hochstaudenreiche Nasswiesen, Verlandungsbereiche stehender Gewässer
Scheilgraben	-

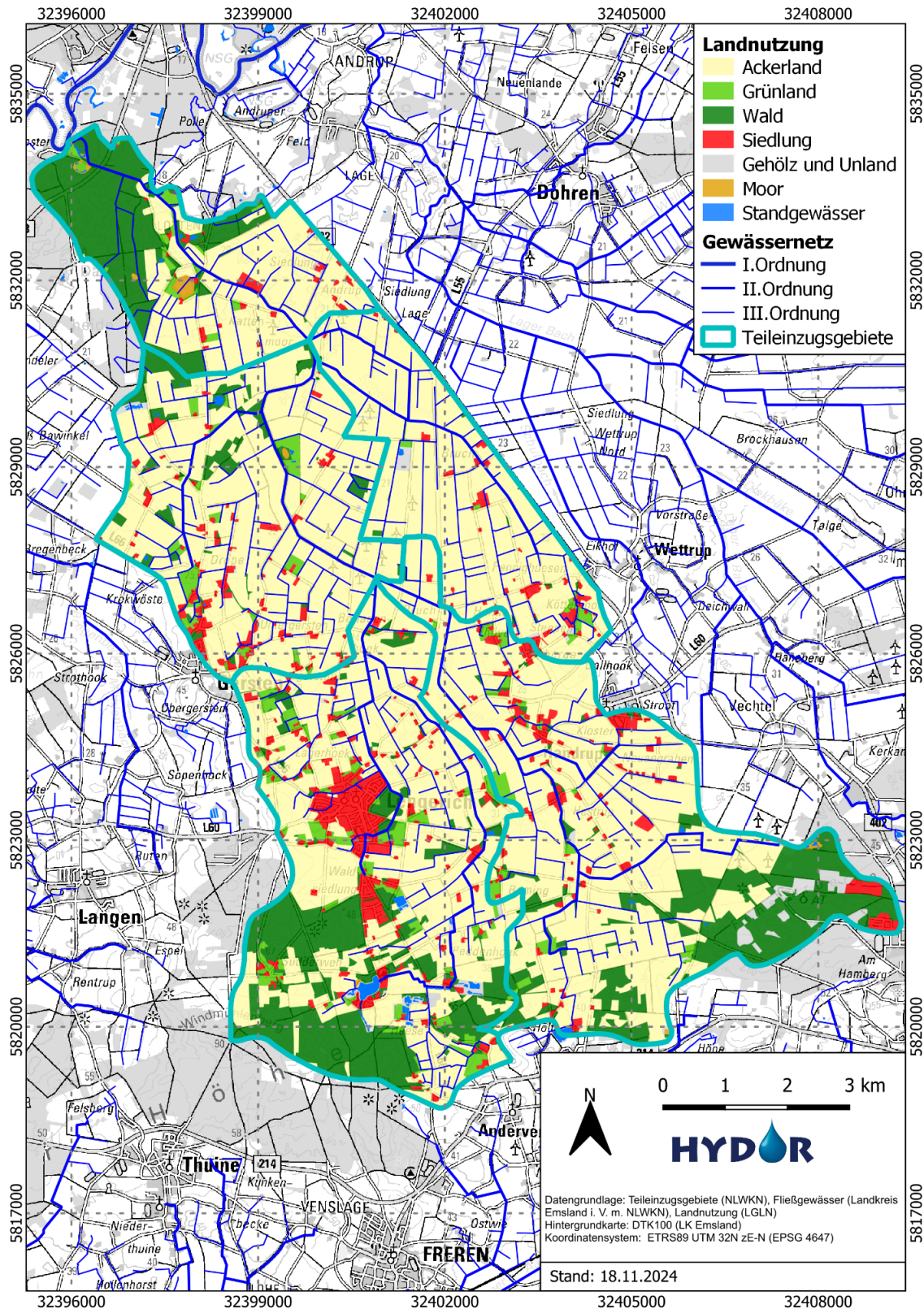


Abbildung 5: Landnutzung im Einzugsgebiet der Lotter Beeke nach dem DLM des LGLN

Ein Teil der eben beschriebenen FFH-Gebiete, Naturschutzgebiete und geschützten Biotope ist grundwasserabhängig. Hierzu zählen gemäß den vom Landkreis zur Verfügung gestellten Daten die Naturschutzgebiete „Langenberger Moor“ und „Lechtegoor“, die Naturschutz- und FFH-Gebiete „Swatte Poele“ und „Untere Haseniederung“.



4.4 Böden

Nach der BK50 dominiert Reinsand im Projektgebiet. Insbesondere auf den höher gelegenen Flächen im Südwesten wird Lehmsand, Normallehm bzw. Reinsand über Lehm angetroffen (s. Abbildung 7).

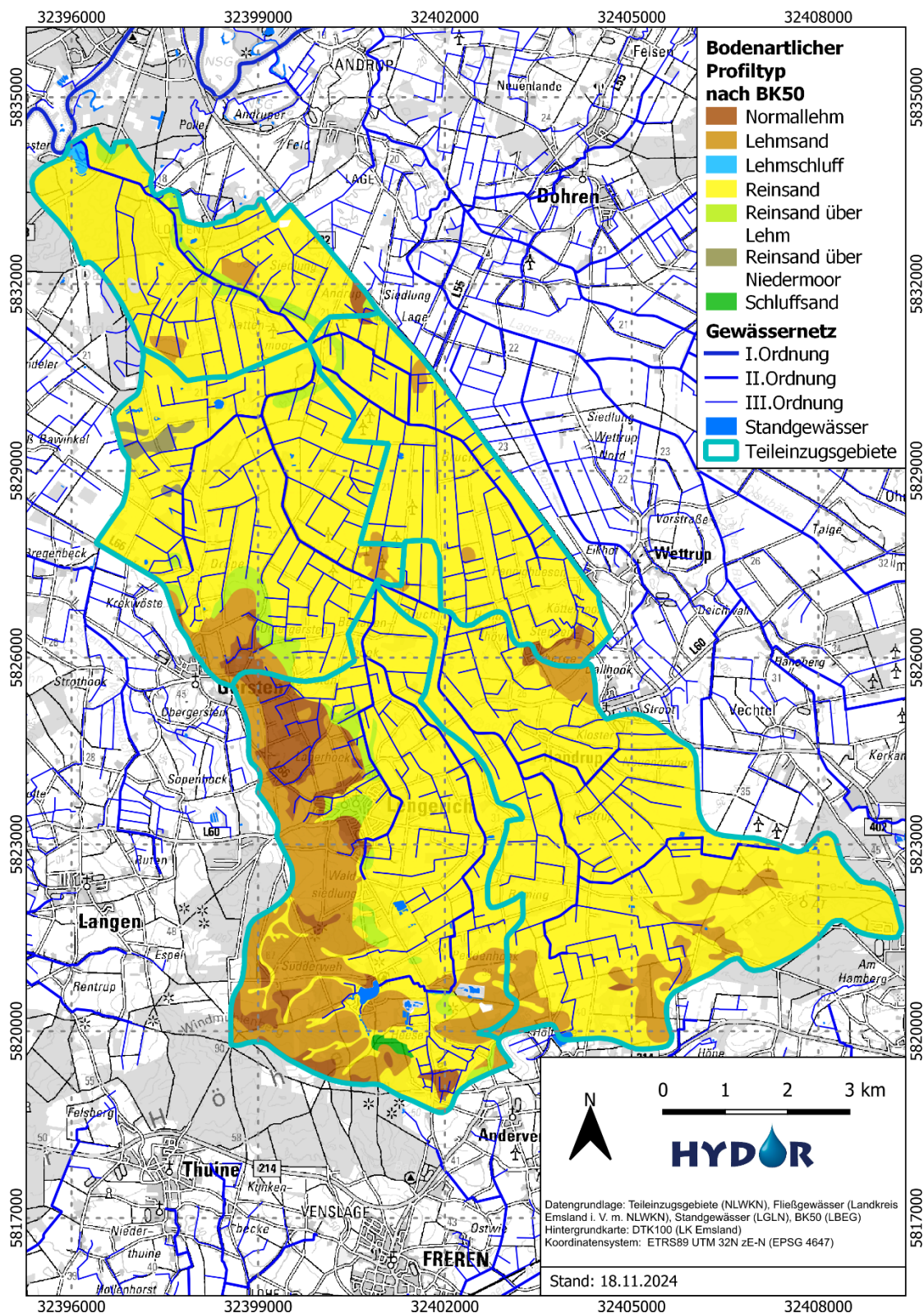


Abbildung 7 Bodenartlicher Profiltyp nach der BK50 des LBEG für das Einzugsgebiet der Lotter Beeke

4.5 Klimatische Verhältnisse und Grundwasserneubildung

Die Niederschlags- und wenn vorhanden die Temperaturdaten ausgewählter Stationen in der Nähe des Einzugsgebietes der Lotter Beeke wurden im Folgenden für die hydrologischen Jahre (hydrologisches Winterhalbjahr: November bis April, hydrologisches Sommerhalbjahr: Mai bis Oktober) von 1990 bis 2023 dargestellt. Es wurden die Rohdaten der Niederschlagsmessungen verwendet und keine Korrektur (z. B. nach Richter (1995)) vorgenommen. Weiterhin wurde für eine Station die potentielle Verdunstung nach FAO für die hydrologischen Jahre aufbereitet.

Die Station Haselünne befindet sich nördlich des untersuchten Areals in einer Distanz von ca. 6 km zur Grenze des Einzugsgebietes. Unter Außerachtlassung der Jahre mit fehlenden Messwerten schwankten die Niederschlagsmengen innerhalb der hydrologischen Jahre zwischen 553 mm im Jahr 2006 und 1061 mm im Jahr 1993, im Mittel betrug sie 793 mm/a (s. Abbildung 8). Es zeigten sich somit deutliche Variationen. Von den letzten sechs Jahren waren die Jahre 2018 und 2022 am niederschlagsärmsten, wohingegen 2021 und zuletzt 2023 durch deutlich höhere Niederschläge geprägt waren.

Die Station Fürstenau befindet sich südöstlich des Einzugsgebietes in einer Distanz von ca. 2,5 km zur Grenze des Areals. Unter Außerachtlassung der Jahre mit fehlenden Messwerten variierten die Niederschlagsmengen innerhalb der hydrologischen Jahre zwischen 588 mm im Jahr 1996 und 1065 mm im Jahr 2007, im Mittel betrug die Niederschlagsmenge 814 mm/a (s. Abbildung 9). Es zeigten sich somit auch an der Station Fürstenau starke Schwankungen der Niederschlagsmengen. In den letzten sechs Jahren waren wie bei der Station Fürstenau die Jahre 2018 und 2022 am niederschlagsärmsten. Zuletzt wurden im Jahr 2023 deutlich höhere Niederschlagsmengen gemessen.

Die Station Alfhausen befindet sich südöstlich des Untersuchungsgebietes in einer Distanz von ca. 18 km zu dessen Grenze. Die Niederschlagsmengen variierten zwischen 616 mm im Jahr 2022 und 1194 mm im Jahr 2002, im Mittel betrug sie 835 mm/a (s. Abbildung 10), wie bei den Stationen Haselünne und Fürstenau schwankten die Mengen zwischen den Jahren deutlich. In den letzten sechs Jahren waren die Jahre 2018 und 2022 am niederschlagsärmsten, wohingegen 2023 deutlich höhere Niederschlagsmengen gemessen wurden. Die Jahresmitteltemperaturen schwanken an der Station zwischen 7,9 °C im Jahr 1996 und 11,0 °C im Jahr 2023. In den vergangenen sechs Jahren waren die Jahresmitteltemperaturen größer oder gleich 10 °C.

Die potentielle Verdunstung über Gras nach FAO an der Station Lingen-Baccum schwankte in den hydrologischen Jahren 1992 bis 2023 zwischen ca. 551 mm/a im Jahr 1993 und ca. 746 mm/a im Jahr 2018, im Mittel betrug sie 637 mm/a, wobei sie im hydrologischen Sommer deutlich höher war als im hydrologischen Winter. So machte die potentielle Verdunstung im Sommer im Mittel der Jahre 1992 bis 2023 75 % der jährlichen potentiellen Verdunstung aus (s. Abbildung 11).

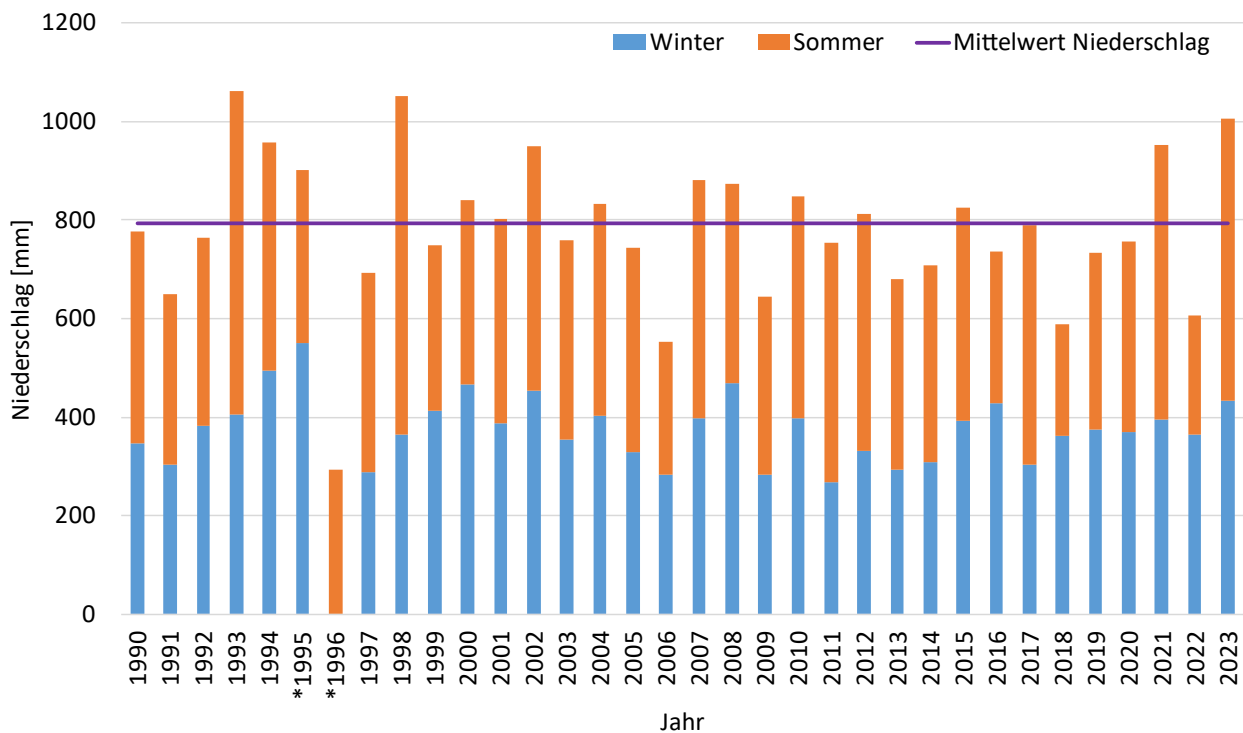


Abbildung 8: Niederschlag der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1990 bis 2023 an der DWD-Station Haselünne. Bei mit * gekennzeichneten Jahren fehlen Messwerte

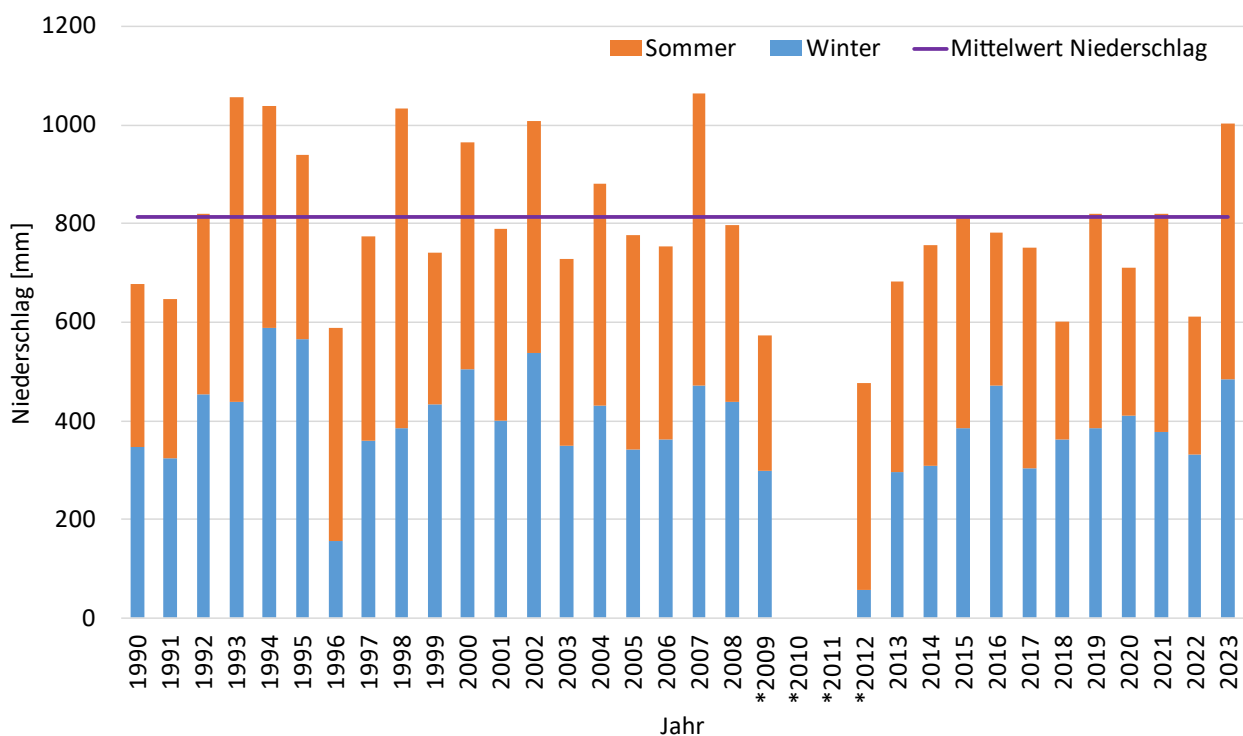


Abbildung 9: Niederschlag der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1990 bis 2023 an der DWD-Station Fürstenau. Bei mit * gekennzeichneten Jahren fehlen Messwerte

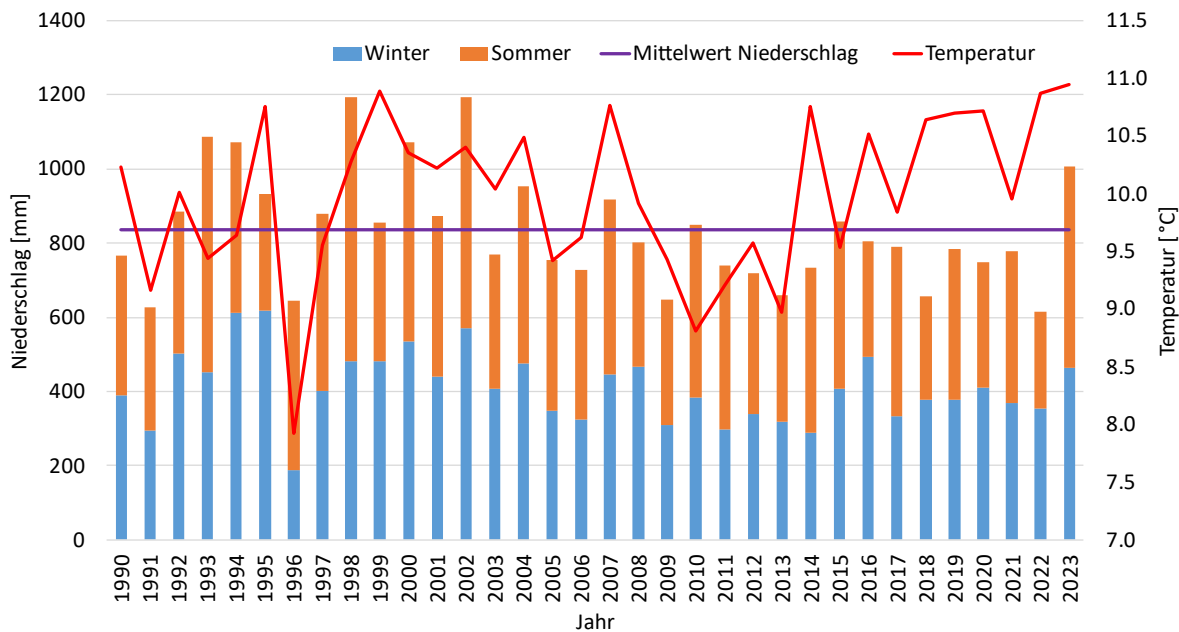


Abbildung 10: Niederschlag und Lufttemperatur der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1990 bis 2023 an der DWD-Station Alfhausen. Bei mit * gekennzeichneten Jahren fehlen Messwerte.

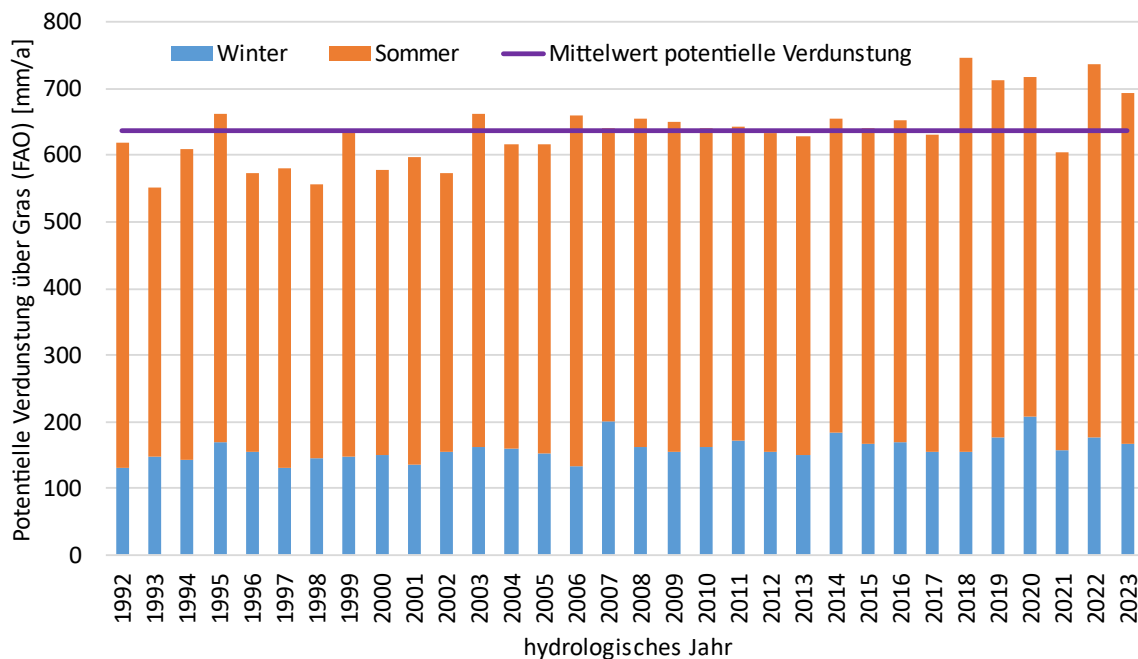


Abbildung 11: Potentielle Verdunstung über Gras nach FAO der hydrologischen Winter- und Sommerhalbjahre für den Zeitraum 1992 bis 2023 an der Station Lingen-Baccum.

Die Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Lotter Beeke schwankt im Mittel von 1991 bis 2020 für die hydrologischen Jahre lt. den Daten von mGROWA22 räumlich zwischen Werten kleiner 0 mm/a (Grundwasserzehrung) und ca. 500 mm/a. Es sind deutlich räumliche Variationen zu erkennen, so sind die Grundwasserneubildungsraten besonders in den höheren Lagen im Süden bzw. Südwesten größer als in den niedriggelegeneren Gebieten im Bereich des Mittellaufes der Lotter Beeke und des Scheilgrabens (s. Abbildung 12).

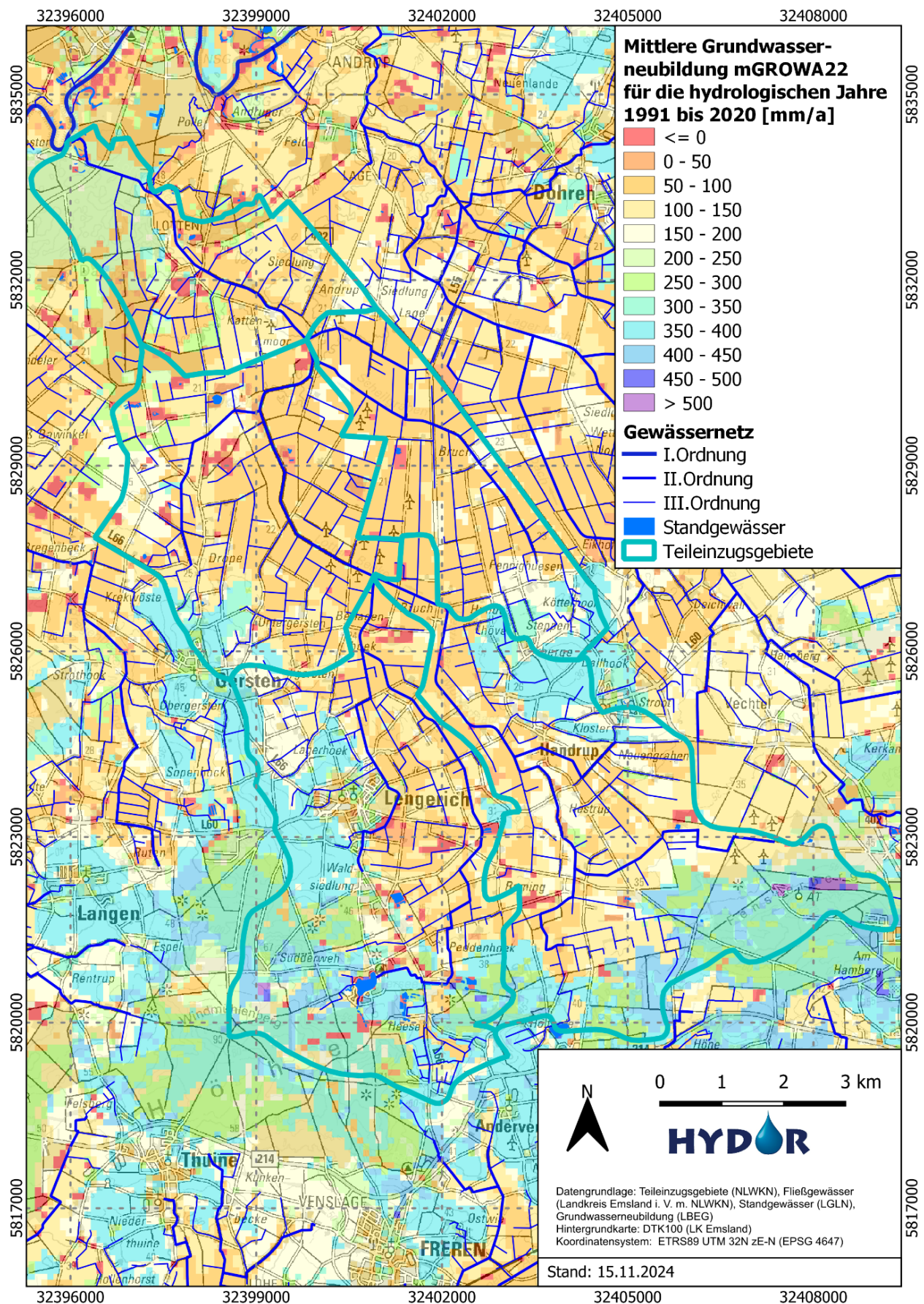


Abbildung 12: Mittlere Grundwasserneubildung nach mGROWA22

4.6 Hydrologie

Die hydrografische Karte des NLWKN stellt die Gewässereinzugsgebiete, die unter Verwendung des Geländerelevs und der wasserwirtschaftlichen Gegebenheiten ermittelt wurden, dar. Sie ist derzeit in bis zu neun Unterteilungen gegliedert (NLWKN 2024b). Das Einzugsgebiet der Lotter Beeke liegt großräumig betrachtet im Einzugsgebiet der Ems sowie nachfolgend in dem Einzugsgebiet der Hase (1. Unterteilung der hydrografischen Karte) und hier in dem GewässerKap. vom Zusammenfluss Große Hase-Hahnenmoorkanal bis Mittelradde (2. Unterteilung der hydrografischen Karte).

Das Einzugsgebiet der Lotter Beeke entspricht der nächsten Ebene (3. Unterteilung der hydrografischen Karte), das wiederum unterteilt wird in fünf Teile (4. Unterteilung der hydrografischen Karte), von denen werden drei Einzugsgebiete der Lotter Beeke (im vorliegenden Bericht Oberlauf Lotter Beeke, Mittellauf Lotter Beeke, Unterlauf Lotter Beeke genannt), eines dem Hestruper Mühlenbach und eines dem Scheilgraben zugeordnet werden (Grenzen der fünf Teileinzugsgebiete siehe u. a. Abbildung 1). Die Teileinzugsgebiete Hestruper Mühlenbach und Oberlauf Lotter Beeke werden weiterhin in jeweils drei weitere Gebiete unterteilt (NLWKN 2024b).

Die Hauptvorfluter im Projektgebiet sind die Gewässer II. Ordnung (s. Abbildung 13). Im Teileinzugsgebiet Hestruper Mühlenbach zählen hierzu der Hestruper Mühlenbach, der Fensterdiekgaben sowie die Ossenbeeke, im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke die Lotter Beeke und der Lengericher Dorfbach, im Teileinzugsgebiet des Scheilgrabens der Scheilgraben und der Alte Scheilgraben, im Teileinzugsgebiet des Mittellaufes Lotter Beeke die Lotter Beeke sowie der Deepemoorgraben und im Teileinzugsgebiet Unterlauf Lotter Beeke allein die Lotter Beeke. Die Fließrichtung der Oberflächengewässer folgt der Topographie und demnach i. d. R. einem Südwest-Nordost-Gefälle (s. Abbildung 3). Am Gebietsauslass des Einzugsgebietes entwässert die Lotter Beeke schließlich in den Fluss Hase, welcher ein Gewässer I. Ordnung ist.

Die Lotter Beeke, der Hestruper Mühlenbach sowie der Lengericher Dorfbach sind die nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) relevanten Fließgewässer im Einzugsgebiet der Lotter Beeke. Alle drei Fließgewässer wurden als Gewässertyp „sandgeprägte Tieflandbäche“ klassifiziert und sind dem - nach WRRL - als „erheblich verändert“ charakterisierten Wasserkörper „Lotter Beeke“ zugehörig. Die Einordnung „erheblich verändert“ erfolgte aufgrund der landwirtschaftlichen Landentwässerung (NLWKN 2016a). Dem Wasserkörper „Lotter Beeke“ wurde zuletzt nach WRRL ein „ungenügendes ökologisches Potenzial“ und ein „schlechter chemischer Zustand“ zugewiesen (FGG Ems 2022).

Für die Lotter Beeke wurde ein Gewässerentwicklungsplan angefertigt. Gewässerentwicklungspläne sind ein wasserwirtschaftliches und naturschutzfachliches Planungsinstrument. Die Pläne sollen den Ist-Zustand von Belastungen, Defiziten sowie Störeinflüssen inkl. zugehörigen Ursachen darstellen und Maßnahmen zur Verminderung dieser auführen (NLWKN 2024a). Der durch den LK Emsland zur Verfügung gestellte Entwurf des Gewässerentwicklungsplan der Lotter Beeke (Stand 17.05.2023) umfasst die Bereiche vom südlich gelegenen Saller See bis zur nördlich gelegenen Mündung in die Hase inkl. des Altarms der Lotter Beeke. Um die Lotter Beeke wurde beidseitig ein

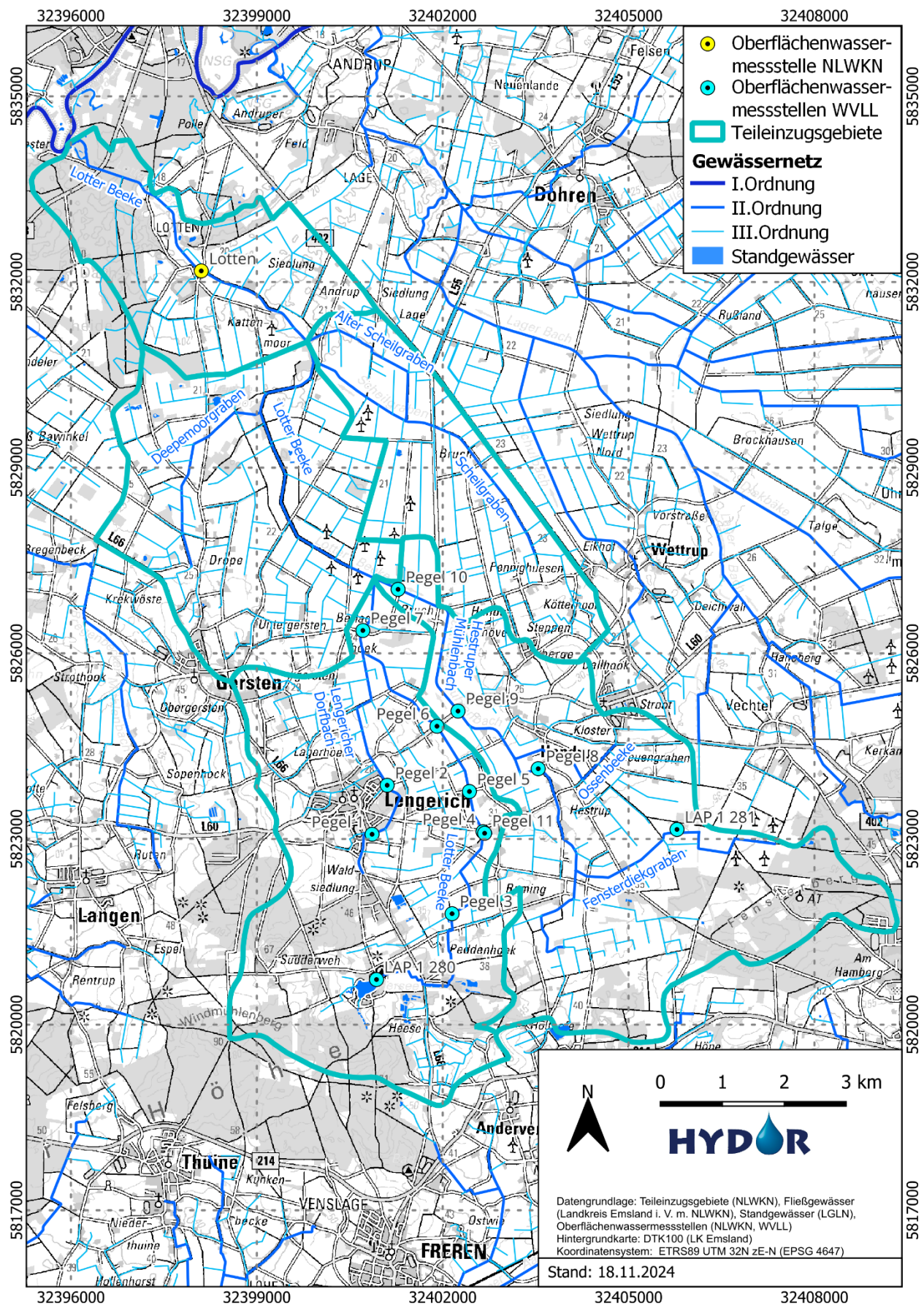


Abbildung 13: Fließgewässernetz, Standgewässer und verfügbare Pegel an oberirdischen Gewässern des WVLL und des NLWKN

Untersuchungskorridor von 50 m festgelegt und das Fließgewässer in insgesamt 16 Abschnitte aufgeteilt. Für diese 16 Abschnitte wurden jeweils der Ist-Zustand, mögliche Konflikte (z. B. ein fehlender Schutzabstand von Siedlungen oder Ackerland zu Gewässern, Beeinträchtigungen der Durchlässigkeit durch Verrohrung oder Sohlbefestigung) und z. T. Maßnahmen zur Behebung dieser Konflikte (z. B. Remäandrierungen, neue Konstruktionen zur Steuerung des Zu- und Abflusses von Wasser) dargestellt.

Das Projektgebiet ist neben den Gewässern II. Ordnung hydrologisch geprägt durch das im Rahmen des ursprünglichen Emslandplanes angelegte Grabensystem, das auch aktuell noch weite Teile des Projektgebietes entwässert (s. Abbildung 13).

Für die Vorbereitung, Planung und Umsetzung von Maßnahmen zum Wasserrückhalt an Gewässern ist das nach dem Erlass des MU vom 11.12.2024 (MU 2024) von Bedeutung, da derartige Maßnahmen insbesondere an Gewässern dritter Ordnung oder an sehr kleinen Fließgewässern (Gräben) zu verorten seien. An Gewässern zweiter Ordnung dagegen bestünden aufgrund der vergleichsweise großen Einzugsgebiete Zielkonflikte mit anderen Zielen der EG-WRRL, so dass technische Maßnahmen zum Rückhalt im Regelfall hier nicht angezeigt seien.

Der Abfluss in den Gewässern nimmt in der Regel von Südwesten nach Nordosten zu. Im Einzugsgebiet der Lotter Beeke messen der Wasserverband Lingener Land (WVLL) an zehn Pegeln (im Folgenden Pegel 1 bis 10 genannt) und der NLWKN an dem Pegel Lotten Abflüsse (Lage der Pegel s. Abbildung 13). An sechs der zehn Pegel betrug der minimale Abfluss im Zeitraum vom 08.09.2014 bis 24.10.2023 0 m³/s, d. h. es war kein Abfluss messbar (s. Tabelle 5). Der minimale Abfluss im Unterlauf des Hestruper Mühlenbaches am Pegel 10 betrug 45,00 m³/s.

Die maximal gemessenen Abflüsse an den Pegel des WVLL schwankten zwischen $7,00 \cdot 10^{-3}$ m³/s (Pegel 1) und 464,00 m³/s (Pegel 10) sowie die mittleren, gemessenen Abflüsse zwischen $1,12 \cdot 10^{-3}$ m³/s (Pegel 1) und $186,94 \cdot 10^{-3}$ m³/s (Pegel 10). Am Pegel Lotten, welcher im Unterlauf der Lotter Beeke lokalisiert ist, lagen zum Zeitpunkt der Berichterstellung (Stand: Oktober 2024) zuverlässige Abflussmessungen nur für den Zeitraum 01.03.1972 bis 31.12.2017 vor (Mitt. NLWKN).

Hier schwankte der Abfluss zwischen $106,00 \cdot 10^{-3}$ m³/s und $10.600,00 \cdot 10^{-3}$ m³/s, er betrug im Mittel $964,38 \cdot 10^{-3}$ m³/s. Die Abflussganglinie des Pegel Lotten zeigt deutliche saisonale Unterschiede (s. Abbildung 14), so waren die Abflüsse im Mittel in den Monaten Dezember bis März am höchsten und nahmen ab April bis August ab, bis sie schließlich ab September im Mittel wieder langsam anstiegen. Auch zwischen verschiedenen Jahren traten deutliche Unterschiede vor allem hinsichtlich der maximalen Abflüsse auf, so waren z. B. die Jahre 1987, 1993 und 1998 durch hohe maximale Abflüsse geprägt.

Tabelle 5: Statistische Auswertungen zu den Abflussmessungen an den Pegeln 1 bis 10 des WVLL und am Pegel Lotten des NLWKN

Oberflächen-wassermess-stelle	Zeitraum mit Abfluss-messungen	Anzahl der Abfluss-messungen	minimaler Abfluss [m³/s]	maximaler Abfluss [m³/s]	mittlerer Abfluss [m³/s]
Pegel 1	08.09.2014 - 24.10.2023	68	0,00	$7,00 \cdot 10^{-3}$	$1,12 \cdot 10^{-3}$
Pegel 2	08.09.2014 - 24.10.2023	68	0,00	$45,00 \cdot 10^{-3}$	$3,51 \cdot 10^{-3}$
Pegel 3	08.09.2014 - 24.10.2023	67	0,00	$38,00 \cdot 10^{-3}$	$10,19 \cdot 10^{-3}$
Pegel 4	08.09.2014 - 24.10.2023	68	0,00	$100,00 \cdot 10^{-3}$	$24,81 \cdot 10^{-3}$
Pegel 5	08.09.2014 - 24.10.2023	68	0,00	$107,00 \cdot 10^{-3}$	$33,19 \cdot 10^{-3}$
Pegel 6	08.09.2014 - 24.10.2023	67	$5,00 \cdot 10^{-3}$	$100,00 \cdot 10^{-3}$	$33,72 \cdot 10^{-3}$
Pegel 7	08.09.2014 - 24.10.2023	68	0,00	$266,00 \cdot 10^{-3}$	$97,39 \cdot 10^{-3}$
Pegel 8	08.09.2014 - 24.10.2023	68	32,00	$245,00 \cdot 10^{-3}$	$107,78 \cdot 10^{-3}$
Pegel 9	08.09.2014 - 24.10.2023	68	$58,00 \cdot 10^{-3}$	$406,00 \cdot 10^{-3}$	$173,90 \cdot 10^{-3}$
Pegel 10	08.09.2014 - 24.10.2023	67	$45,00 \cdot 10^{-3}$	$464,00 \cdot 10^{-3}$	$186,94 \cdot 10^{-3}$
Pegel Lotten	01.03.1972 - 31.12.2017	16.741	$106,00 \cdot 10^{-3}$	$10.600,00 \cdot 10^{-3}$	$964,38 \cdot 10^{-3}$

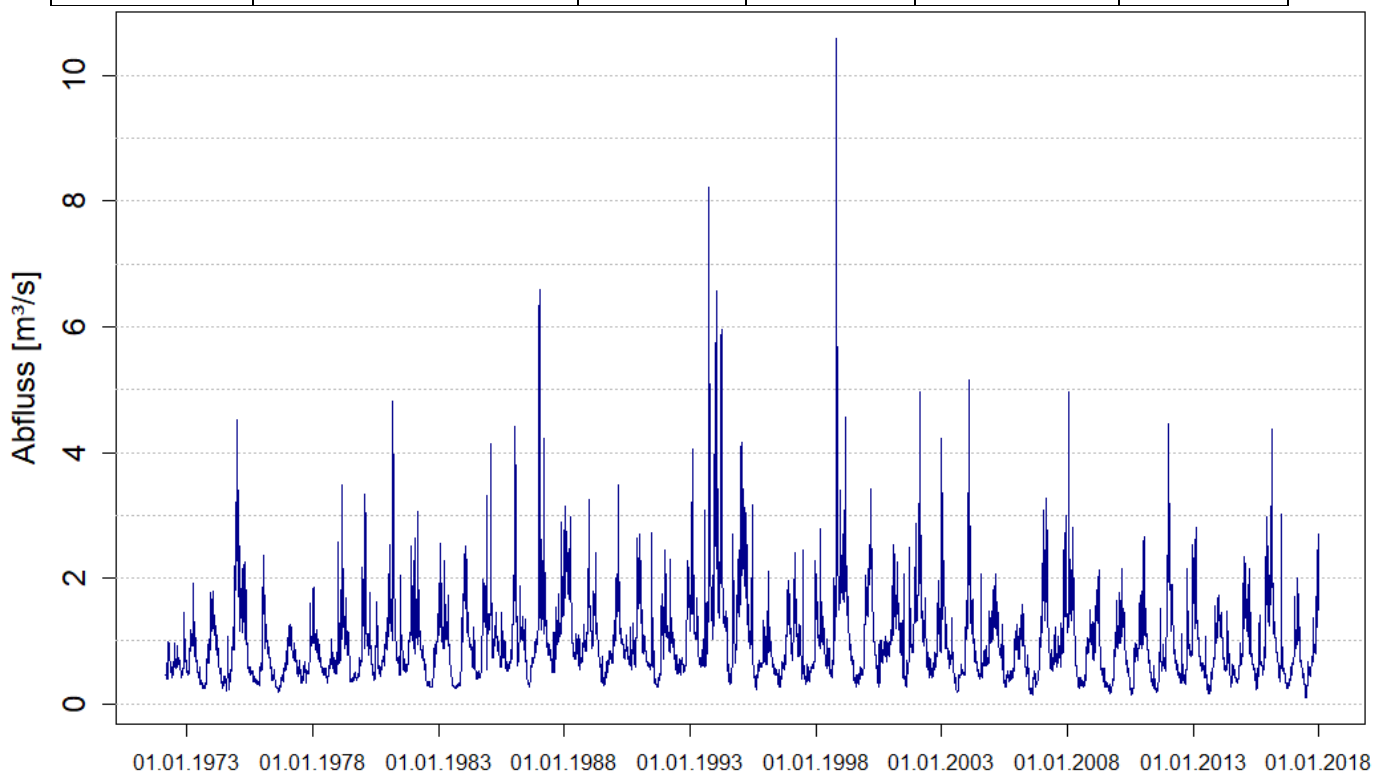


Abbildung 14: Ganglinie des Abflusses am Pegel Lotten für den Zeitraum 01.03.1972 bis 31.12.2017

Die Fließgewässer im Einzugsgebiet Lotter Beeke sind durch zahlreiche Bauwerke gekennzeichnet. Ein Großteil dieser Bauwerke sind Rohrdurchlässe an Wegen bzw. Straßen. In den Gewässern II. Ordnung sind weiterhin sogenannte Sohlabstürze errichtet worden. Diese Sohlabstürze (z. B. in Ossenbeeke s. Abbildung 15) wurden z. T. bereits in Sohlgleiten (z. B. in Hestruper Mühlenbach s. Abbildung 15) umgebaut, um die Durchgängigkeit der Fließgewässer zu verbessern.



Abbildung 15: (links) Sohlabsturz in der Ossenbeeke, (rechts) Sohlgleite im Hestruper Mühlenbach

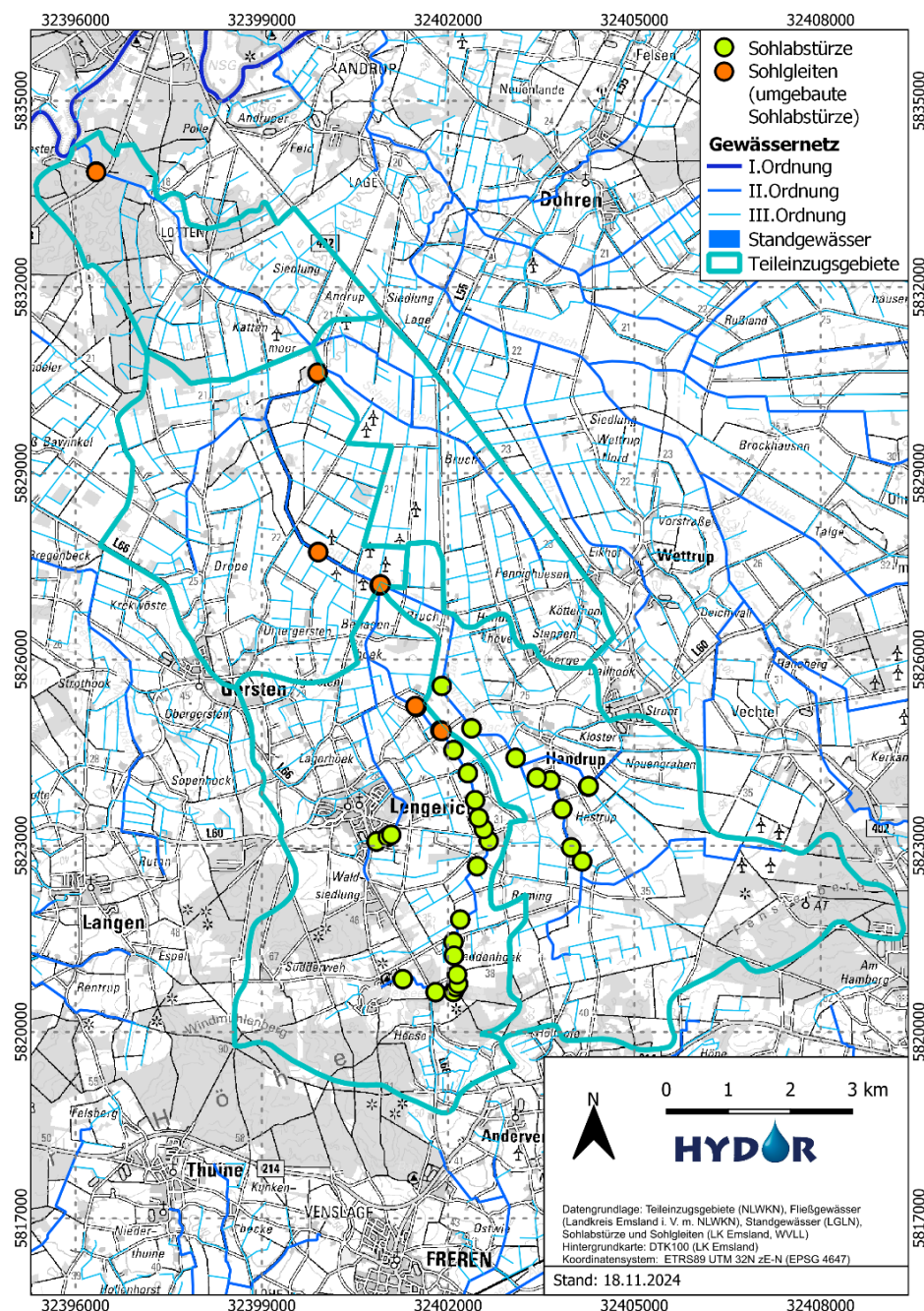


Abbildung 16: Übersicht Sohlabstürze und in Sohlgleiten umgebaute Sohlabstürze

Lindschulte (2023) hat eine hydraulische Betrachtung von Sohlgleiten an drei Standorten der Lotter Beeke durchgeführt. Die Sohlgleiten wurden 2010 errichtet, zuvor waren hier Sohlabstürze verbaut. Es wurde untersucht, ob sich der Wasserstand in der Lotter Beeke durch den Umbau von Abstürzen in Sohlgleiten verändert hat. Eine erste Schlussfolgerung war es, dass sich der Wasserstand in der Lotter Beeke durch den Umbau verringert hat, weil der Wasserstand im Jahr 2008 (vor Umbau) höher war als im Jahr 2017 (nach Umbau) (Lindschulte Ingenieurbüro mbH Emsland 2023). Bedacht werden sollte hierbei, dass der Wasserstand nicht alleine durch den Umbau beeinflusst wurde, sondern z. B. auch vom Wasserhaushalt abhängig war. Anhand der Wasserstandsganglinie (s. Abbildung 17) wird deutlich, dass bereits im Jahr 2007 höhere Wasserstände gemessen wurden, welche Mitte des Jahres 2008 relativ plötzlich abnahmen. Das hydrologische Jahr 2007 war niederschlagsreich (DWD-Station Fürstenau: 1065 mm), was die höheren Wasserstände vor allem am Anfang des Jahres 2008 erklärt. Die hydrologischen Jahre 2008 und 2017 wiesen an der Station Fürstenau mit 796,2 mm bzw. 750 mm ähnlich hohe Niederschlagsmengen auf (s. Kap. 4.5). Die Unterschiede in den Wasserständen könnten also auch in dem Wasserhaushalt begründet liegen.

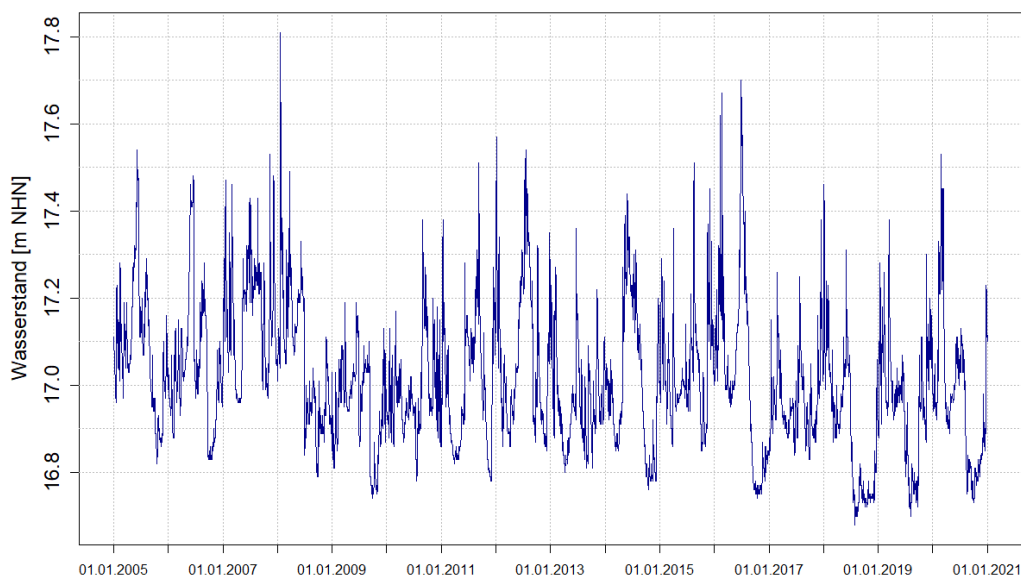


Abbildung 17: Wasserstandsganglinie des Pegels Lotten an der Lotter Beeke für den Zeitraum 2005 bis 2020

Weiterhin wurde durch Lindschulte (2023) im Zuge der Betrachtung eine hydraulische Berechnung mit dem Modell HEC-RAS durchgeführt. Als Randbedingungen

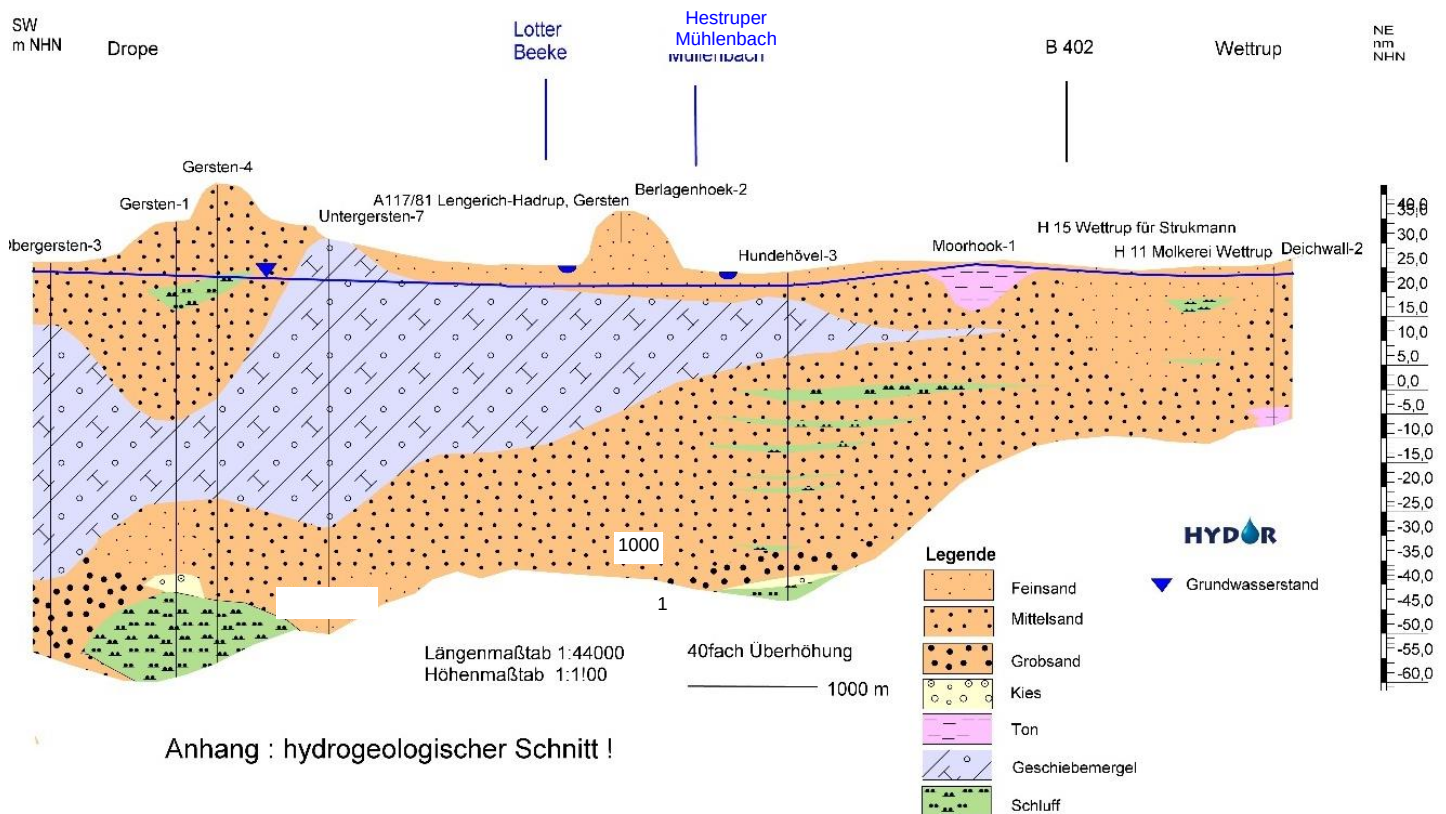
für den Abfluss wurden die am Pegel Lotten gemessenen Abflüsse des Jahres 2008 für die Simulation der Abstürze und die Abflüsse des Jahres 2017 für die Simulation der Sohlgleiten genutzt.

Um die Auswirkungen des Umbaus beurteilen zu können, sollten jedoch die gleichen Randbedingungen angesetzt werden. Weiterhin wurden in das hydraulische Modell für die Simulation der Abstürze die Querprofile des Gerinnes oberhalb und unterhalb der Abstürze sowie für den Absturz selbst eingefügt. Für den Zustand nach Umbau in Sohlgleiten wurde das Absturzprofil entfernt und die restlichen Profile blieben unverändert. Zu berücksichtigen wäre jedoch, dass sich das Grabenprofil durch die im Zuge des Umbaus eingebrachten Steinschüttungen lokal deutlich verändert hat. So wurde in den wasserrechtlichen Antragsunterlagen dargelegt, dass z. B. stromaufwärts zu den ehemaligen Abstürzen eine ca. 30 cm mächtige Steinschüttung eingebracht wurde. Diese Unschärfen sind bei der hydraulischen Bewertung der Antragsunterlagen zu berücksichtigen.

4.7 Geologie und Hydrogeologie

Nach der geologischen Übersichtskarte (GÜK500) sind im südlicheren Bereich des Einzugsgebietes der Lotter Beeke oberflächennah Schmelzwasserablagerungen der Saale-Kaltzeit vertreten. Bei den höher gelegenen Flächen im Bereich westlich bzw. nordwestlich von Lengerich wird Geschiebelehm bzw. -mergel des Drenthe-Stadiums angetroffen. Die tiefergelegenen Bereiche sind geprägt durch Flussablagerungen des Holozäns bzw. der Weichsel-Kaltzeit sowie z. T. durch periglaziäre Hang- und Schwemmassagerungen, Fließerde und Blockschutt (s. Abbildung 19).

Die vom LBEG bereitgestellten Bohrungen wurden u. a. dafür verwendet, um neben den online verfügbaren geologischen Schnitten des LBEG (Lage s. Abbildung 19) zwei weitere geologische Schnitte (im Folgenden Schnitt 1 und Schnitt 2 genannt) anzufertigen (zur Lage der Schnittspuren, s. Abbildung 19). Schnitt 1 (s. Abbildung 18) zeigt unter Ausnahme der Gebiete bei Wettrup eine in der Regel mächtige und zusammenhängende Geschiebemergelschicht, welche größtenteils von einer geringmächtigen Sandschicht über- (oberer GWL) und einer mächtigeren Sandschicht unterlagert (unterer GWL) wird. In den Grundwasserleitern zeigen sich wiederum lokale Einlagerungen von Schluff. Im nördlicheren Schnitt 2 (s. Abbildung 20) ist der Geschiebemergel deutlich geringmächtiger ausgeprägt und weniger verbreitet. Die Grundwasserleiter, bestehend aus zumeist Sanden, sind bis zu 70 m mächtig. Der Nord-Süd-Schnitt des LBEG (s. Abbildung 21) zeigt den deutlichen Höhenabfall von Süden nach Norden, zudem sind die mächtigen Geschiebemergelschichten zwischen Lengerich und Gersten sowie der mächtige untere Grundwasserleiter deutlich erkennbar.



Anhang : hydrogeologischer Schnitt !

Abbildung 18: Geologischer Schnitt 1 in Richtung Südwest-Nordost (Erstellung: HYDOR)

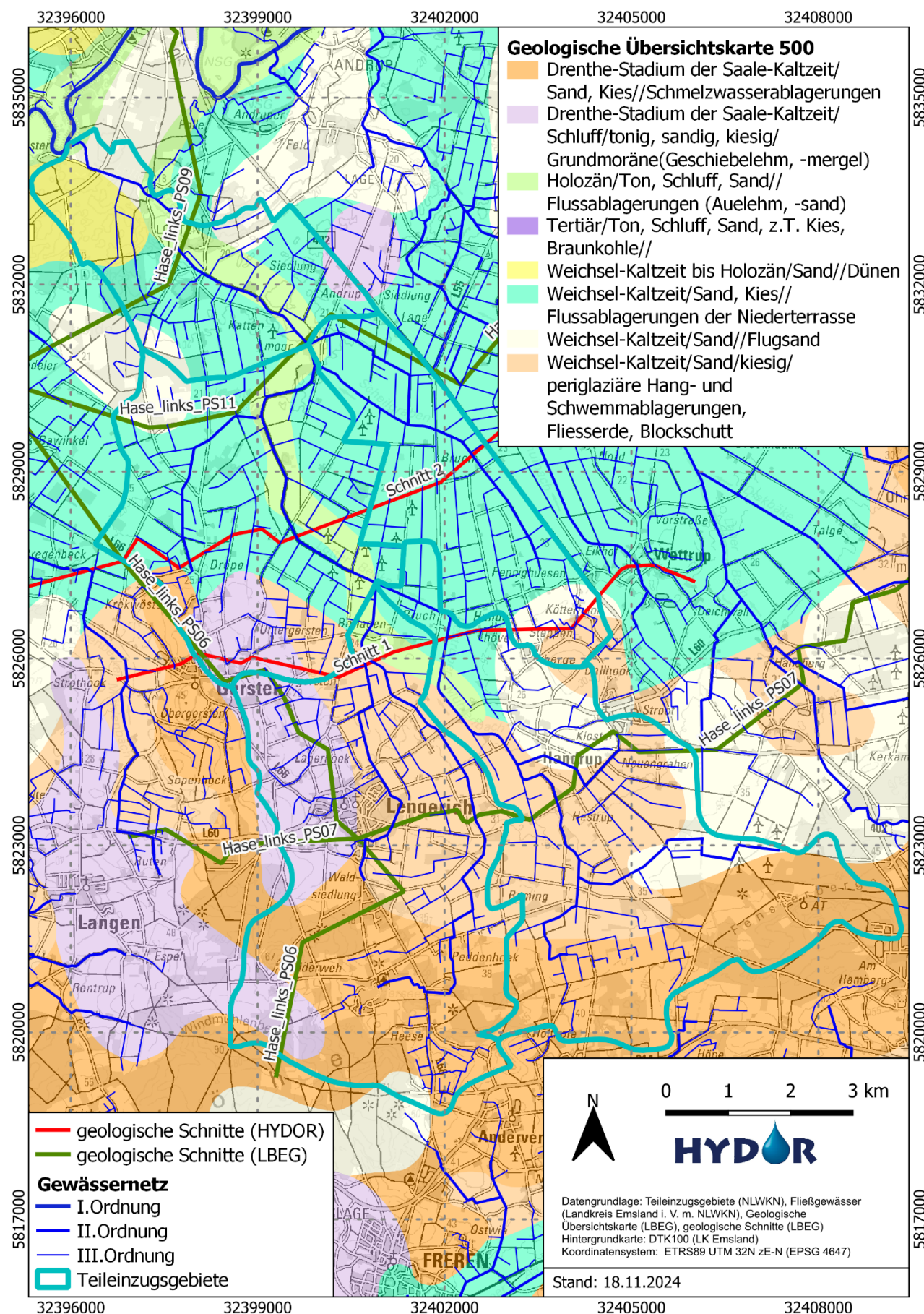


Abbildung 19: Geologische Übersichtskarte im Maßstab 1: 500 000

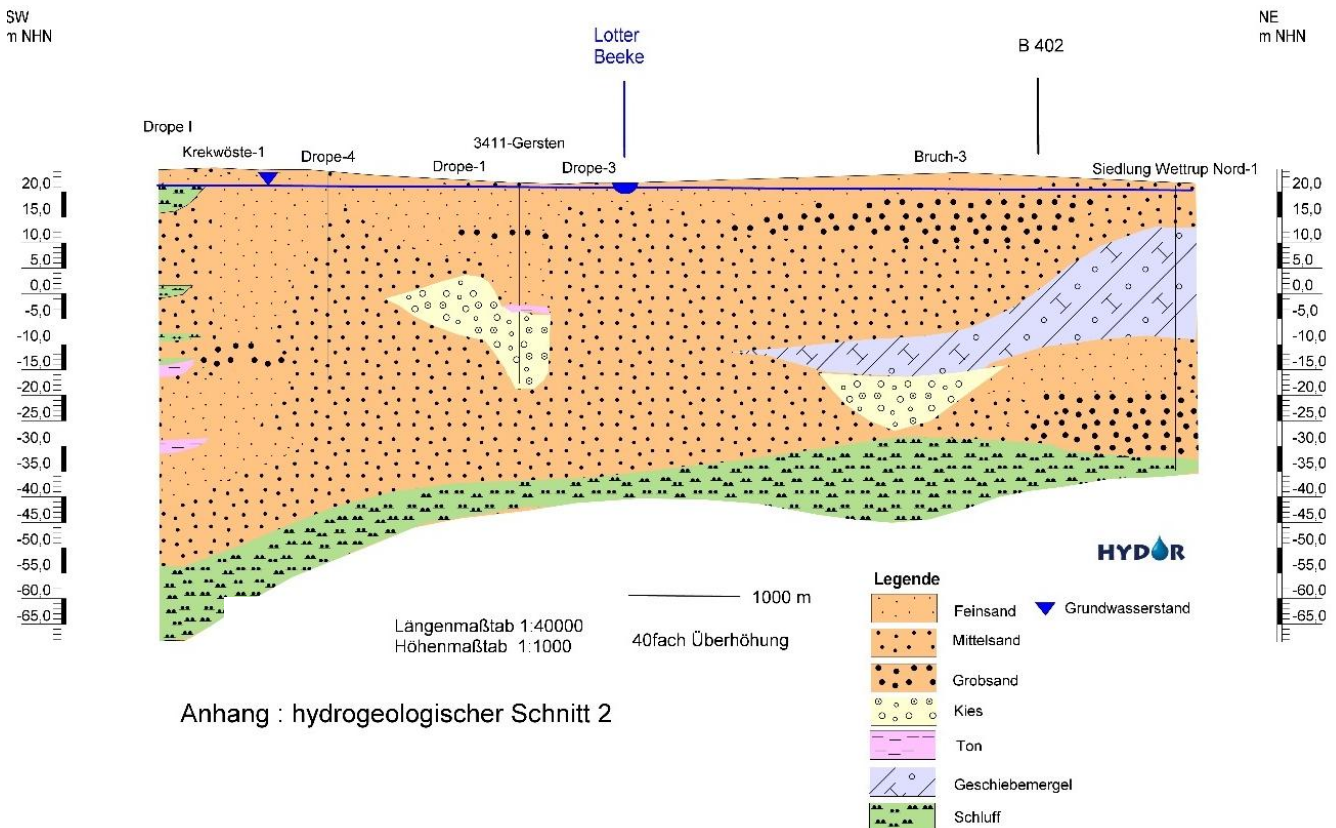


Abbildung 20: Geologischer Schnitt 2 in Richtung Südwest-Nordost (Erstellung HYDOR).

In den Schnitten ist erkennbar, dass zumeist zwei Grundwasserleiter ausgeprägt sind, welche durch zusammenhängende Geschiebemergel getrennt werden. Diese Trennung macht sich auch in den Grundwasserständen bemerkbar. So zeigen sich an der mehrfachverfilterten Messstelle Hestruper Mühlenbach des NLWKN (Lage: südlich von Hestrup beim Hestruper Mühlenbach, s. Abbildung 24) unterschiedliche Druckhöhen bei der flachen Messstellen 1200000877 Hestruper Mühlenbach I und den beiden tieferen Messstellen 1200000782 Hestruper Mühlenbach II sowie 1200000880 Hestruper Mühlenbach III. Der Druckhöhenunterschied beträgt etwa 2 m (s. Abbildung 22). Ein Blick auf die Bohrungen und geologischen Schnitte zeigt, dass die Messstelle 1200000877 Hestruper Mühlenbach I oberhalb und die Messstellen 1200000782 Hestruper Mühlenbach II und 1200000880 Hestruper Mühlenbach III unterhalb des dort ca. 10 m mächtigen Geschiebemergels verfiltert sind.

Bei der mehrfachverfilterten Messstelle Lotten des NLWKN bzw. des WVLL (Lage: in der Nähe des Hauses Lotten, ca. 2 km südöstlich der Mündung Lotter Beeke in die Hase) sind die Druckhöhenunterschiede dagegen deutlich geringer bis gar nicht ausgeprägt (s. Abbildung 23). Die Messstellen 40504591 Lotten I und 40504602 Lotten II werden durch eine Geschiebemergelschicht getrennt, welche dort eine Mächtigkeit von fünf Metern besitzt, in der Umgebung z. T. aber auch deutlich geringmächtiger ist bzw. fehlt und dort zu hydraulischen Fenstern führt. Es liegt also vor allem im Süden eine komplexe Hydrogeologie vor, die zumeist zu deutlich getrennten Grundwasserleitern geführt hat, jedoch lokal auch eine geohydraulische Korrespondenz der Grundwasserstände im Umkreis hydraulischer Fenster bei Fehlstellen der bindigen Zwischenschichten ermöglicht.

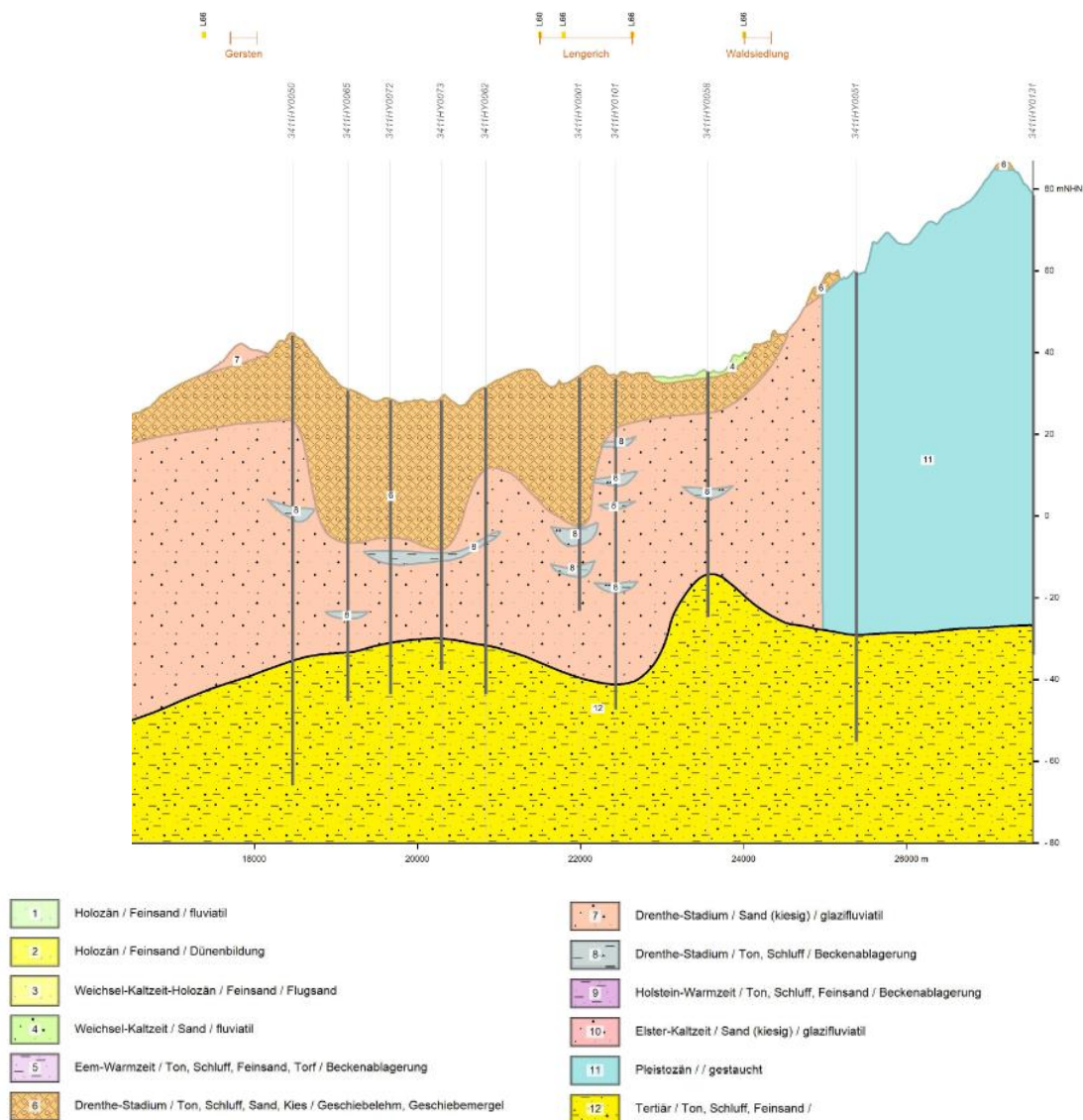


Abbildung 21: Geologischer Schnitt „Hase_links_PS06“ (Nord-Süd) des LBEG (verändert)

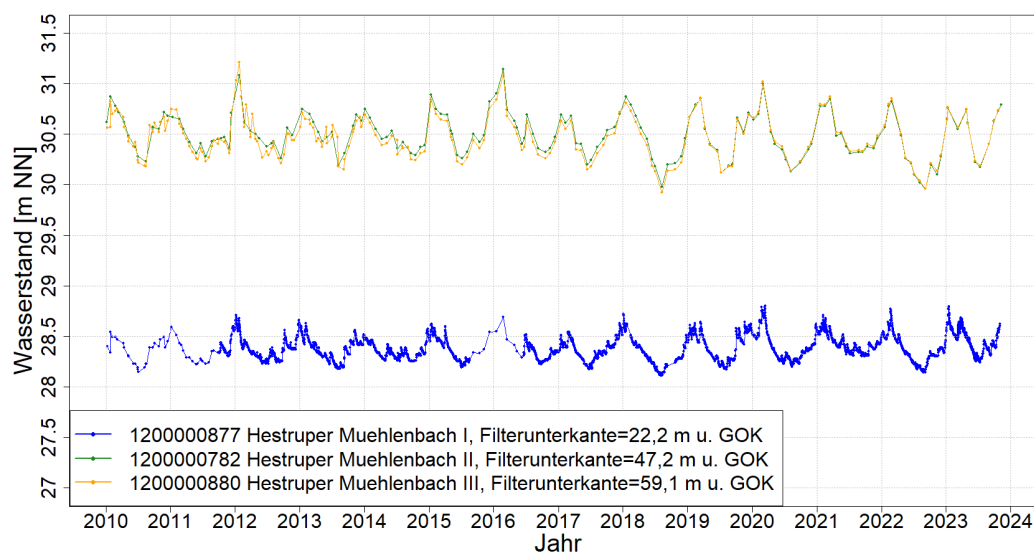


Abbildung 22: Grundwasserstandsganglinien an den Grundwassermessstellen 1200000877 Hestruper Muehlenbach I, 1200000782 Hestruper Muehlenbach II und 1200000880 Hestruper Muehlenbach III

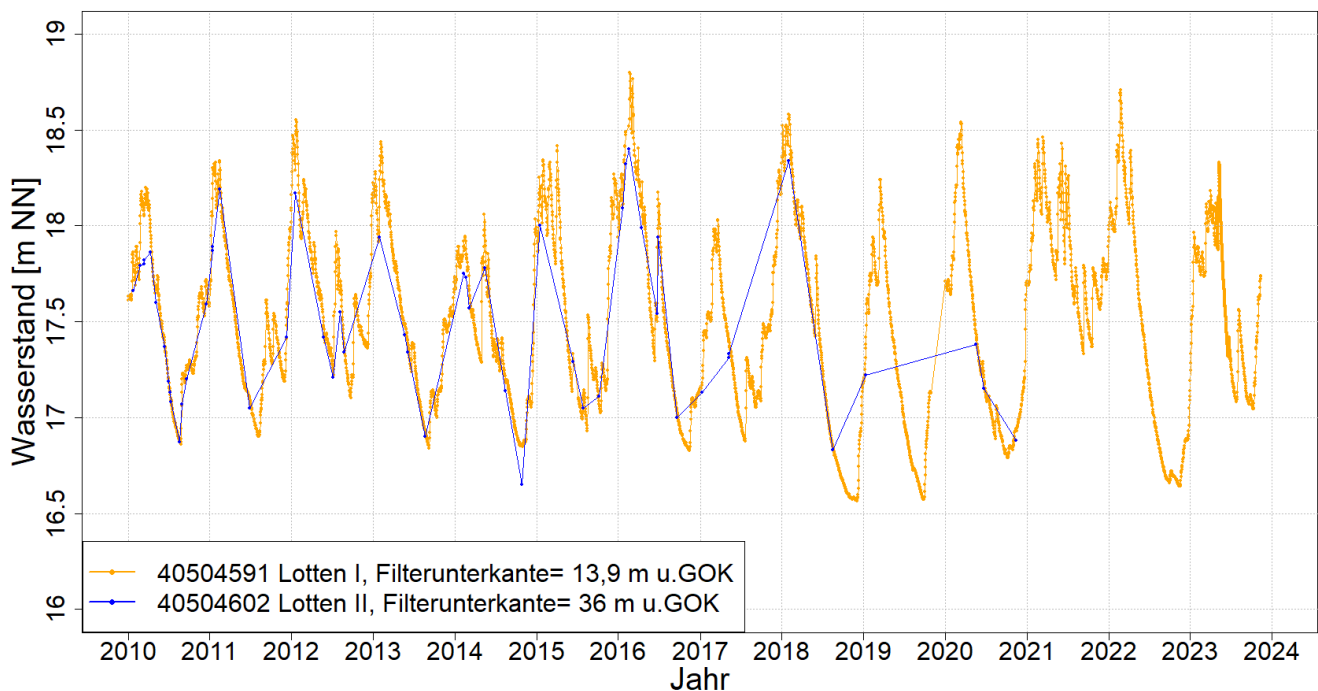


Abbildung 23: Grundwasserstandsganglinien an den Grundwassermessstellen 40504591 Lotten I und 40504602 Lotten II.

Das Grundwasser im Einzugsgebiet der Lotter Beeke wird neben dem verzweigten Grabensystem auch durch Grundwasserentnahmen beeinflusst (genehmigte Entnahmen Stand August 2023 s. Abbildung 25), und zwar für die landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Feldberegnung, Viehtränken und die betriebliche sowie die öffentliche Trink- und Brauchwasserversorgung. Die Anzahl der Standorte mit genehmigten Wasserentnahmen für land- und forstwirtschaftliche Zwecke überwiegt im Einzugsgebiet deutlich.

Grundwasserentnahmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung sind behördlich an drei Standorten östlich von Lengerich genehmigt. Der WV Lingener Land führte von März 2020 bis Februar 2023 dort einen Dauerpumpversuch durch. Der vierte Jahresbericht stammt aus Dezember 2022, der Abschlussbericht wurde im Dezember 2024 vorgelegt (CONSULAQUA Hildesheim 2022 & 2024; alle Dokumente dazu online verfügbar auf²). Insgesamt bestand der Pumpversuch aus drei Stufen, die jeweils ein Jahr andauerten sowie der Wiederanstiegsphase seit März 2023.

Die erste Stufe begann am 09.03.2020 und endete am 08.03.2021, insgesamt sind hierbei 499.659 m³ Wasser entnommen worden. Die zweite Stufe startete am 09.03.2021 und endete am 08.03.2022, insgesamt wurden im zweiten Jahr 998.315 m³ Wasser entnommen. Die letzte Stufe startete am 09.03.2022 und endete Anfang März 2023. Insgesamt wurden in der dritten Stufe 1.500.000 m³ Wasser entnommen, bis Oktober 2022 waren es 941.545 m³. Die monatlichen Fördermengen variierten geringfügig auch innerhalb des Zeitraumes der jeweiligen Pumpphasen (s. Abbildung 26). Abbildung 27 dokumentiert das Profil und den Ausbauplan des östlichsten der drei

² <https://www.wvll.de/wasser/pumpversuch-lengerich-handrup/pumpversuch-lengerich-handrup.html>

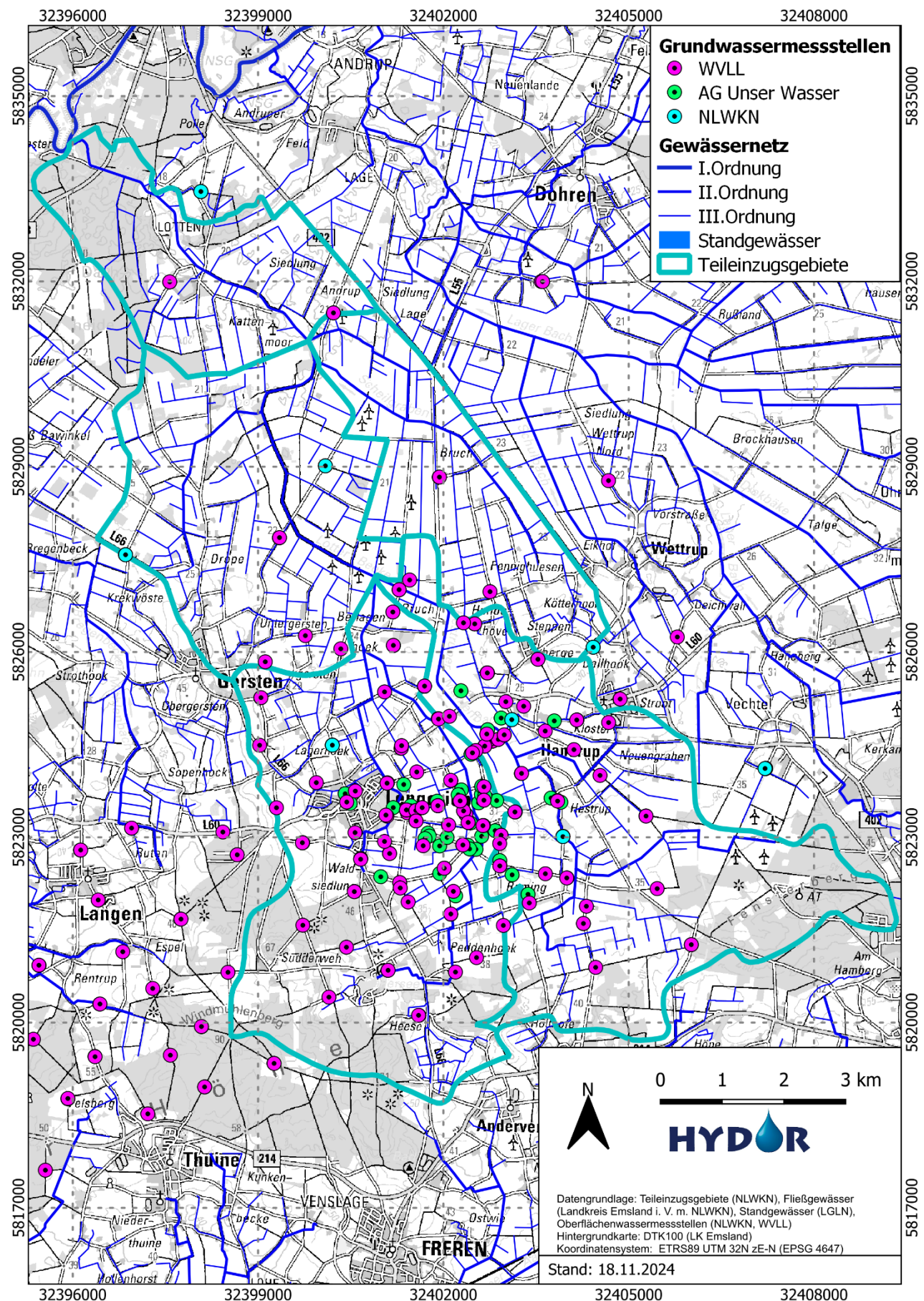


Abbildung 24: Grundwassermessstellen im Einzugsgebiet der Lotter Beeke.

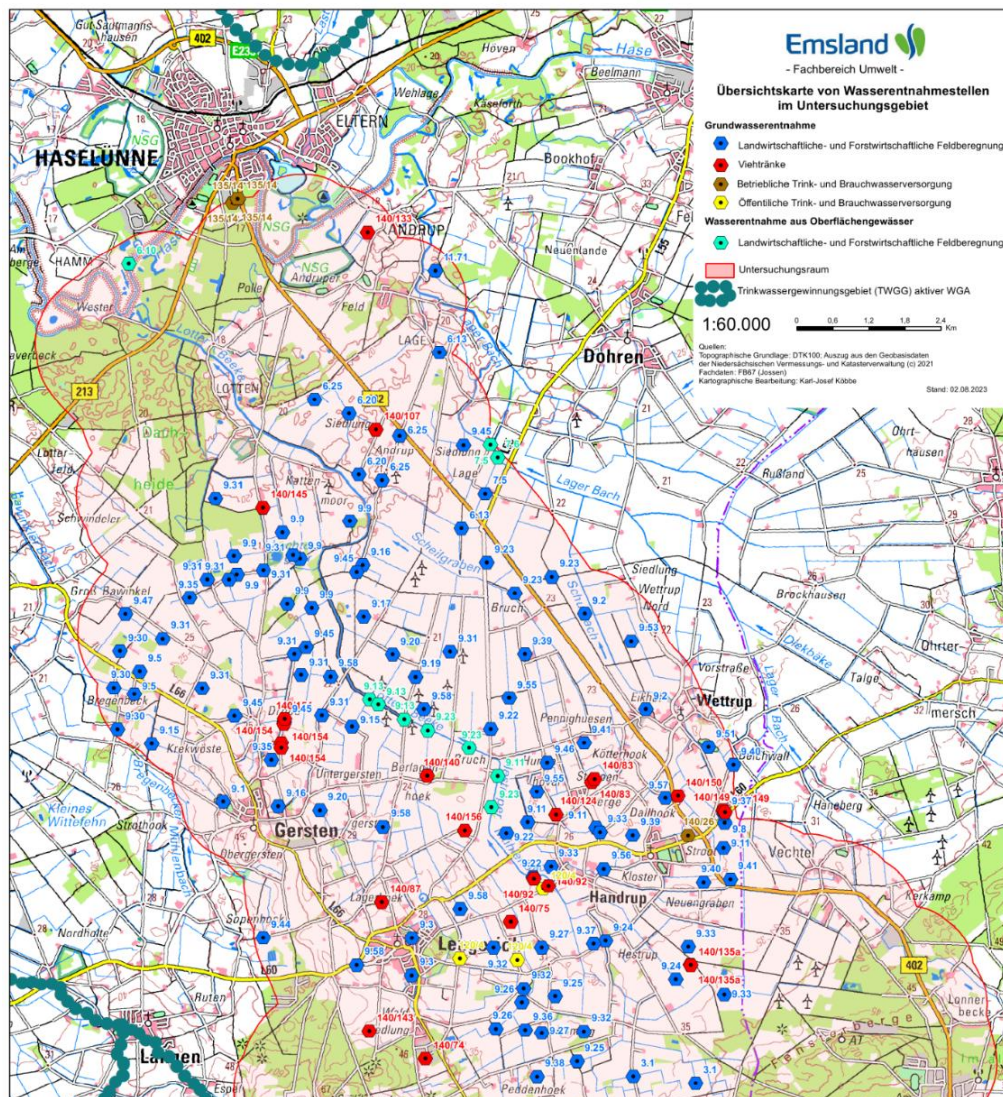


Abbildung 25: Wasserentnahmen im Untersuchungsgebiet (Quelle: Landkreis Emsland)

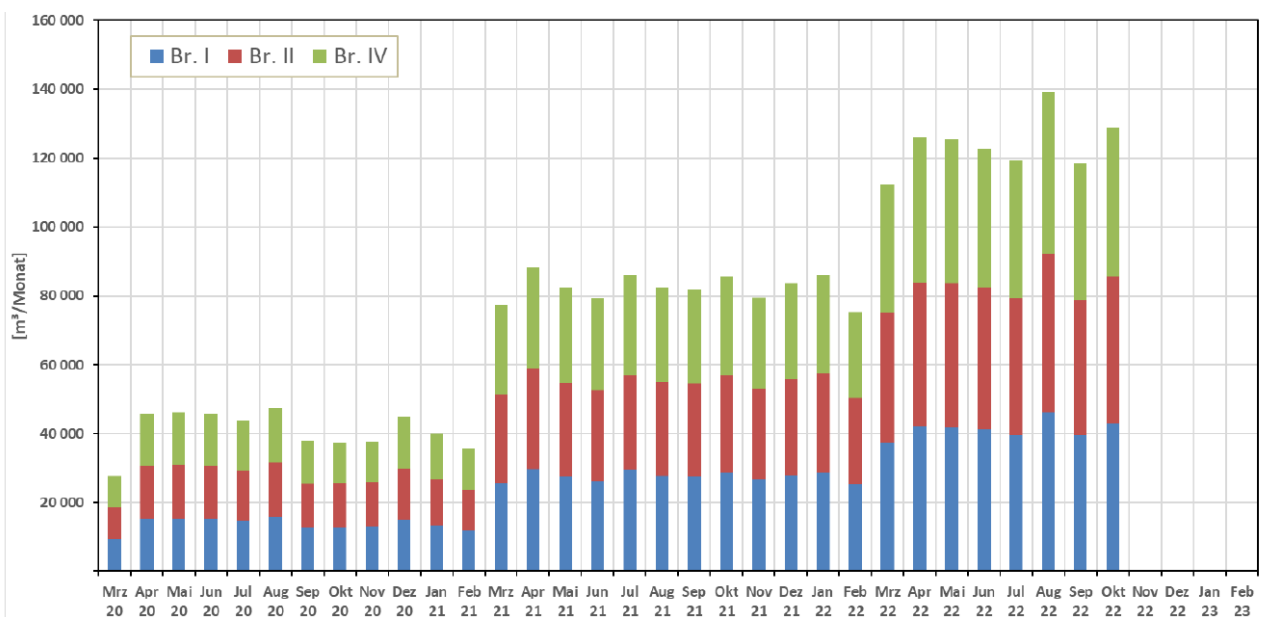
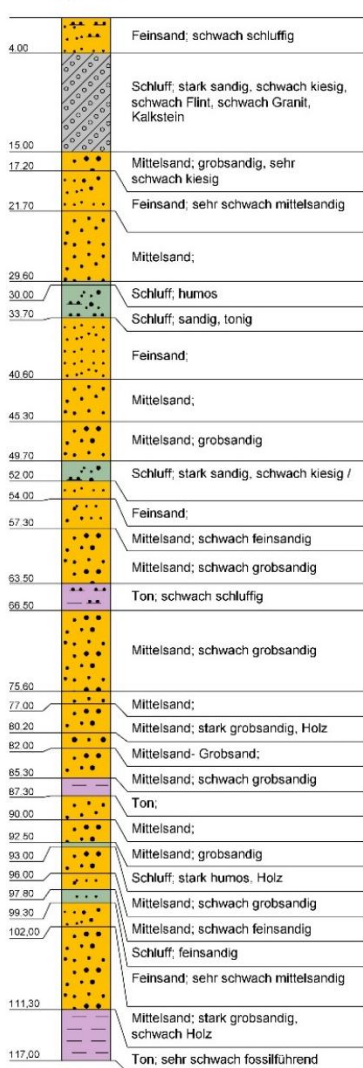
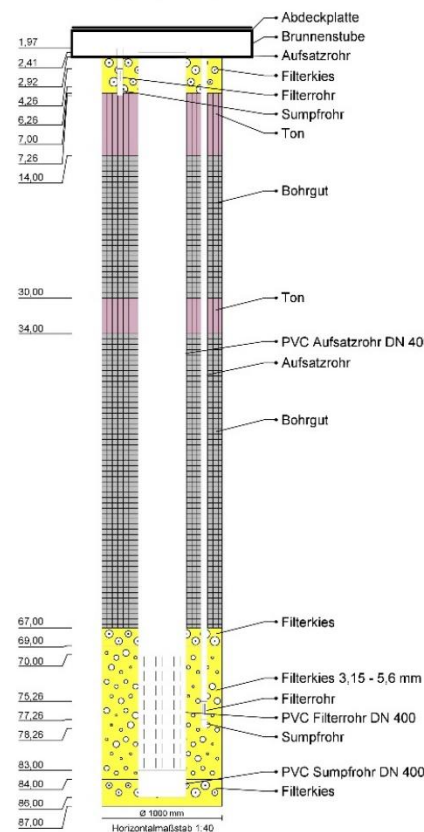
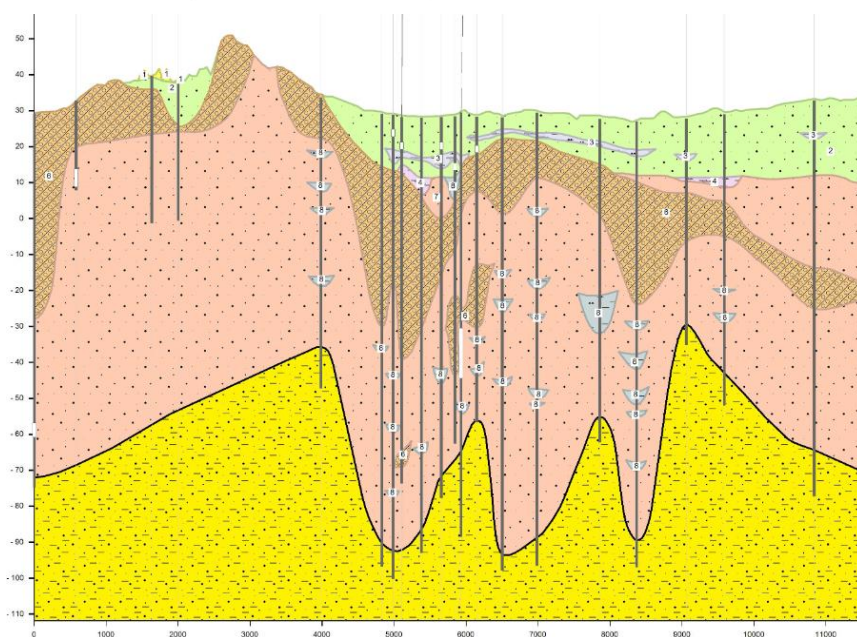


Abbildung 26: Monatliche Fördermengen der Pumpphase des Pumpversuches des WV Lingener Land im Einzugsgebiet der Lotter Beeke von März 2020 bis Oktober 2022 (Consulaqua 2022)

Lengerich 126, Brunnen IV
26,49 m NNFörderbrunnen IV
ML 1 004, ML 2 004**Abbildung 27: Bohrprofil und Ausbauplan des Brunns 4 des WV LL östlich von Lengerich**

Brunnen. Dieser und auch die anderen beiden Brunnen sind in Tiefen zwischen 60 und 83 Meter unter Gelände im jeweils bedeckten und gespannten GWL verfiltert. Bei den anderen beiden Brunnen beträgt die summarische Mächtigkeit der überlagernden bindigen Deckschicht 40 bzw. 20 Meter, hier sind es < 20 Meter, zudem sind diese Grundwassergeringleiter auf mehrere Einzelschichten fragmentiert. Diese punktbezogene Information zum Aufbau des Untergrundes deckt sich mit der Darstellung im direkt bei den Brunnen verlaufenden Profilschnitt „Hase links PS 07“ des LBEG (s. Abbildung 28; verfügbar im NIBIS). Die bindigen Schichten sind zumeist in den genannten Mächtigkeiten vorhanden; es gibt jedoch auch Bereiche, in denen die

Abbildung 28: Ausschnitt Geologischer Profilschnitt Hase links PS07 (Legende s. Abbildung 21)

Pumpzeitraum von 2020 bis 2022 deutlich den Einfluss der entnommenen Grundwassermengen. Zu beiden Bohrungen (165 und 152) finden sich im NIBIS die Schichtenverzeichnisse. Bei der Messstelle 165 befindet sich der obere Ausbau in nur vier Meter Tiefe im unbedeckten GWL, die Grundwasserstände sind dennoch im Zeitraum 2020 bis 2022 deutlich abgesenkt. Bei der Messstelle 152 ist das deutlich geringer ausgeprägt.

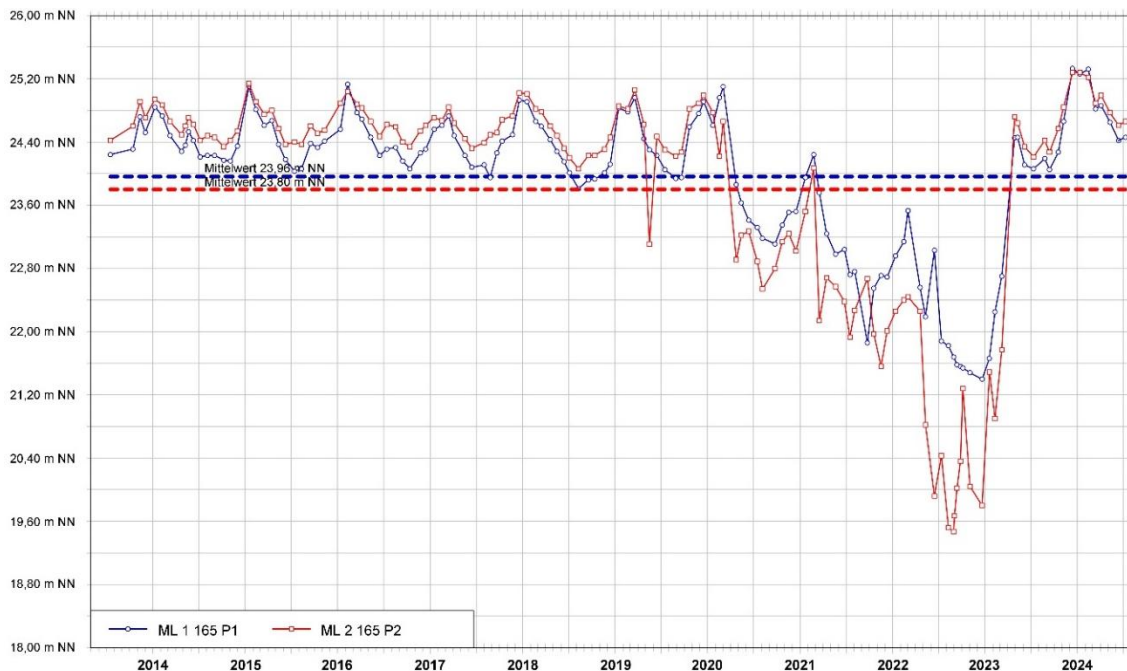


Abbildung 29: Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände von 2013 bis 2024 an einer doppelt im oberen und unteren GWL verfilterten Grundwassermessstelle im Nahfeld zum Brunnen IV des PV

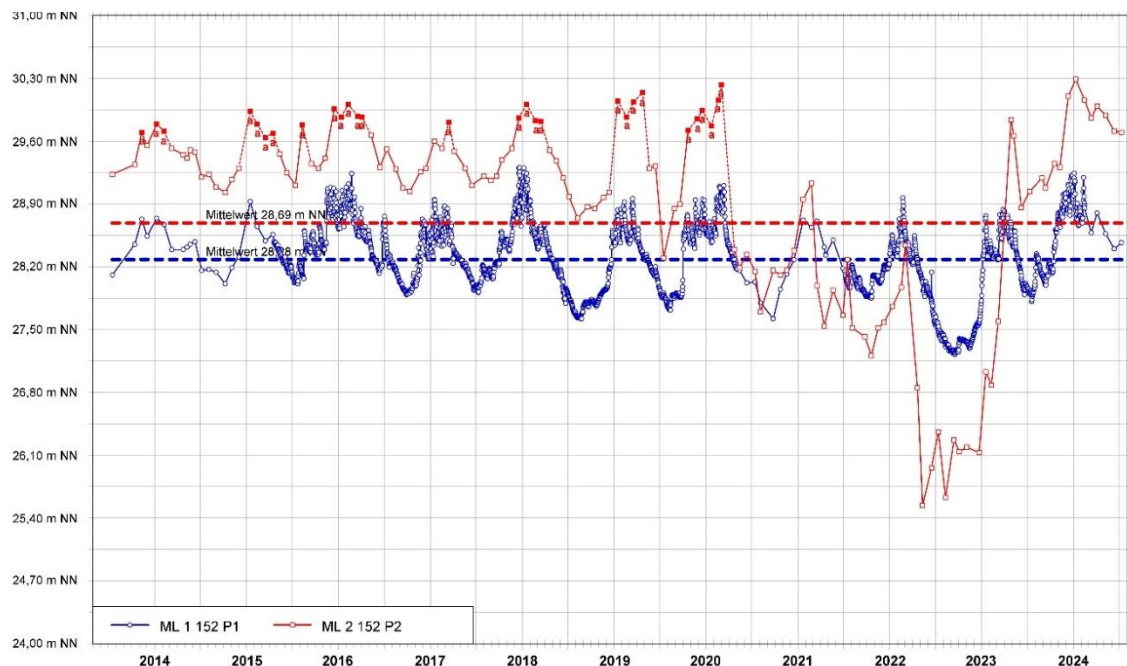


Abbildung 30: Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände von 2013 bis 2024 an einer doppelt im oberen und unteren GWL verfilterten Grundwassermessstelle im Nahfeld zum Brunnen I des PV

Durch ein zukünftiges Monitoring der Wasserstände an doppelt verfilterten Vorfeldmessstellen kann die räumliche Auswirkung der Absenkung bei einer Entnahme effektiv überwacht werden.

5. Zeitliche Entwicklung der Wasserstände und Ermittlung des Grundwasserflurabstandes

Im Folgenden wird die Entwicklung der hydrologischen und hydrogeologischen Verhältnisse anhand der Grund- und Oberflächenwasserstände analysiert sowie dargelegt, wie Grundwasserflurabstandskarten für jeweils einen Zeitraum mit hohen, niedrigen und mittleren Grundwasserständen erstellt wurden.

5.1 Zeitliche Entwicklung der Wasserstände

Die gemessenen Grundwasserstände an ausgewählten Grundwassermessstellen des NLWKN, des WVLL und der „AG Unser Wasser Lengerich-Handrup³“ im Zeitraum 2010 bis 2023 wurden für die Betrachtung der Entwicklung der hydrogeologischen Verhältnisse ausgewertet. Es wurden lediglich die Messstellen verwendet, bei denen eine Beeinflussung durch Beregnungsbrunnen offensichtlich nicht gegeben war. Weiterhin wurden Messstellen in sog. „gespannten“ (s. Abbildung 33) Gebieten nicht verwendet sowie ausschließlich Messstellen im oberen Grundwasserleiter genutzt.

Insgesamt wurden auf diese Weise innerhalb des Einzugsgebietes der Lotter Beeke inklusive eines Puffers von 1000 Meter 129 Grundwassermessstellen (89 WVLL-Grundwassermessstellen, 8 NLWKN-Grundwassermessstellen, 31 AG Unser Wasser-Grundwassermessstellen) ausgewählt. Die Analyse der Grundwasserganglinien orientierte sich an den Ausführungen nach HYDOR (2021). Für die Untersuchung wurden die Grundwasserstände der ausgewählten 129 Grundwassermessstellen monatlich gemittelt. Anschließend erfolgte eine Zentrierung der Werte durch die Subtraktion des jeweiligen Monatsmittels und des jeweiligen Mittelwertes über die gesamte Zeitreihe. Unter Verwendung der zentrierten Wasserstände wurde anschließend ein Monatsmittel sowie das 2,5%-Quantil und das 97,5%-Quantil ermittelt. In die Auswertung eingeschlossen wurden die Daten vom 01.01.2010 bis 01.04.2023. Es zeigten sich starke saisonale Schwankungen mit höheren Grundwasserständen in den Monaten von etwa Dezember bis März und geringeren Grundwasserständen im Sommer und Herbst (s. Abbildung 31). Auch wenn die Schwankungen zwischen den verschiedenen Jahren deutlich erkennbar ist, so war 2016 durch höhere Grundwasserstände geprägt, während 2022 eher geringe Grundwasserstände vorherrschten.

Der ergänzenden Auswertung der hydrologischen Verhältnisse dienten die zehn Pegel des WVLL in Fließgewässern sowie der Pegel Lotten des NLWKN. Es wurde ebenfalls die oben beschriebene Methodik zur Auswertung der Ganglinien angewandt. Aufgrund der geringen Datenmenge ist die Aussagekraft eingeschränkt, bis etwa Mitte des Jahres 2014 lagen allein Daten des Pegels Lotten vor. Für den Zeitraum ab 2015 lagen erhöhte Oberflächenwasserstände zu folgenden Zeitpunkten vor: Februar 2016, Februar 2022 und August 2021 (s. Abbildung 32). Geringe Oberflächenwasserstände wurden in diesen Zeiträumen gemessen: Oktober 2016, November 2022 und Oktober 2018.

³ <https://www.ag-unser-wasser.de/> (Daten wurden frdl. von J. Münster digital zur Verfügung gestellt und geprüft)

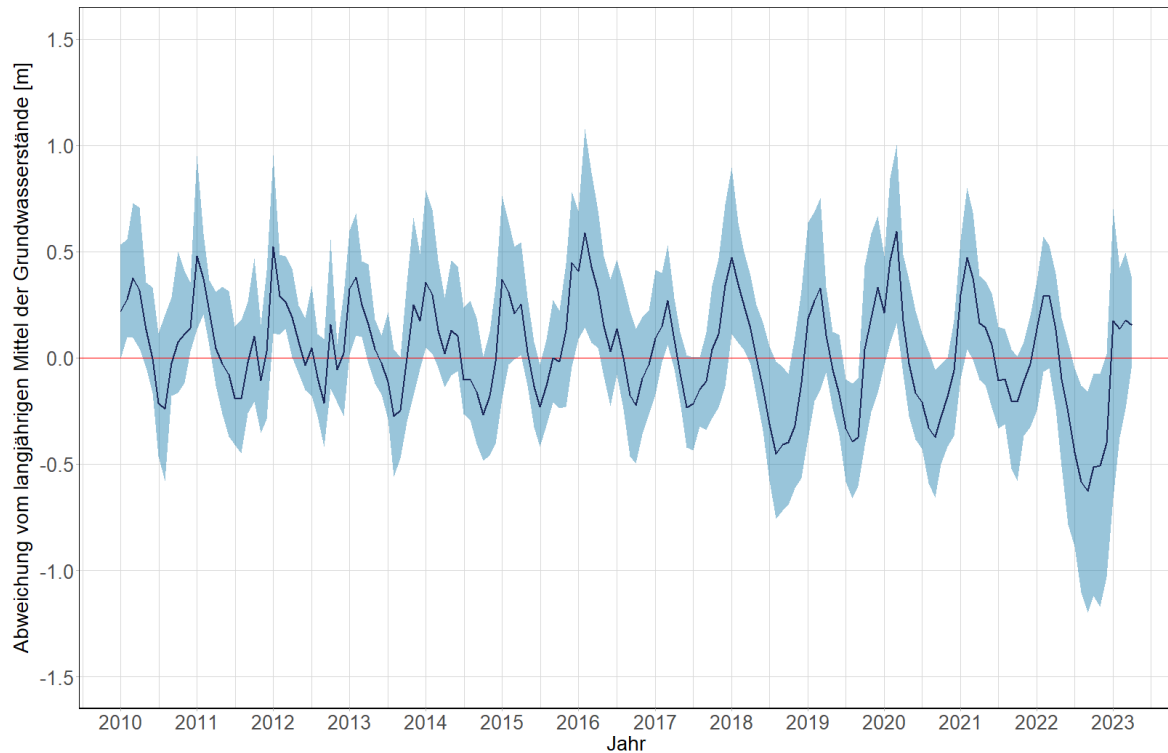


Abbildung 31: Entwicklung der mittleren Grundwasserstände zwischen dem 01.01.2010 und dem 01.04.2023

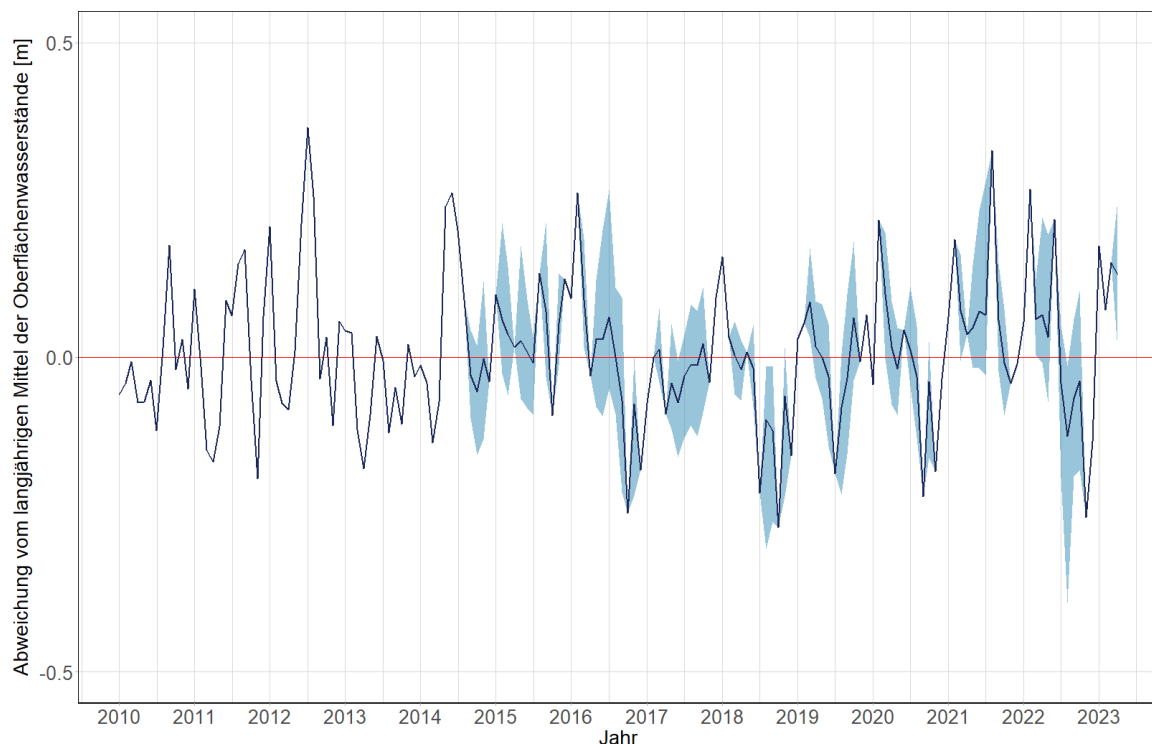


Abbildung 32: Entwicklung der mittleren Oberflächenwasserstände zwischen dem 01.01.2010 und dem 01.04.2023

5.2 Ermittlung des Grundwasserflurabstandes

Der Grundwasserflurabstand ist nach Hölting und Coldewey (2009) der vertikale Abstand zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche (s. Abbildung 33). Bei ungespanntem

Grundwasser entspricht die sogenannte Grundwasserdruckfläche, welche i. d. R. gleich dem gemessenen Grundwasserstand in einer Grundwassermessstelle ist, der Grundwasseroberfläche. Bei gespanntem Grundwasser liegt die Grundwasserdruckfläche oberhalb der Grundwasseroberfläche (s. Abbildung 33). Besonders in Hinblick auf das Wassermengenmanagement in Verbindung mit der Erarbeitung von Wasserrückhaltemaßnahmen ist der Grundwasserflurabstand des ungespannten Grundwassers eine entscheidende Größe. So können anhand des Flurabstandes z. B. Flächen identifiziert werden, welche für die gegebene Nutzung zu trocken sind und bei denen eine Erhöhung des Grundwasserstandes durch Rückhaltemaßnahmen diesen Zustand positiv verändern würde.

Für das vorliegende Projekt wurden die Flurabstände für drei Zustände ermittelt: hohes Grundwasser, mittleres Grundwasser und niedriges Grundwasser. Die Auswahl der Zeitpunkte orientierte sich an den Entwicklungen der mittleren Grundwasserstände (s. Abbildung 31), an der Anzahl der Messstellen (möglichst groß) und an der Aktualität der Zeitpunkte (möglichst aktuell).

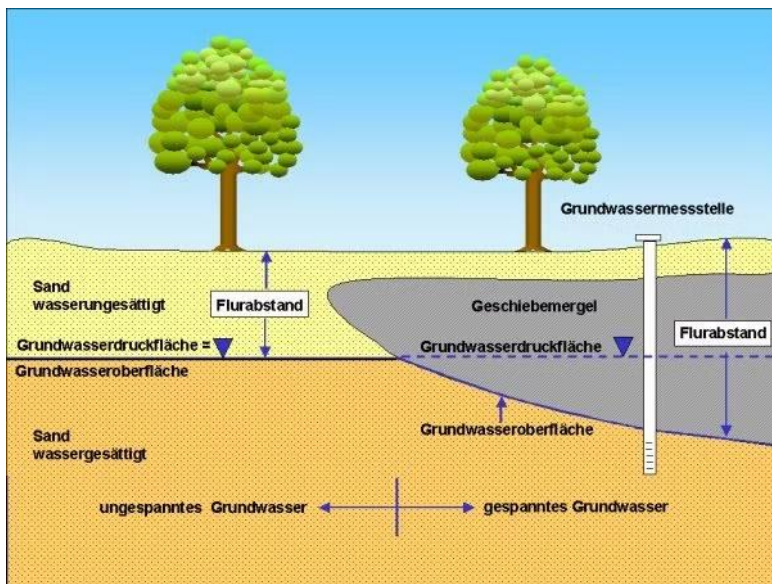


Abbildung 33: Darstellung des Flurabstandes bei ungespanntem und gespanntem Grundwasser (SenSBW 2006)

Es ergaben sich unter Berücksichtigung oben genannter Kriterien die drei Zeitpunkte September 2022 (Niedrigwasser), Dezember 2021 (Mittelwasser) und März 2020 (Hochwasser) (s. Tabelle 6). Die ausgewählten Zeiten beziehen sich jeweils auf den ganzen Monat, für Grundwassermessstellen mit mehr als einem Messwert pro Monat wurde der mittlere Grundwasserstand gebildet.

Tabelle 6: Ausgewählte Zeitpunkte für die drei Zustände niedriges Grundwasser, mittleres Grundwasser und hohes Grundwasser

Zustand	Zeitpunkt	Abweichung vom langjährigen, mittleren Grundwasserstand
niedrige Grundwasserstände	September 2022	– 63 cm
mittlere Grundwasserstände	Dezember 2021	– 2 cm
hohe Grundwasserstände	März 2020	+ 59 cm

Neben den Grundwassermessstellen wurden für die Ermittlung des Grundwasserflurabstandes die Wasserstände der im Gebiet befindlichen elf Oberflächenwasserpegel an Fließgewässern genutzt. Aufgrund der geringen Dichte an Oberflächenwasserpegeln wurden weiterhin Stützpunkte entlang der Fließgewässer in einem Abstand von 250 m festgelegt. Jedem Stützpunkt wurde der niedrigste Wert des DGM1 in einem Umkreis von 50 m zugeordnet. Hierbei wurde angenommen, dass der auf

diese Weise festgelegte Wert der Wasseroberfläche des jeweiligen Oberflächengewässers am jeweiligen Standort und dem Zeitpunkt entspricht, als das DGM1 aufgenommen wurde. Die Werte mussten anschließend an die drei Zustände (s. Tabelle 6) angepasst werden. Hierfür wurde die Differenz des Wasserstandes an den Oberflächenwassermessstellen zum jeweiligen Zustand und dem niedrigsten Wert des DGM1 in einem Umkreis von 50 m um die Messstelle gebildet. Die mittlere Differenz über alle elf Oberflächenwassermessstellen wurde anschließend den Stützpunkten hinzugerechnet (s. Tabelle 7).

Tabelle 7: Differenzen zwischen gemessenen Oberflächenwasserständen und dem DGM1 unter Betrachtung der elf Oberflächenwassermessstellen in Fließgewässern im Einzugsgebiet der Lotter Beeke.

Zustand	Anzahl Oberflächenwassermessstellen	mittlere Differenz zwischen Oberflächenwasserstand und DGM1
niedrige Grundwasserstände	11	+ 22 cm
mittlere Grundwasserstände	11	+ 38 cm
hohe Grundwasserstände	11	+ 46 cm

Die punktuellen Daten der Grundwassermessstellen, der Oberflächenwassermessstellen und der Stützpunkte wurden anschließend mittels geostatistischen Verfahrens in die Fläche übertragen. Genutzt wurde hierbei das Kriging-Verfahren, welches für die Ermittlung von Grundwasseroberflächen häufig angewandt wird (Uetrecht et al. 2019). Beim Kriging wird von einem räumlichen Zusammenhang der punktuellen Daten ausgegangen, welcher mittels Variogramm bestmöglich abgebildet werden soll (Heinrich 2013). Umgesetzt wurde das Kriging für das vorliegende Projekt mit der Software Surfer® Version 16 (Golden Software 2021). Für das Kriging genutzt wurde ein lineares Modell. Die im Ergebnis entstandenen Lagen der Grundwasserdruckflächen wurden anschließend auf ihre Plausibilität hin kontrolliert und u. a. einzelne Stützpunkte entfernt. Abschließend erfolgte jeweils eine finale Regionalisierung je Zustand (Niedrigwasser, Mittelwasser, Hochwasser).

Die auf diese Weise ermittelten Grundwasserdruckflächen dienten der Ermittlung der Flurabstände. Hierfür wurde die Differenz aus DGM1 und Grundwasserdruckfläche gebildet. Diese Annahme gilt alleine in ungespannten Grundwasserleitern. Eine separate Ermittlung der Grundwasseroberfläche und der Grundwasserflurabstände für gespannte Gebiete erfolgte nicht, da davon ausgegangen werden kann, dass Wasserrückhaltemaßnahmen in diesen Arealen keinen Einfluss auf den Grundwasserflurabstand haben.

Die im Ergebnis ermittelten Flurabstände zeigen hohe Grundwasserflurabstände von größer 5 m im Süden bzw. Südwesten des Einzugsgebietes sowie geringere Flurabstände in den niedriggelegenen Arealen des Einzugsgebietes, diese schwanken meist zwischen 0,5 m und 2,0 m, z. T. treten auch hier Flurabstände größer 2,0 m auf (s. Abbildung 34 bis Abbildung 36). Zwischen den Zuständen zeigen sich u. a. in den niedriggelegenen Gebieten Unterschiede, so sinkt der Anteil von Gebieten mit Flurabständen zwischen 0,5 m und 1,0 m beim Vergleich von Hoch- zum Mittelwasser und vom Mittel- zum Niedrigwasser.

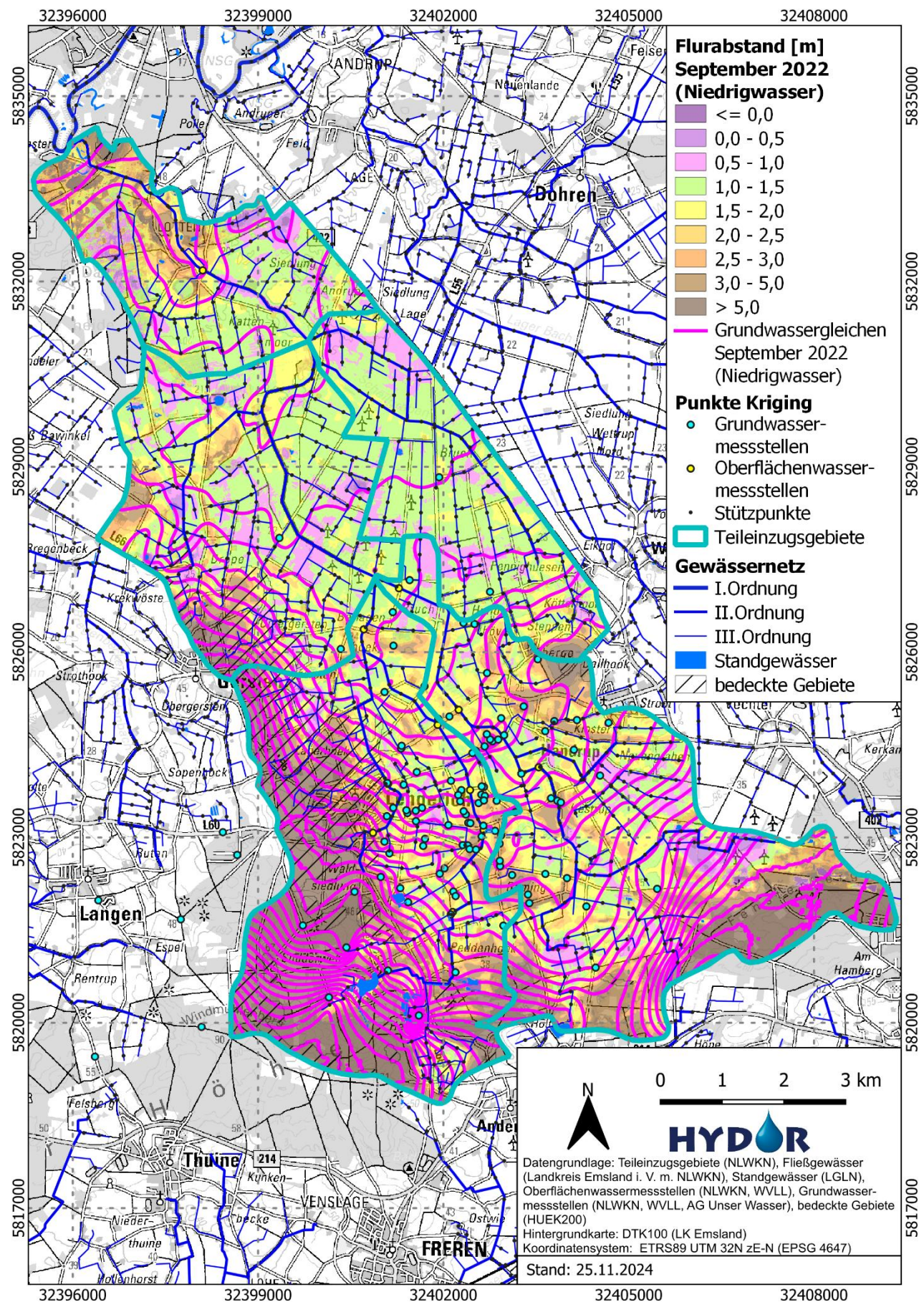


Abbildung 34: Flurabstände Niedrigwasserstand September 2022

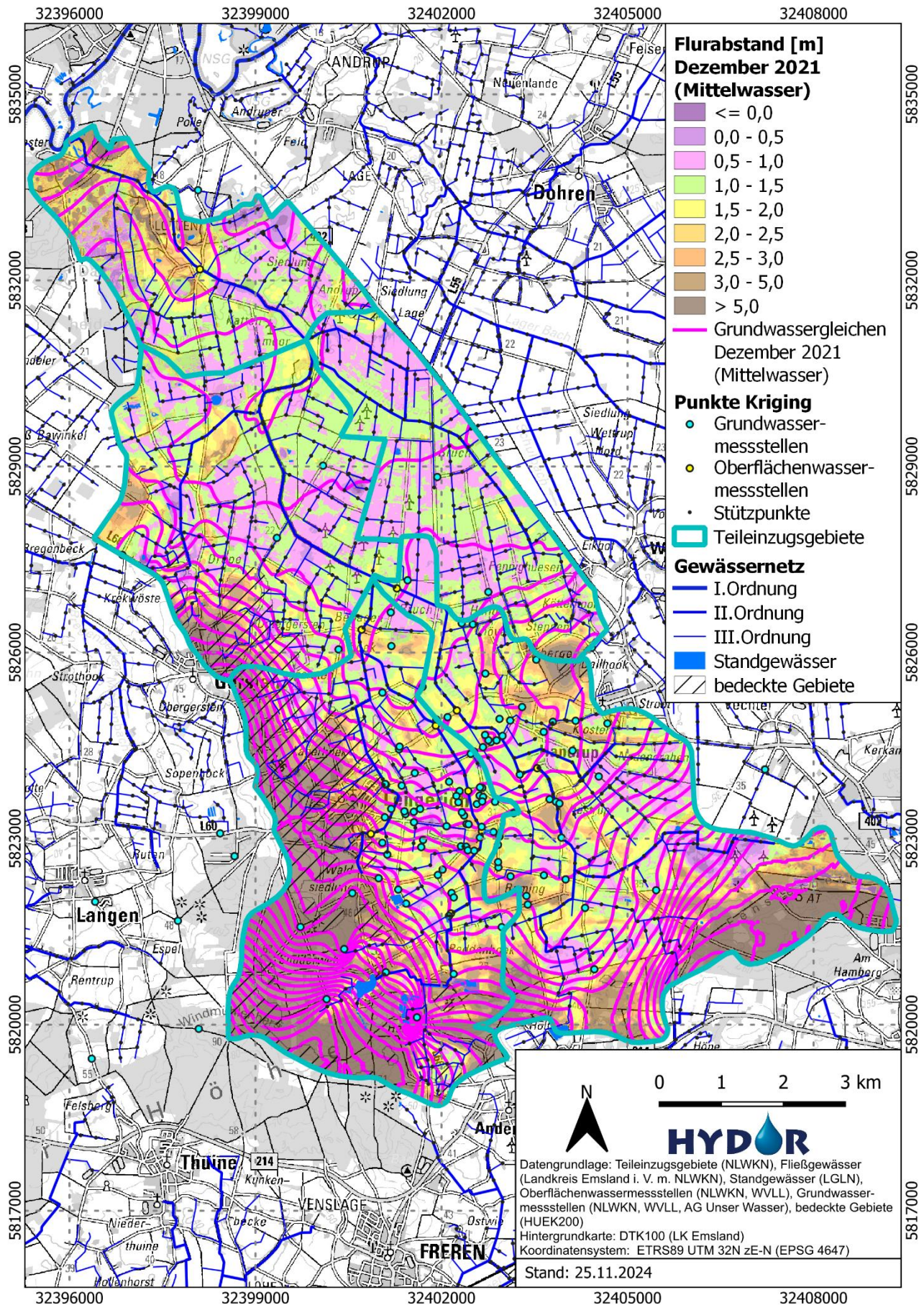


Abbildung 35: Flurabstände Mittelwasserstand Dezember 2021

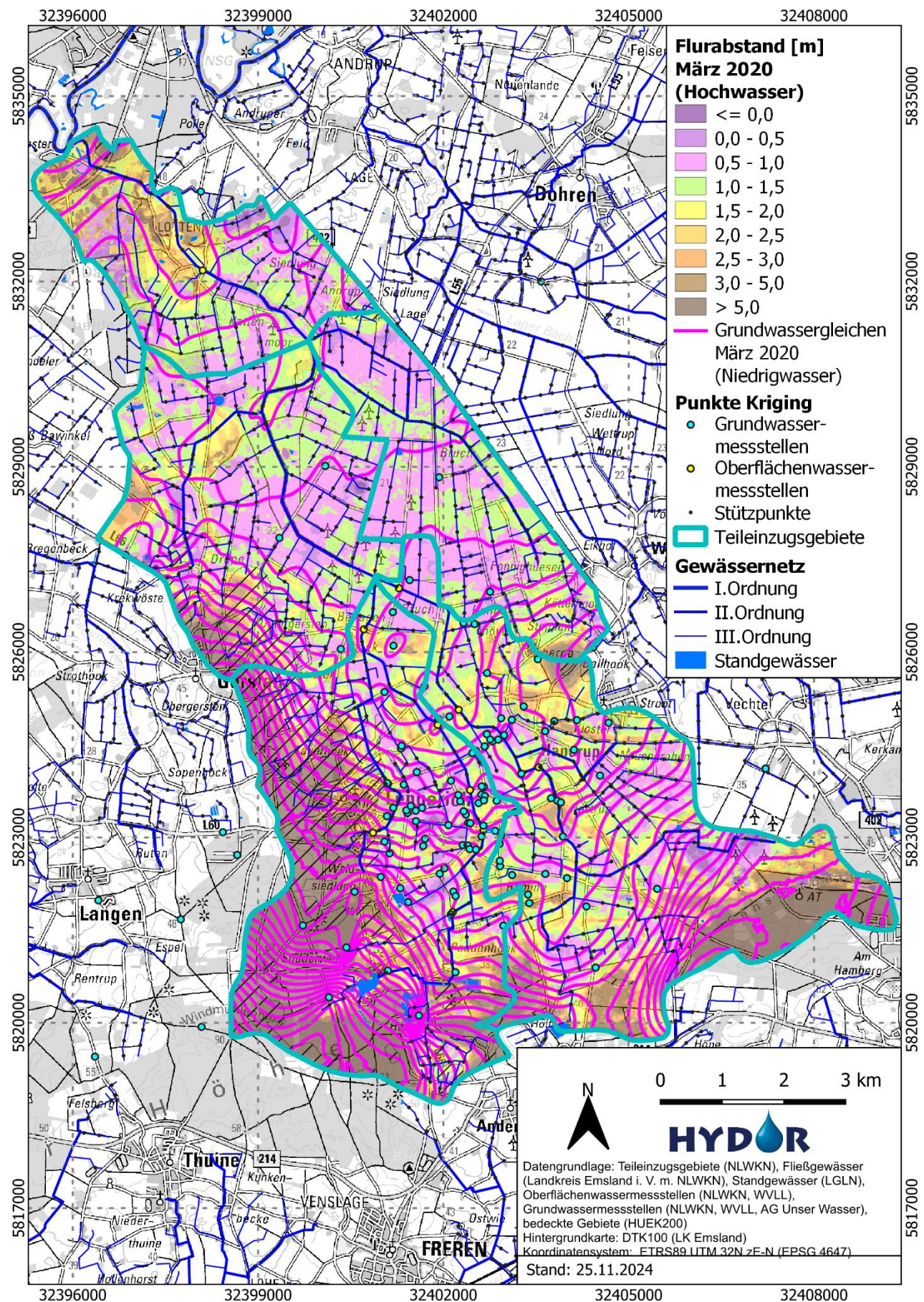


Abbildung 36: Flurabstände Hochwasserstand März 2020

6. Gebietskulisse und Maßnahmenvorplanung

6.1 Landesweite maßnahmenbezogene Eignungskarten des LBEG

Das LBEG erarbeitet aktuell sog. maßnahmenbezogene Eignungskarten auf Landesebene für ausgewählte Maßnahmen der Grundwasseranreicherung, wie z. B. Versickerungsteiche und Grabeneinstau. Hierbei werden verschiedene Standortfaktoren (u. a. der Flurabstand und die Durchlässigkeit des Untergrundes ab zwei Meter) berücksichtigt. Die Karten sollen eine landesweite Entscheidungsgrundlage bei Vorplanungen von Maßnahmen darstellen (Witthöft et al. 2023). Eine abschließende Publikation der Eignungskarten ist noch nicht erfolgt. Im Rahmen des vom NLWKN veranstalteten Grundwasserworkshops 2023 und der 29. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der Deutschen Geologischen Gesellschaft e. V. (FH-DGGV) 2024 wurden erste vorläufige Karten für Rigolen, Versickerungsteiche und Grabeneinstau dargestellt, die sich von den finalen Karten jedoch noch unterscheiden können.

In die Erstellung der Eignungskarten für Versickerungsteiche flossen u. a. die Faktoren Flurabstand, Durchlässigkeit des Untergrundes ab zwei Meter und Entfernung zum Gewässer ein (Witthöft et al. 2023). Die Flächen im Einzugsgebiet der Lotter Beeke sind nach Witthöft et al. (2024) für Versickerungsteiche meist nicht, lokal jedoch mäßig bis sehr gut geeignet. Geeignet sind besonders die höher gelegenen Flächen (s. Abbildung 37).

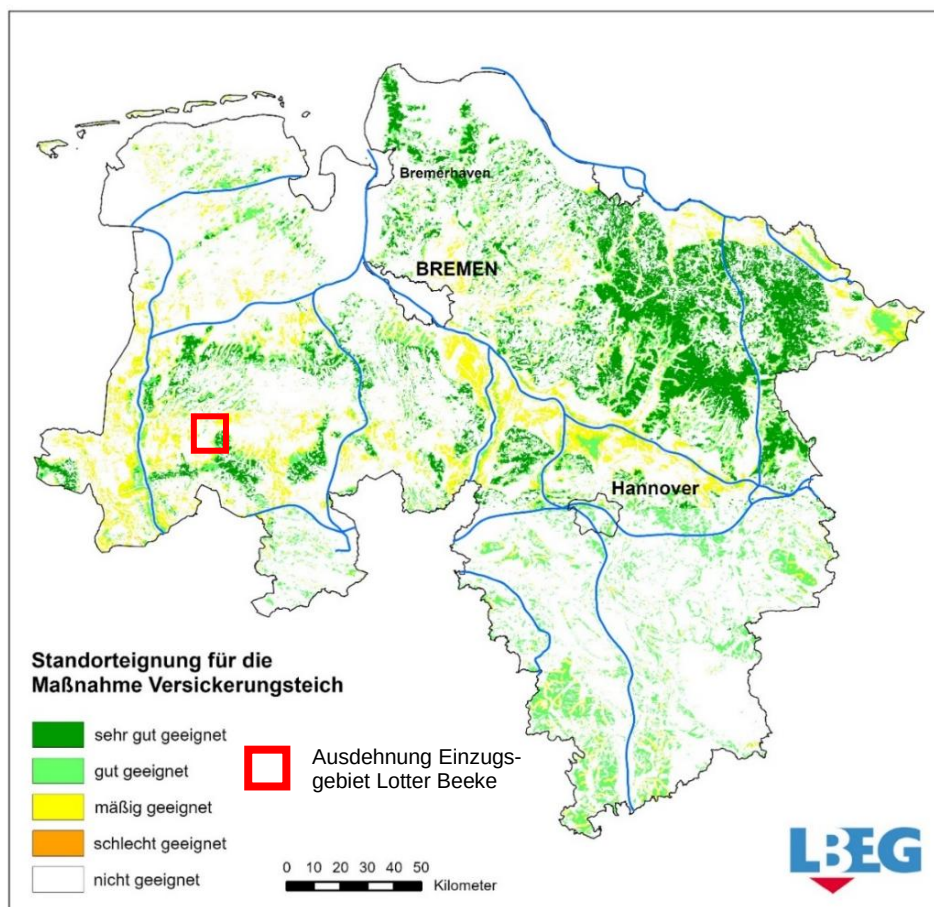


Abbildung 37: Eignungskarte für die Maßnahme Versickerungsteich (Witthöft et al. 2024)

In die Erstellung der Standorteignungskarte für Grabeneinstau flossen folgende Faktoren ein: Flurabstand, Infiltrationsleistung des Bodens bis zwei Meter, Durchlässigkeit des Untergrundes ab zwei Meter und die Neigung (Witthöft et al. 2023). Insgesamt ist das Einzugsgebiet der Lotter Beeke nach Witthöft et al. (2023) gut geeignet für die Maßnahme Grabeneinstau unter Ausnahme der höher gelegenen Gebiete mit größeren Flurabständen bzw. mit oberflächlich anstehenden Grundwassergeringleitern (s. Abbildung 38).

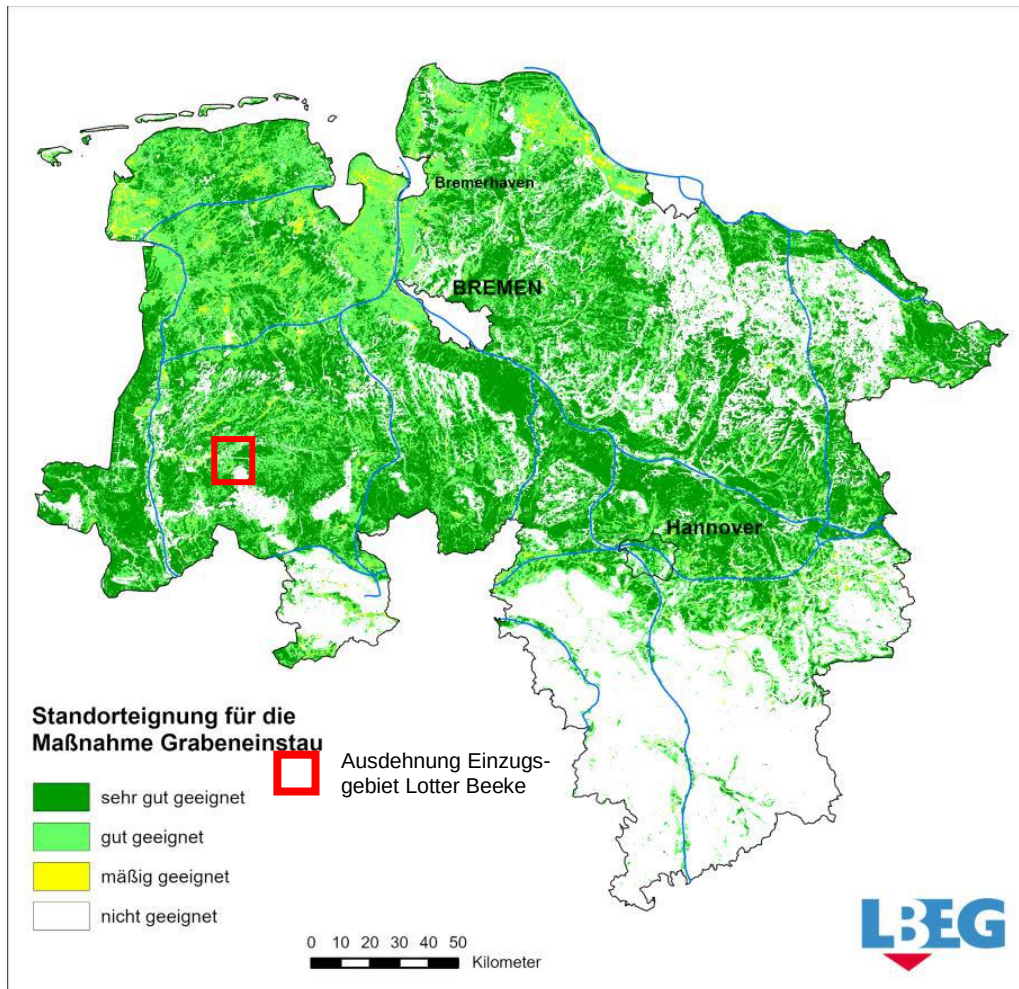


Abbildung 38: Eignungskarte für die Maßnahme Grabeneinstau (verändert nach Witthöft et al. 2023)

6.2 Gebietskulisse Maßnahmen

Die Gebiete, auf denen im Einzugsgebietsgebiet der Lotter Beeke Maßnahmenbedarf hinsichtlich der Grundwasserverfügbarkeit besteht und bei denen eine Anhebung des Grundwasserflurabstandes auf einen für die jeweilige Landnutzung akzeptablen Zustand als möglich bewertet wurde, wurden im Folgenden „Gebietskulisse Maßnahmen“ genannt. Für die Ermittlung der „Gebietskulisse Maßnahmen“ wurden folgende Daten bzw. Informationen genutzt: der Flurabstand, die Lage der oberflächlichen Grundwassergeringleiter, die landwirtschaftlichen Schläge und die Vor-Ort-Kenntnisse.

Zur Erstellung eines ersten Vorschlages der „Gebietskulisse Maßnahmen“ wurden im Speziellen die

ermittelten Flurabstände zum Niedrigwasserzeitpunkt September 2022 und die aktuellen landwirtschaftlichen Schläge 2023, welche durch das niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML Niedersachsen) bereitgestellt werden, verwendet. Als „Gebietskulisse Maßnahmen“ wurden alle Schläge ausgewählt, die zu mindestens 66,67 Prozent Flurabstände zwischen 1,5 m und 3,0 m aufwiesen. Auf diesen Flächen wurde angenommen, dass Wasserrückhaltemaßnahmen einen positiven Effekt auf die landwirtschaftliche Nutzung haben werden. Bei höheren Flurabständen wurde eine Verringerung des Flurabstandes auf für die landwirtschaftlichen Nutzpflanzen wirksamen Verbesserungen als unrealistisch eingeschätzt. Auch wurden Gebiete mit bedeckten und gespannten GWL von der „Gebietskulisse Maßnahmen“ ausgeschlossen, da eingeschätzt wurde, dass Wasserrückhaltemaßnahmen in diesen Arealen keinen Einfluss auf den Grundwasserflurabstand haben. Weitere Landnutzungsnutzungsarten, wie Wald, waren im ersten Vorschlag der „Gebietskulisse Maßnahmen“ nicht enthalten.

Die vorgeschlagene „Gebietskulisse Maßnahmen“ wurde anschließend im Rahmen der fünf lokalen Arbeitsgruppentreffen im Frühjahr 2024 für jedes Teileinzugsgebiet unter Anwendung der Ortskenntnisse der Teilnehmer/-innen angepasst. Das Ergebnis war die finale „Gebietskulisse Maßnahmen“, welche neben landwirtschaftlichen Flächen auch Waldgebiete umfasst (s. Abbildung 39). Zwischen den fünf Teileinzugsgebieten bestehen deutliche Variationen an dem Anteil der „Gebietskulisse Maßnahmen“ zur Gesamtfläche der Teileinzugsgebiete. So ist 27 % des Gebietes Hestruper Mühlenbach, 18 % des Oberlaufes Lotter Beeke, 41 % Prozent des Mittelaufes Lotter Beeke, 60 % Prozent des Unterlaufes Lotter Beeke und 79 % des Scheilgrabens Gebietskulisse. Dies liegt u. a. darin begründet, dass Gebiete mit bedeckten und gespannten GWL vor allem im Oberlauf der Lotter Beeke sowie im Mittellauf der Lotter Beeke auftreten und hohe Flurabstände besonders im Oberlauf der Lotter Beeke sowie im Hestruper Mühlenbach vertreten sind. Beide Faktoren führen dazu, dass in diesen Bereichen keine räumliche Gebietskulisse vorausgewiesen wurde.

6.3 Maßnahmenvorauswahl und -vorplanung

Die Vorauswahl geeigneter Wasserrückhaltemaßnahmen orientierte sich an den Ausführungen im Emslandplan 2.0 von HYDOR (2021). Die detaillierte Beschreibung der Maßnahmenvorauswahl kann dem genannten Bericht entnommen werden, im Folgenden wird die Methodik kurz dargestellt. In einem ersten Schritt wurden aus unterschiedlichen Katalogen und Quellen Maßnahmen zusammengetragen, die als geeignet und anwendbar für das Emsland eingestuft wurden. Berücksichtigt wurden hierbei das dichte Gewässernetz und die Landnutzung. Die ausgewählten Maßnahmen wurden mit den Stakeholdern der Wasserwirtschaft, der Landwirtschaft, der Forstwirtschaft und der staatlichen Moorverwaltung erörtert und anschließend eingegrenzt bzw. erweitert (HYDOR 2021).

Anhang 1 enthält den im Vergleich zu HYDOR (2021) angepassten Maßnahmenkatalog mit detaillierter Beschreibung der Maßnahmen. Unterschieden wurde grundsätzlich zwischen Baumaßnahmen und Flächenmaßnahmen. Die Baumaßnahmen gliedern sich weiterhin in folgende Unterkategorien mit zugehörigen Maßnahmen auf:

1. Anlagen zur Wasserspeicherung oder Versickerung (*Maßnahmen: Rückhaltebecken/Teiche mit Abdichtung, Infiltrationsbecken, flache Verwallungen*);
2. Eingriffe in Entwässerungssysteme oder Gewässer III. Ordnung (*Maßnahmen: aktive/passive Stauhaltung im Graben, gesteuerte Drainage*,
3. *Anhebung der Grabensohle/ Umbau des Grabenprofils, Grabenrückbau/kontrolliertes Unterlassen der Unterhaltung*), Eingriffe in Gewässer I. oder II. Ordnung (*Maßnahmen: Anhebung der Gewässersohle, Remäandrierung/Flusslaufverlängerung, Wiederanschluss von Altarmen, Deichrückverlegung*).

Die Flächenmaßnahmen gliederten sich in folgende Unterkategorien mit zugehörigen Maßnahmen auf:

4. Bewirtschaftung in der Landwirtschaft (*Maßnahmen: Direktsaat Anbauverfahren, reduzierte Bodenbearbeitung/Mulchsaatverfahren, Pufferzonen und Hecken*),
5. Bewirtschaftung in der Forstwirtschaft (*Maßnahmen: Wiederbewaldung/Waldumbau*).

Der Maßnahmenkatalog wurde den Teilnehmern bzw. Teilnehmerinnen der fünf Arbeitsgruppen zu Verfügung gestellt, damit diese die Maßnahmen bei den Arbeitsgruppentreffen im Einzugsgebiet verorten konnten. Von allen vorgeschlagenen Maßnahmen wurden folgende drei Maßnahmenarten ausgewählt:

- aktive und passiv Stauhaltung im Graben,
- Anhebung der Grabensohle/Umbau des Grabenprofils sowie
- Remäandrierung und Rückhaltebecken.

Die Maßnahmenstandorte wurden nach der Darstellung und Diskussion der Auswirkungsprognosen in weiteren Arbeitsgruppentreffen im Juli und im September 2024 angepasst bzw. ergänzt und damit im Projektverlauf „optimiert“. Berücksichtigt bei dieser Optimierung wurde u. a. die „Gebietskulisse Maßnahmen“ (s. Abbildung 39).

Weiterhin wurde sich im Rahmen der Arbeitsgruppentreffen für Stauhaltungen auf eine Höhe von 60 cm über Mittelwasser geeinigt, weil bei geringeren Höhen wie z. B. 30 cm über Mittelwasser die Auswirkungen als zu gering eingeschätzt wurden und bei höheren Höhen wie z. B. 90 cm Bedenken des Wasser- und Bodenverbandes zur Standfestigkeit der Böschung und der Grabengeometrie insgesamt geäußert wurden.



7. Maßnahmenbewertung und Auswirkungsprognose

7.1 Gekoppeltes numerisches Grundwasser- und Oberflächenwassermodell

Für die gekoppelte numerische Simulation des Grund- und Oberflächenwassers wurde der frei verfügbare open source-Simulator MODFLOW-NWT („A Newton Formulation for MODFLOW-2005“) mit verschiedenen sog. Paketen (u. a. für Oberflächenwasser und Brunnen) in der graphischen Benutzeroberfläche „ModelMuse“ genutzt. Es handelt sich hierbei um eine online zugängliche Software des United States Geological Survey USGS (USGS 2022; Link s. Literaturverzeichnis).

Mit dem Simulator wurde ein gekoppeltes Grund- und Oberflächenwassermodell für eines der fünf Teileinzugsgebiete der Lotter Beeke aufgebaut. Hierbei wurde das Teileinzugsgebiet „Hestruper Mühlenbach“ ausgewählt. Zum einen lagen hier sowohl Daten zu Grundwasserständen als auch Oberflächenwasserständen und Abflüssen vor. Zum anderen sind dort Gebiete mit oberflächlich anstehenden Grundwassergeringleitern und resultierend gespanntem Grundwasser, in denen eine Verringerung des Grundwasserwasserflurabstandes oft nicht möglich ist sowie Siedlungsgebiete, in denen eine Erhöhung des Grundwasserstandes nicht gewünscht ist, nur vereinzelt vertreten.

Im ersten Schritt wurde ein sog. stationäres – im Gleichgewichtszustand unter Annahme mittlerer Verhältnisse im zeitlichen Ablauf („Mittelwasserstand“) - Grundwasser- und Oberflächenwassermodell für den mittleren Zustand im Jahr 2020 aufgebaut und eine erste Kalibrierung dieses Modells vorgenommen. Bei einem stationär kalibrierten Modell entspricht an allen Modellrändern der Zufluss dem Abfluss. Im zweiten Schritt wurde ein darauf aufbauende instationäres Grundwasser- und Oberflächenwassermodell mit täglichen Zeitschritten für das Jahr 2020 erstellt und erneut kalibriert. Das Jahr 2020 wurde ausgewählt, weil es hinsichtlich der Grundwasserstände eine gute Datengrundlage hatte und für den Zeitraum von 2010 bis 2022 mittlere Zustände hinsichtlich der Grundwasserstandsdaten für die Grundwasserstände im oberen, unbedeckten Grundwasserleiter aufwies. Die Ergebnisse in den Kap. 7.1.4 und 7.1.5 entstammen dem instationären Modell, weshalb sich im Folgenden auf die Darstellung der Erstellung des instationären gekoppelten Grundwasser- und Oberflächenwassermodells beschränkt wurde. Dem instationären Modell für das Jahr 2020 ging eine sogenannte Warm-Up-Phase voraus, um die Anfangsbedingungen für das Jahr 2020 festzulegen. Diese setzte sich zusammen aus zunächst einem stationären Zeitschritt und anschließend 91 quasi-stationären Zeitschritten mit jeweils mittleren Werten für 2020 und abschließend 61 instationären Zeitschritten mit täglichen Werten für den Zeitraum 01.11.2019 bis 31.12.2019.

Im stationären Zeitschritt waren die Gräben des Oberflächenwassermodells noch deaktiviert und wurden stattdessen wie die anderen Gräben außerhalb des Einzugsgebietes Hestruper Mühlenbach in das Modell eingefügt (Beschreibung s. Kap. 7.1.1.1).

7.1.1 Aufbau des Grundwassermodells

Der Aufbau des Grundwassermodells umfasste alle in ModelMuse genutzten Pakete unter Ausnahme des Oberflächenwasserberechnungspaketes („Surface-Water Routing“ SWR). Im Folgenden

wird die Abgrenzung des Modellgebietes und die Festlegung der Parameter dargelegt.

7.1.1.1 Abgrenzung des Modellgebietes und Modellrandbedingungen

Im Zuge des Modellaufbaus wurde in einem ersten Schritt das Grundwassermodellgebiet anhand sog. Randbedingungen abgegrenzt. Diese sind primär hydraulisch definiert, insbesondere von der Grundwasserströmung abhängig und können unterschieden werden in (1) Dirichlet-, (2) Neumann- und (3) Cauchy-Randbedingungen. Bei den Dirichlet-Randbedingungen werden feste Werte für Grundwasserstände angenommen, diese können auch zeitlich variabel sein. Bei den Neumann-Randbedingungen wird ein Ab- oder Zufluss festgelegt und die Cauchy-Randbedingungen verknüpfen Dirichlet- und Neumannrandbedingungen (Beudt 1997).

Das Modellgebiet für die Untersuchung des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches wurde unter Verwendung von Dirichlet- und Neumann-Randbedingungen abgegrenzt (s. Abbildung 40).

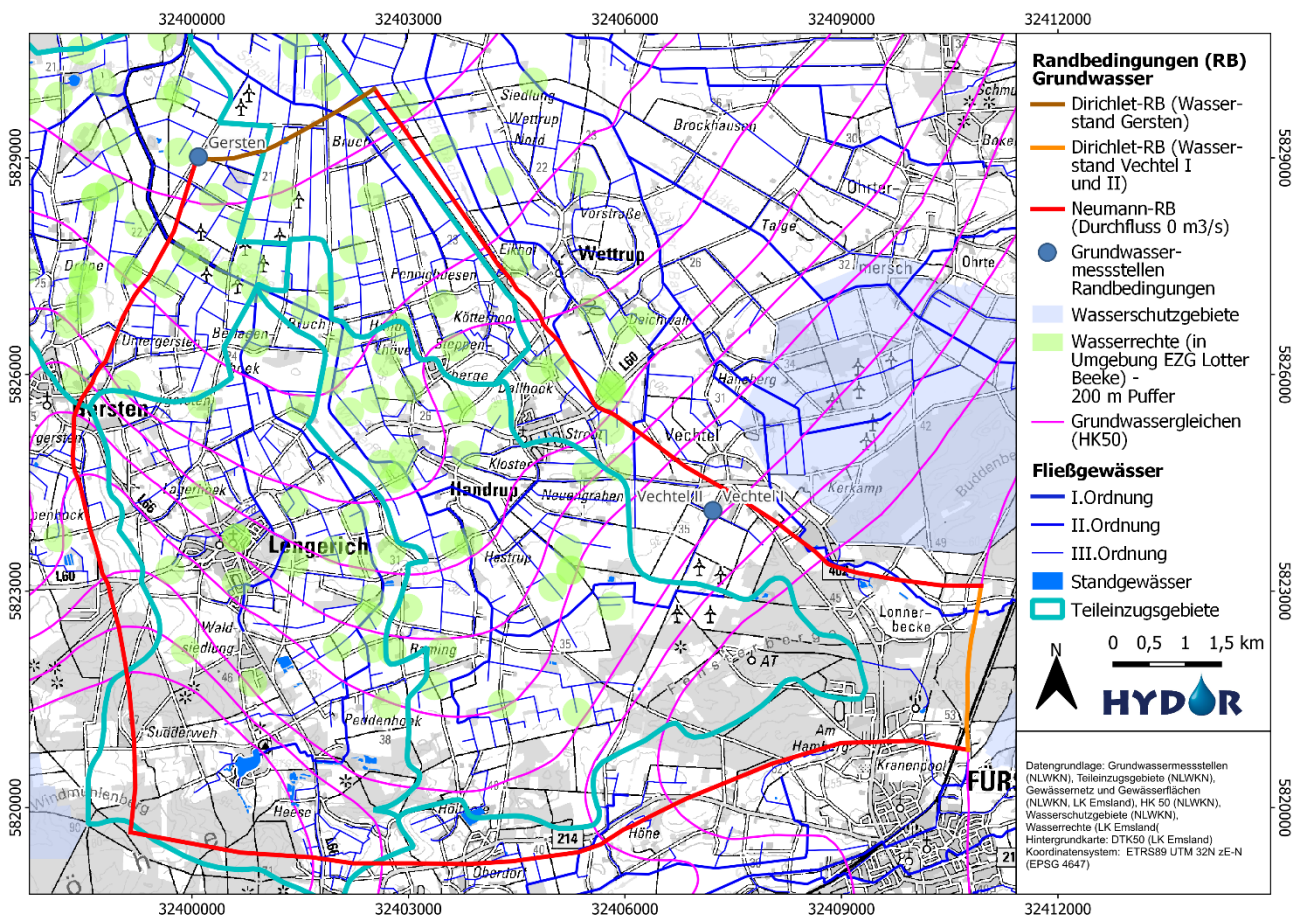


Abbildung 40: Abgrenzung des Modellgebietes des gekoppelten Grundwasser-Oberflächenwassermodells für das zentral im Modellgebiet liegende Teileinzugsgebiet des Hestruper Mühlenbaches

Im Norden sowie im Südosten wurden Dirichlet-Randbedingungen entlang der Grundwassergleichen der HK50 des LBEG festgelegt. Für die Definition der Wasserstände wurden die Messstellen 1200000021 Gersten im Norden sowie die Messstellen 1100000520 Vechtel I (für die Modellschichten von Oberkante Sand Weichsel bis Unterkante Geschiebemergel, s. Abbildung 43) bzw. 1100000520 Vechtel II (für die Modellschicht Sand Drenthe, s. Abbildung 43) im Südosten verwendet. Bei den weiteren Modellrändern wurde eine Neumann-Randbedingungen mit einem Durchfluss

von 0 m³/s angenommen, weil diese gemäß HK50 mit der Grundwasserströmung verlaufen und somit kein Zufluss in das Modellgebiet zu erwarten ist. Bei der Festlegung des Modellgebietes wurden weiterhin bestehende Grundwasserentnahmen berücksichtigt und darauf geachtet, dass die Modellränder durch diese unbeeinflusst sind. Aus diesem Grund wurde vom Modellrand zu bestehenden Wasserrechten inkl. der – zwar nur temporär, aber im Modelljahr 2020 fördernden - drei Brunnen des Pumpversuches des WVLL (s. Kap. 4.7) - ein Abstand von 200 m eingehalten. Im Falle der drei Brunnen des Pumpversuches wurde darauf geachtet, dass das Modellgebiet nicht die maximale, modellierte Absenkung am Ende der dritten Förderstufe kreuzt (s. Anlagen 6.1.1 bis 6.1.3 des Jahresberichtes 4 zum Pumpversuch Lengerich-Handrup⁴).

Weitere Bestandteile des Modells, für welche Randbedingung festgelegt wurden, sind: die oberirdischen Fließ- und Standgewässer, die Brunnen, die Drainagen und die Grundwasserneubildung. Für die Fließgewässer innerhalb des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches wurde das Oberflächenwasserberechnungspaket genutzt. Die Festlegung der Parameter für das Oberflächenwasserberechnungspaket ist in Kap. 7.1.2 dargestellt. Die Fließgewässer außerhalb des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches wurden mit dem Drainagen-Paket („Drain Package“) in das Modell eingepflegt. Dies entspricht einer Cauchy-Randbedingung, es wurden hier sowohl eine Höhe als auch eine Durchlässigkeit angegeben.

Das Drainagen-Paket erlaubt im Modell lediglich eine Entnahme und keine Zufuhr von Grundwasser. Wasser wird aus dem Modell entnommen, wenn der Grundwasserstand über die angegebene Höhe steigt (USGS 2024). Da die Gräben im Projektgebiet in der Regel entwässernd wirken, kann das Drainagen-Paket für die Darstellung der Gräben genutzt werden. Die Höhe der Gräben, d. h. deren Wasserstand, wurde unter Verwendung der außerhalb des Einzugsgebietes Hestruper Mühlenbach liegenden Oberflächenwassermessstellen in Fließgewässern des WVLL (Pegel 1, Pegel 2, Pegel 6 und Pegel 7) sowie dem DGM1 definiert. Oberflächenwassermessstellen oberhalb von Abstürzen (Pegel 3, Pegel 4 und Pegel 5) wurden aufgrund der Beeinflussung durch die Abstürze nicht verwendet. Der Parameter Durchlässigkeit im Modell wurde kalibriert.

Die Drainagen im Modellgebiet wurden ebenfalls über das Drainagen-Paket in das Modell eingefügt. Es wurde angenommen, dass sich die Drainagen einen Meter unter der Geländeoberfläche befinden und eine relativ hohe Durchlässigkeit von $2,3 \cdot 10^{-3}$ m/s besitzen. Diese Durchlässigkeit ergibt sich nach USGS (2024) für die im Modell gewählten Einstellungen aus der hydraulischen Leitfähigkeit des Sediments mal der Breite der Drainagen geteilt durch die Mächtigkeit des Sediments.

Die 49 Standgewässer im Modellgebiet wurden über die sogenannte allgemeine Wasserstandsrandbedingung („General-Head Boundary“) implementiert. Hierbei handelt es sich um eine Cauchy-Randbedingung, weshalb auch hier Wasserstände und eine Durchlässigkeit festgelegt werden mussten. Für die Definition der Wasserstände wurden die Oberflächenwasserpegel des WVLL in

⁴<https://www.wvll.de/wasser/pumpversuch-lengerich-handrup/pumpversuch-lengerich-handrup.html>

einem Teich (im Einzugsgebiet Hestruper Mühlenbach) sowie im Saller See (im Einzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke) verwendet. Der Oberflächenwasserpegel im Saller See wurde hierbei für alle Standgewässer im Oberlauf Lotter Beeke und der Oberflächenwasserpegel in dem Teich für alle Standgewässer im Hestruper Mühlenbach verwendet. Standgewässer, die außerhalb der beiden Teileinzugsgebiete liegen, wurden jeweils dem räumlich nächsten Teileinzugsgebiet zugeordnet. Für das Jahr 2020 lagen insgesamt zwölf Stichtagsmessungen beider Pegel vor.

Eine tägliche Auflösung wurde durch die Interpolation der Werte erreicht. Für jedes Standgewässer einschließlich der beiden Gewässer mit Oberflächenwasserpegel wurde unter Verwendung des DGM1 der Wasserstand zum Zeitpunkt der Aufnahme des DGM1 abgeleitet. Anschließend wurde z. B. im Falle der Standgewässer im Oberlauf der Lotter Beeke die Differenz zwischen dem gemessenen Wasserstand im Saller See und dem DGM1 ermittelt und zu dem mittleren Wert des DGM1 des jeweiligen Standgewässers addiert. Die Durchlässigkeit wurde kalibriert.

Das überarbeitete Mehrknoten-Brunnen-Paket („Revised Multi-Node Well Package“) diente im Modell der Implementierung der im Modelljahr 2020 aktiven Förderbrunnen (inkl. der Brunnen des Pumpversuches des WV LL). Dieses Paket erlaubt, dass sich Brunnen über mehrere Modellschichten erstrecken (Konikow et al. 2009). In das Modell flossen verschiedene Parameter der Brunnen ein, hierzu zählen: die Filterlage, die Pumprate, der Ausbaudurchmesser, der Bohrlochdurchmesser und die Durchlässigkeit der Bohrlochverfüllung. Die Filterlage sowie die Pumprate wurden jedem Brunnen individuell zugeordnet. Für die weiteren Parameter wurde vereinfacht ein Wert für alle Brunnen angenommen: ein Ausbaudurchmesser von 600 mm, ein Bohrlochdurchmesser von 1200 mm sowie eine Durchlässigkeit der Bohrlochverfüllung von $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s. Die Filterlagen und Pump-raten wurden anhand der von der Wasserbehörde übermittelten Daten festgelegt.

Der Parameter Grundwasserneubildungsrate wurde über das Grundwasserneubildungspaket („Recharge package“) in MODFLOW implementiert. Es wurden täglich variierende Werte nach Gleichung 1 festgelegt.

$$GWN = N_{korr} - \frac{ET_{a \text{ mGROWA}}}{ET_{pot \text{ MW}}} \cdot ET_{pot} - \frac{N_{korr}}{N_{korr \text{ MW}}} \cdot A_{direkt \text{ mGROWA}} \quad \text{Gleichung 1}$$

GWN: Grundwasserneubildung [mm/d]; N_{korr} : korrigierter Niederschlag am jeweiligen Tag an einer DWD-Station [mm/d]; $ET_{a \text{ mGROWA}}$: tatsächliche Evapotranspiration 1991 bis 2020 nach mGROWA [mm/d]; $ET_{pot \text{ MW}}$: mittlere potentielle Evapotranspiration über Gras für den Zeitraum 1991 bis 2020 an einer DWD-Station [mm/d]; ET_{pot} : potentielle Evapotranspiration über Gras an dem jeweiligen Tag an einer DWD-Station [mm/d]; N_{MW} : mittlerer, korrigierter Niederschlag von 1991 bis 2020 an einer DWD-Station [mm/d]; $A_{direkt \text{ mGROWA}}$: Direktabfluss von 1991 bis 2020 nach mGROWA [mm/d]

Hierzu wurden die gemessenen und korrigierten Niederschlagsdaten an der DWD-Station Fürstenaue verwendet, wobei Datenlücken mit den Werten der DWD-Station Berge ergänzt wurden. Die Korrektur der Niederschlagsdaten erfolgte nach Richter (1995). Weiterhin wurde die aktuelle Evapotranspiration sowie der Direktabfluss nach mGROWA (LBEG 2024c) für den Zeitraum 1991 bis 2020 und die mittlere potentielle Evapotranspiration über Gras für den Zeitraum 1991 bis 2020 an der DWD-Station Lingen Baccum verwendet. Es wurde eine Bewässerung des Ackerlandes von Anfang April

bis Ende Oktober angenommen sowie bei oberflächlich anstehenden Grundwasserleitern die ermittelte Grundwasserneubildung nach Hennig und Hilgert (2018) mit einem Korrekturfaktor multipliziert. Dieser Korrekturfaktor wurde kalibriert.

Die ermittelte Grundwasserneubildung schwankt zwischen Werten kleiner 0 mm/a und knapp 400 mm/a (s. Abbildung 41). Der Oberflächenabfluss bedingt durch die Fließgewässer ist in den auf diese Weise ermittelten Werten der Grundwasserneubildung im Gegensatz zu der Methodik nach mGROWA nicht enthalten, da dieser im Rahmen der Modellierung simuliert wurde.

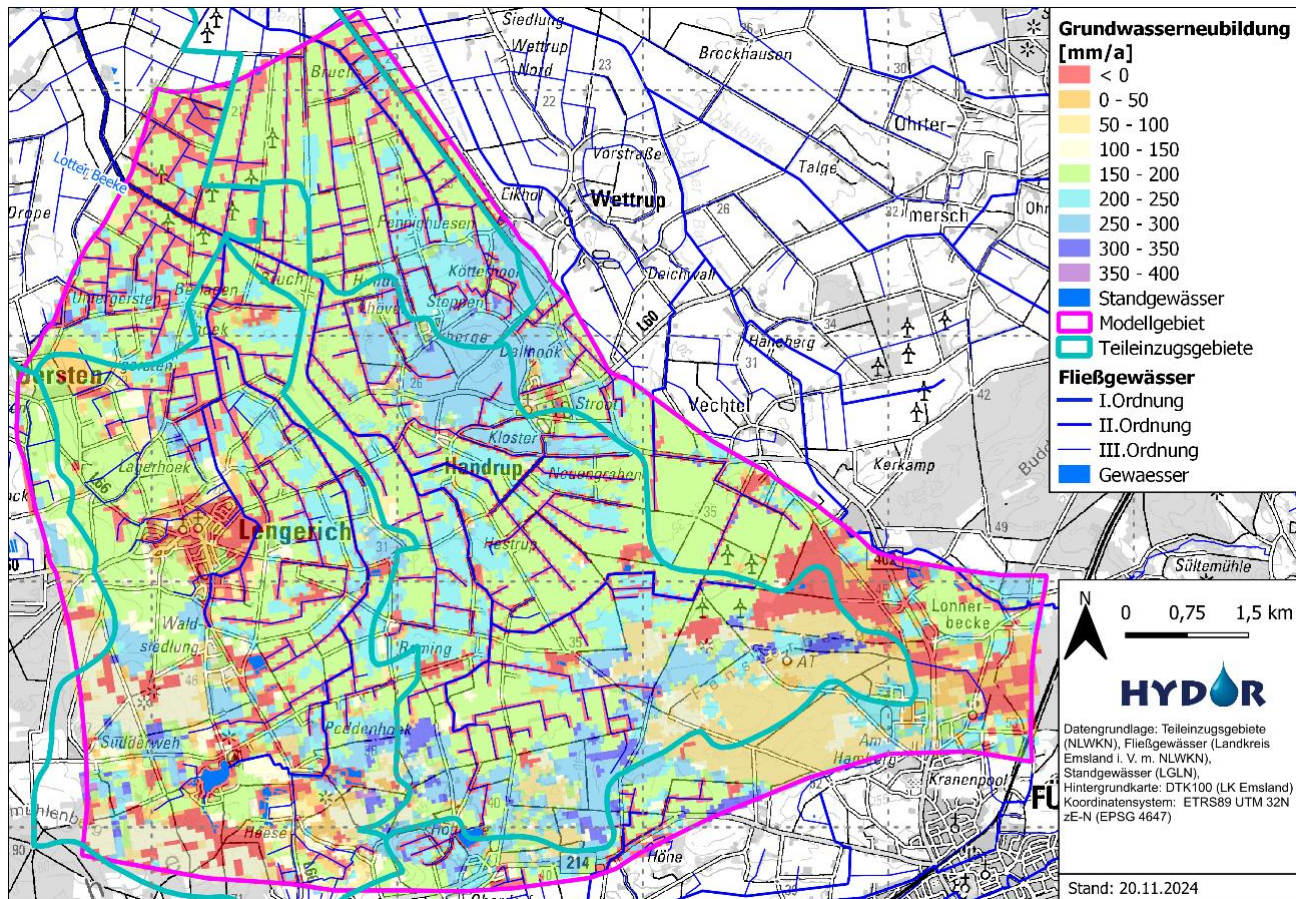


Abbildung 41: Mittlere Grundwasserneubildungsrate für das Jahr 2020 im aufgebauten Modell

7.1.1.2 Hydrogeologischer Aufbau

Grundlage für die Implementierung des hydrogeologischen Aufbaus der Schichtenfolge in das Grundwassermodell waren zunächst die vom LBEG zur Verfügung gestellten und insbesondere nach der Tiefe selektierten Bohrungen (s. Abbildung 42). Das Grundwassermodell des Hestruper Mühlenbaches wurde untergliedert in insgesamt fünf Modellschichten, von denen drei Grundwasserleiter und zwei Grundwassergeringleiter waren. Die Grundwasserleiter werden durch die Sande der Weichsel bzw. Drenthe und die Grundwassergeringleiter durch lokale Schluffeinlagerungen der Weichsel sowie dem Geschiebemergel der Drenthe (s. Abbildung 43) repräsentiert. Die Geländeoberfläche wurde mit dem DGM1 festgelegt. Die Unterkante der fünf Modellschichten wurde aus den verwendeten Bohrungen (s. Abbildung 42) abgeleitet. Die Unterkante des Modells liegt auf geringdurchlässigen Schichten der tertiären Bildungen unterhalb der quartären Bildungen.

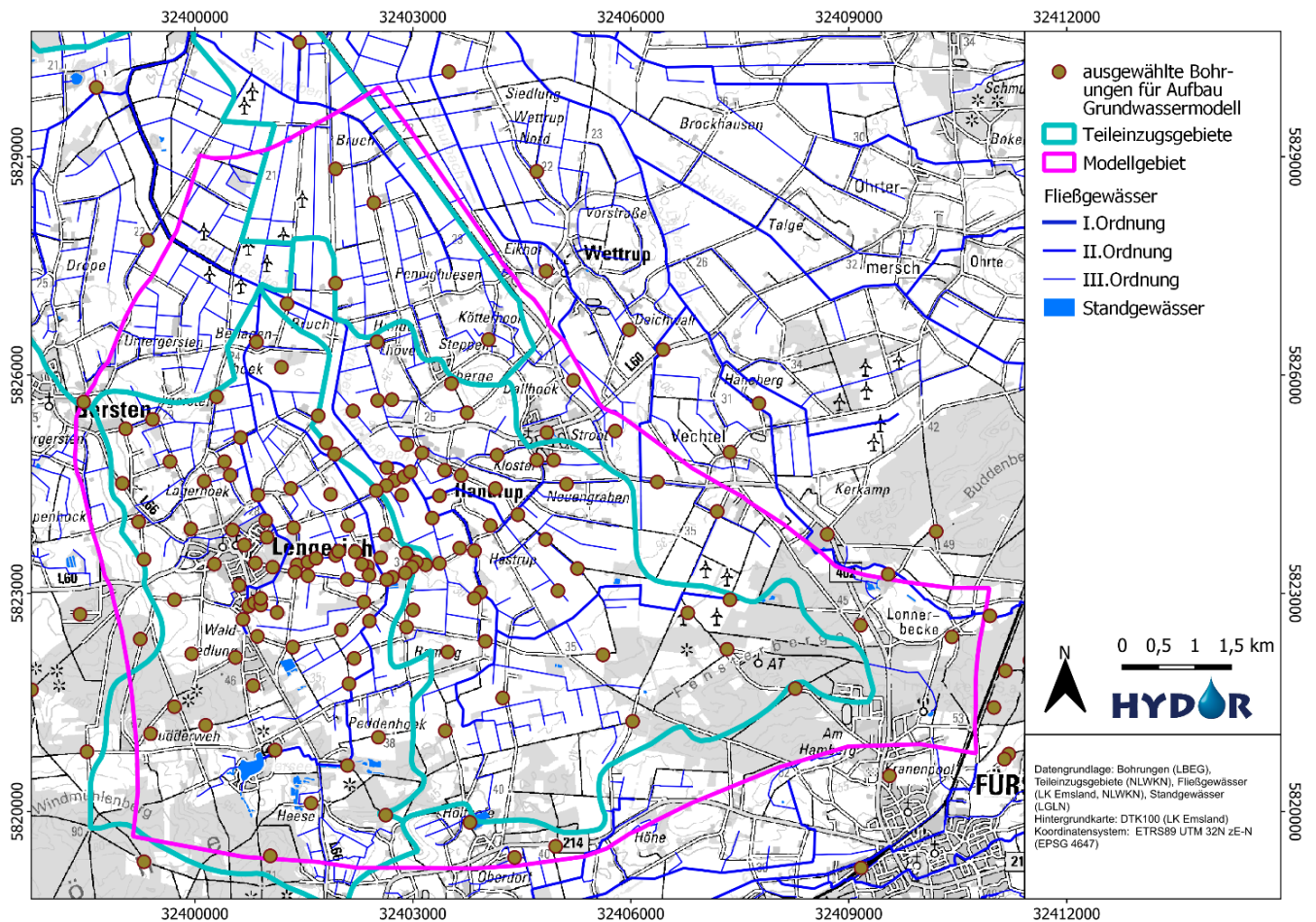


Abbildung 42: Verwendete Bohrungen für die Erstellung des hydrogeologischen Strukturmodells

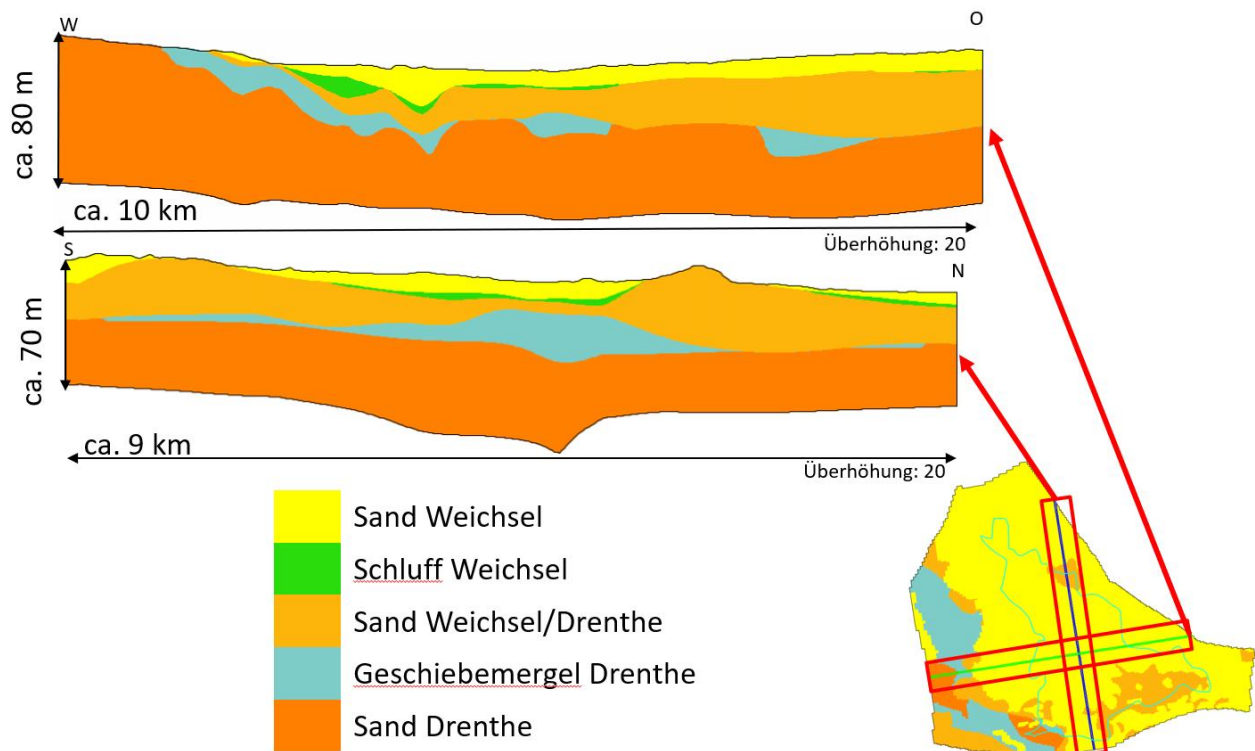


Abbildung 43: Exemplarische Schnitte (West-Ost und Süd-Nord) durch das unterirdische Modellgebiet des Hestruper Mühlenbachs

Den einzelnen Schichten wurden folgende hydrogeologische Parameter zugeordnet: der horizontalen Durchlässigkeitsbeiwert, das Verhältnis von horizontalen zu vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten, die spezifische Ergiebigkeit und der spezifische Speicherkoeffizient. Die horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte wurden nach Eckl und Raissi (2009) festgelegt, die vertikalen im Verhältnis zu den horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerten nach Hölting und Coldewey (2013), die spezifische Ergiebigkeit nach Johnson (1976) sowie der spezifische Speicherkoeffizient nach Hölting und Coldewey (2013) in Verbindung mit den Werten zur Gesteinskompressibilität nach Domenico und Mifflin (1965) verändert nach Domenico und Schwartz (1998) und der speicherwirksamen Porosität nach Johnson (1976). Die horizontalen Durchlässigkeitsbeiwerte sowie das Verhältnis von horizontalen zu vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten wurden im Zuge der Modellkalibrierung angepasst (s. Tabelle 8).

Tabelle 8: Im Modell verwendete hydrogeologische Parameter der fünf Schichten

Modellschicht	horizontaler Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Verhältnis horizontaler durch vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert [-]	spezifische Ergiebigkeit [-]	spezifischer Speicherkoeffizient [1/m]
Sand Weichsel	$1,0 \cdot 10^{-5}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3}$	3 bis 5	0,21	0,00015
Schluff Weichsel	$1,0 \cdot 10^{-7}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5}$	5 bis 10	0,08	0,0026
Sand Weichsel / Drenthe	$1,0 \cdot 10^{-4}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3}$	3 bis 5	0,26	0,00015
Geschiebemergel Drenthe	$1,0 \cdot 10^{-7}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5}$	5 bis 10	0,08	0,0026
Sand Drenthe	$1,0 \cdot 10^{-4}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3}$	3 bis 5	0,26	0,00015

7.1.2 Aufbau des Oberflächenwassermodells

Das Oberflächenwassermodell wurde mit dem Oberflächenwasserberechnungspaket des USGS aufgebaut. Dieses Paket wurde erstellt, um ein- oder zweidimensionale Oberflächenwassersimulationen durchzuführen und die Grund- und Oberflächenwasserinteraktion zu berechnen (Hughes et al. 2012).

7.1.2.1 Gewässernetz, Gerinnequerschnitte und hydrologische Parameter

Das Gewässernetz im Modell innerhalb des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches besteht aus 71 Gräben bzw. Teilen von Gräben (s. Abbildung 44). Den Gräben mussten folgende Eigenschaften zugeordnet werden: Geometrietyp des Gerinnes inkl. zugehöriger Angaben, Methode zur Festlegung der Durchlässigkeit inkl. der zugehörigen Durchlässigkeit und ein Manningkoeffizient. Allen 71 Gräben wurde der Geometrietyp „trapezförmiger Querschnitt“ zugeordnet, hierfür mussten die Sohlbreite, die Sohlhöhe und die Böschungsneigung definiert werden. Die Festlegung der Parameter orientierte sich an historischen Ausbauunterlagen der Gewässer, Angaben aus HYDOR (2021) sowie dem DGM1 des LK Emsland in Verbindung mit den digitalen Orthophotos des LGLN (2024a). Vereinfacht wurde allen Gräben unter Ausnahme des Hestruper Mühlenbaches eine Sohlbreite von 0,8 m zugewiesen. Dem Hestruper Mühlenbach wurde im Oberlauf eine Sohlbreite von

1,2 m, im Mittellauf eine Sohlbreite von 2,1 m und im Unterlauf eine Sohlbreite von 3,0 m zugeordnet. Für alle 71 Gräben wurde eine Böschungsneigung von 1:2 definiert. Für die Festlegung der Sohlhöhen wurde bei jedem Graben an mindestens dem Anfangs- und Endpunkt ein Wert definiert. Bei größeren Sohlprüngen oder Gefälleänderungen wurden zudem an weiteren Punkten Sohlhöhen festgelegt. Dazwischenliegende Sohlhöhenwerte wurden vom Modell automatisch interpoliert.

Die Methode zur Festlegung der Durchlässigkeit dient der Definition der Kolmationsschicht in den Gräben. Für das vorliegende Projekt wurde die Methode der sogenannten „spezifischen Leckage“ (specified leakance“) genutzt. Hierbei wird die Durchlässigkeit unter Verwendung folgender Werte berechnet: Koeffizient der spezifischen Leckage, Grabenlänge und hydraulischer Radius. Im Modell angegeben werden musste ein Wert für die Leckage, welche definiert ist als Quotient des Durchlässigkeitsbeiwertes der Kolmationsschicht und der Mächtigkeit der Kolmationsschicht. Der Wert für die Leckage wurde kalibriert.

Der Manningkoeffizient wird verwendet, um die Rauigkeit in einem Gewässer zu beschreiben. Je höher der Wert ist, desto rauer ist das Gewässer. Für die Gräben im Einzugsgebiet des Hestruper Mühlenbaches wurde nach Chow (1959) Schwankungsbereich von 0,08 bis 0,12 s/m^{1/3} angenommen. Die Manningkoeffizienten wurden im Zuge der Modellkalibrierung angepasst.

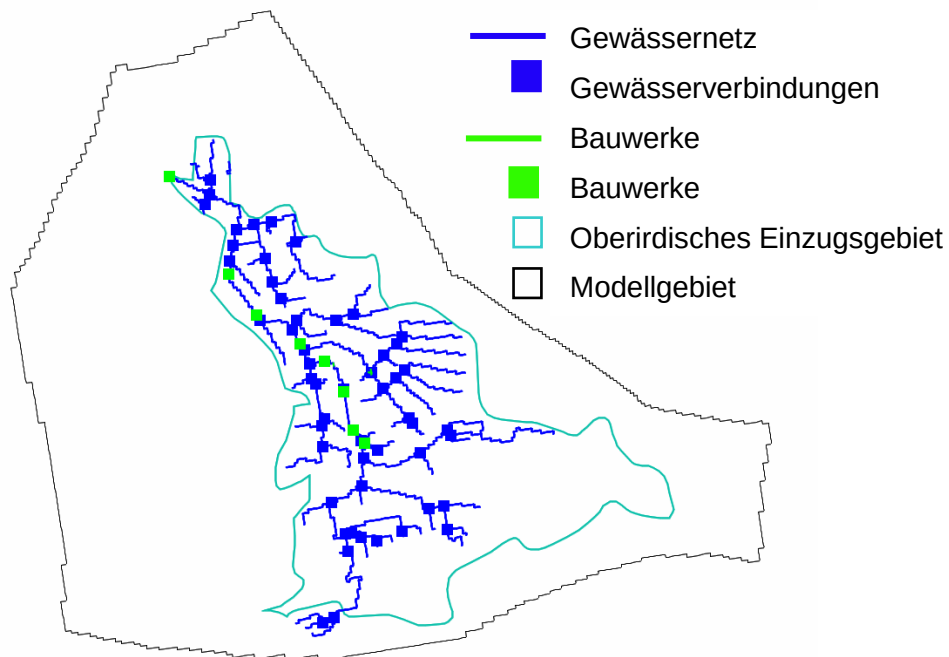


Abbildung 44: Gewässernetz des Oberflächenwassermodells

7.1.2.2 Bauwerke im Gewässer

Im Modell wurden die sogenannten Abstürze und die Sohlgleite am Gebietsauslass des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches berücksichtigt. Weitere Quer- und Durchlassbauwerke, wie Brücken und Rohrdurchlässe, wurden vereinfachend nicht ins Modell aufgenommen. Fachlich wurde eingeschätzt, dass der Zeitaufwand der Implementierung zu hoch gewesen wäre im Vergleich zu der hinzugewonnenen Detailschärfe. Es wurden elf Abstürze und eine Sohlgleite ins Modell eingefügt.

7.1.3 Modellkalibrierung

Bei der Modellkalibrierung werden ausgewählte Parameter unter Berücksichtigung der Optimierung von Fehlermaßen angepasst. Für die Modellkalibrierung des vorliegenden Projektes wurden als Fehlermaße die „Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme“ (kurz RMSE, „Root Mean Square Error“) und das sog. Bestimmtheitsmaß (kurz R^2) verwendet.

Der RMSE wird berechnet aus den simulierten und gemessenen Werten sowie der Anzahl der Datenpaare (s. Gleichung 2) (Géron 2023). Die Einheit des RMSE ist abhängig von der Einheit der betrachteten Werte (bei Wasserständen z. B. m). Je kleiner der RMSE desto besser ist die Anpassung der simulierten an die gemessenen Werte. Für die Berechnung des RMSE wurde die Software R in der Benutzeroberfläche RStudio und das Tool „rmse“ des R-Paketes „berryFunctions“⁵ genutzt.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_{\text{simuliert}} - x_{\text{gemessen}})^2}{n}} \quad \text{Gleichung 2}$$

RMSE: Wurzel der mittleren Fehlerquadratsumme [abhängig von Wert, bei Wasserstand m]; $x_{\text{simuliert}}$: simulierter Wert [abhängig von Wert, bei Wasserstand m]; x_{gemessen} : gemessener Wert [abhängig von Wert, bei Wasserstand m]; n: Anzahl der Datenpaare [-]

R^2 wird berechnet aus den simulierten und gemessenen Werten sowie dem mittleren gemessenen Wert (s. Gleichung 3) (Cramer und Kamps). Das Maß ist dimensionslos und kann zwischen 0 und 1 schwanken, wobei 1 eine perfekte Anpassung des Verlaufes der simulierten an die observierten Daten darstellt (Cramer und Kamps). Für die Berechnung wurde die Software R in der Benutzeroberfläche „RStudio“ und das Tool „rsquare“ des R-Paketes „berryFunctions“⁵ genutzt.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{\text{simuliert}_i} - \bar{x}_{\text{gemessen}})^2}{\sum_{i=1}^n (x_{\text{gemessen}_i} - \bar{x}_{\text{gemessen}})^2} \quad \text{Gleichung 3}$$

R^2 : Bestimmtheitsmaß [-]; $x_{\text{simuliert}_i}$: simulierter Wert [abhängig von Wert, bei Wasserstand m]; x_{gemessen_i} : gemessener Wert [abhängig von Wert, bei Wasserstand m]; $\bar{x}_{\text{gemessen}}$: Mittelwert gemessener Grundwasserstand [abhängig von Wert, bei Wasserstand m]; n: Gesamtanzahl der Datenpaare [-]

Für das Projekt wurden verschiedene Parameter innerhalb definierter Schwankungsbereiche kalibriert (s. Tabelle 9). Die Schwankungsbereiche der Durchlässigkeitsbeiwerte wurden anhand von Eckl und Raissi (2009) sowie das Verhältnis von horizontalen zu vertikalen Durchlässigkeitsbeiwerten nach Hölting und Coldewey (2013) festgelegt. Die Durchlässigkeiten der Oberflächengewässer werden in ModelMuse je nach verwendetem Paket auf unterschiedliche Weise interpretiert (s. Tabelle 9). I. d. R. setzt sich die Berechnung der Durchlässigkeiten zusammen aus der Mächtigkeit und Durchlässigkeit der Kolmationsschicht sowie z. T. aus weiteren Angaben (wie z. B. der Grabenbreite). Für die Festlegung der Schwankungsbereiche der Durchlässigkeiten wurden Annahmen bzgl. der Mächtigkeit der Kolmationsschichten (für Standgewässer 1 m, für Fließgewässer 0,2 m bis 0,3 m), der Durchlässigkeitsbeiwerte der Kolmationsschichten ($1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) und der Grabenbreite getroffen. Der Schwankungsbereich der Manning-Koeffizienten wurde nach Chow (1959) definiert und die Festlegung des Bereiches des Anteils der Grundwasserneubildung in Regionen mit oberflächlichem Grundwassergeringleiter orientierte sich an Hennig und Hilgert (2018).

⁵ <https://cran.r-project.org/web/packages/berryFunctions/vignettes/berryFunctions.html>

Tabelle 9: Kalibrierte Parameter und deren Schwankungsbereich.

kalibrierter Parameter		Schwankungsbereich	kalibrierter Wert
Durchlässigkeitsbeiwerte	Modellschicht Sand Weichsel	$1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	Modellschicht Schluff Weichsel	$1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	Modellschicht Sand Weichsel Drenthe	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	Modellschicht Geschiebemergel Drenthe	$1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	Modellschicht Sand Drenthe	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (lokal $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
Verhältnis horizontaler durch vertikaler Durchlässig-	Modellschicht Sand Weichsel	3 bis 5	5
	Modellschicht Schluff Weichsel	5 bis 10	5
	Modellschicht Sand Weichsel Drenthe	3 bis 5	5
	Modellschicht Geschiebemergel Drenthe	5 bis 10	10
	Modellschicht Sand Drenthe	3 bis 5	5 (lokal: 3)
Durchlässigkeiten Oberflächengewässer	Durchlässigkeitsbeiwert Kolmationsschicht durch Mächtigkeit Kolmationsschicht für Gräben innerhalb Einzugsgebiet Hestruper Mühlenbach (Leckage)	$1,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ bis $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
	Durchlässigkeitsbeiwert Kolmationsschicht mal Breite Gräben durch Mächtigkeit Kolmationsschicht für Gräben außerhalb Einzugsgebiet Hestruper Mühlenbach	$1,0 \cdot 10^{-7} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$4,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
	Durchlässigkeitsbeiwert der Kolmationsschicht durch Mächtigkeit der Kolmationsschicht der Standgewässer	$1,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ bis $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ / $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$
weitere Parameter	Manning-Koeffizienten	0,08 bis 0,12 $\text{s/m}^{1/3}$	0,12 $\text{s/m}^{1/3}$
	Anteil Grundwasserneubildung in Regionen mit oberflächlichem Grundwassergeringleiter	0,7 bis 0,9	0,85

Die kalibrierten Durchlässigkeitsbeiwerte der Sande im Modellgebiet sind für Sandschichten eher geringe Werte, was auf das Vorkommen von Feinsanden hindeutet (s. gesamte Liste kalibrierter Wert Tabelle 9). Dies stimmt gut mit den Bohrungen überein. Für die Grundwassergeringleiter wurde ein Durchlässigkeitsbeiwert von $6,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ermittelt. Das kalibrierte Verhältnis von horizontalem zu vertikalem Durchlässigkeitsbeiwert weist Werte zwischen 3 und 5 für die Sande sowie Werte zwischen 5 und 10 für die Grundwassergeringleiter auf. Die kalibrierte Durchlässigkeit bzw. Leckage der Gräben innerhalb des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches nimmt einen Wert von $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ein sowie die Durchlässigkeit der Gräben außerhalb des Einzugsgebietes des Hestruper Mühlenbaches einen Wert von $4,7 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Für die Standgewässer wurden Durchlässigkeitswerte von $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ und $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ermittelt. Die kalibrierten Manning-Koeffizienten von 0,12 $\text{s/m}^{1/3}$ deuten auf eher raue Gerinne hin. Der Anteil der Grundwasserneubildung in Regionen mit oberflächlichem Grundwassergeringleiter entspricht nach der Kalibrierung im Modellgebiet 0,85.

Unter Betrachtung der Grundwasserstände ergab sich unter Verwendung der kalibrierten Werte ein abschließender RMSE von 0,66 m, was etwa 3 % der mittleren Differenz zwischen den Randbedingungen im Südosten und im Norden im Jahr 2020 entspricht. Zwischen den Grundwassermessstellen schwankte der RMSE zwischen 0,07 m und 4,26 m (s. Abbildung 45). R^2 unter Betrachtung der

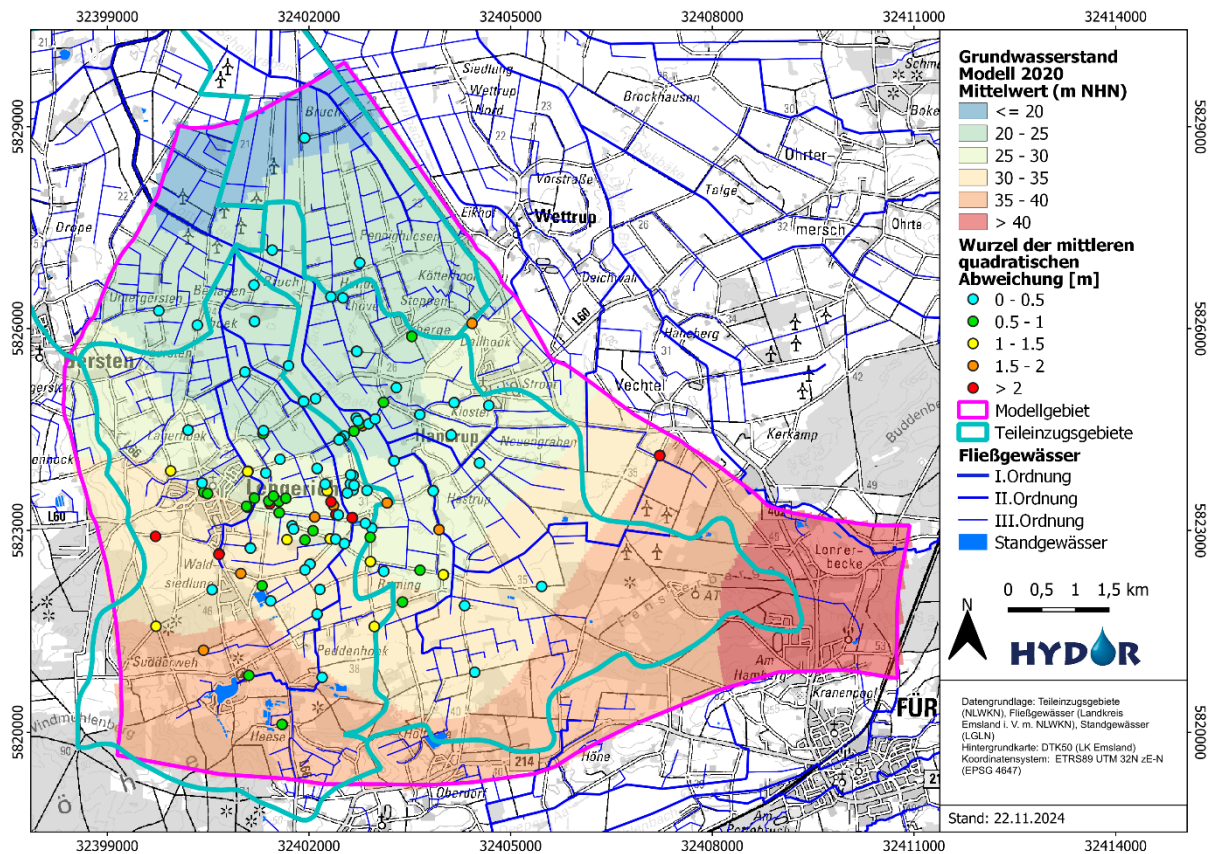


Abbildung 45: RMSE an den Grundwassermessstellen für das kalibrierte instationäre Grund- und Oberflächenwassermodell

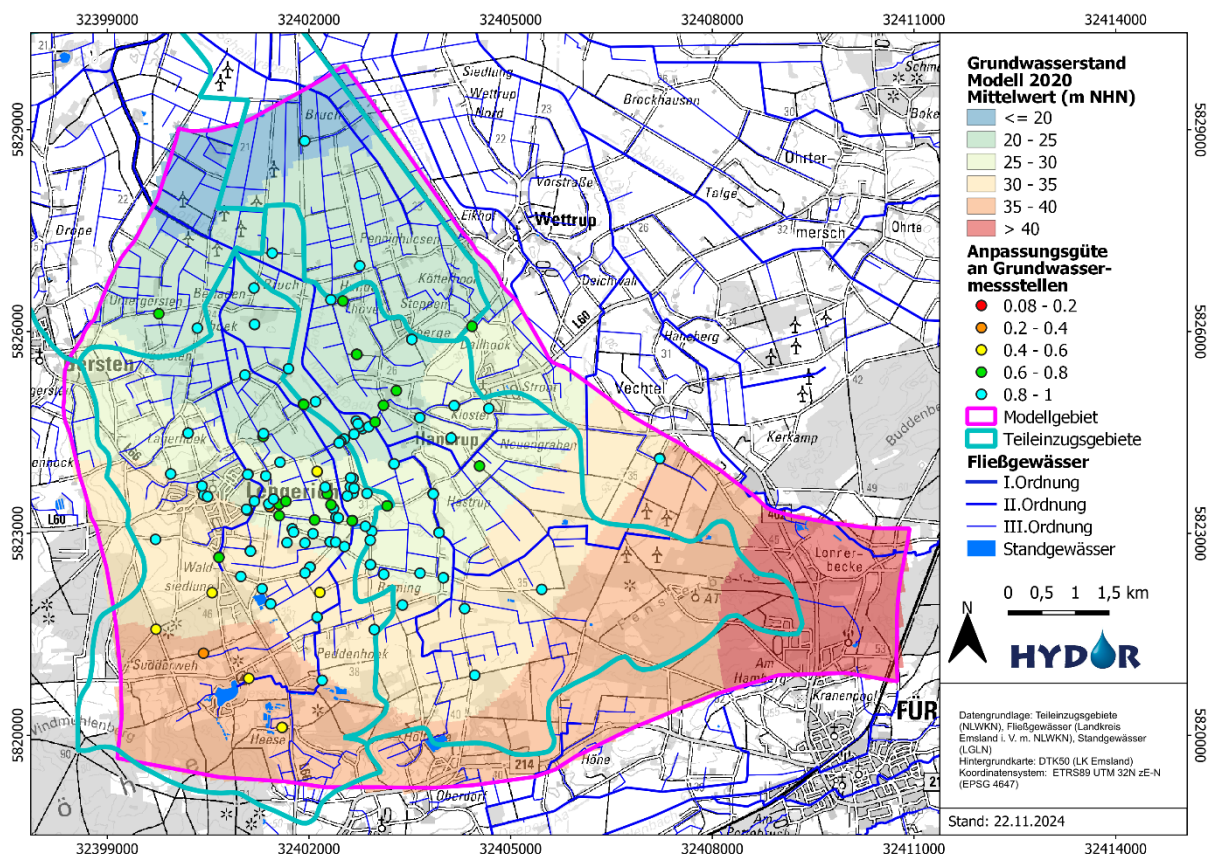


Abbildung 46: R² an den Grundwassermessstellen für das kalibrierte instationäre Grund- und Oberflächenwassermodell

Grundwasserstände betrug 0,84, wobei sich auch hier deutliche Unterschiede zwischen den Grundwassermessstellen zeigten (s. Abbildung 46), so schwankte R^2 zwischen 0,05 und 1,00. Unter Betrachtung der drei Oberflächenwassermessstellen ergab sich ein mittlerer RMSE von $0,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ hinsichtlich des Abflusses. R^2 betrug für die Oberflächenwasserpegel 0,97 in Bezug auf den Abfluss. Zu den Abflüssen an den drei Oberflächenwassermessstellen lagen für das Jahr 2020 jeweils sechs Messungen vor. Im März und April wurden diese in der Simulation meist leicht überschätzt sowie im August und Oktober unterschätzt (s. Abbildung 47).

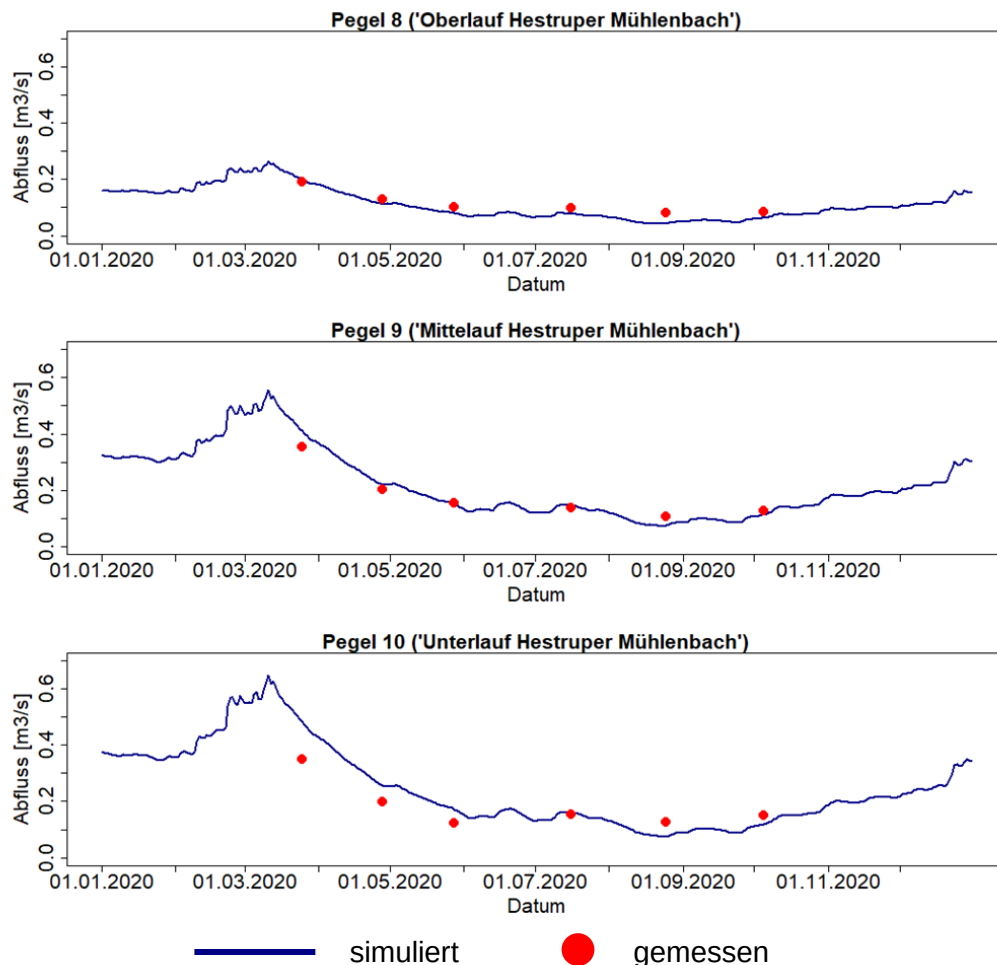


Abbildung 47: Simulierte und gemessene Abflüsse an den drei Oberflächenwassermessstellen Pegel 8, Pegel 9 und Pegel 10 des WVLL

7.1.4 Ergebnisse – Ist-Zustand

Um eine Auswirkungsprognose der Wasserrückhaltmaßnahmen treffen zu können, musste in einem ersten Schritt der Ist-Zustand simuliert und ausgewertet werden. Der modellierte Ist-Zustand entspricht dem Jahr 2020 (Grundwasserstand in der obersten Modellschicht s. Abbildung 45). Das Grundwasser strömt von Südosten bzw. Süden nach Nordwesten bzw. Norden. Es zeigt sich deutlich der Einfluss des dichten Grabensystems, das das Grundwasser entlastet und so zu einer Absenkung der Grundwasserstände führt. Das Fließgewässersystem im Einzugsgebiet Hestruper Mühlenbach hat zumeist eine ähnliche Fließrichtung wie das Grundwasser. Der Abfluss im Hestruper Mühlenbach nimmt meist von Süden nach Norden zu (s. Abbildung 47).

7.1.5 Szenariorechnungen

Im Rahmen der Szenariorechnungen wurden u. a. die im Vergleich zum Ist-Zustand aufgrund der Wasserrückhaltemaßnahmen veränderten Grundwasserstände simuliert, ausgewertet und dem Ist-Zustand gegenübergestellt. Insgesamt wurden vier Szenarien simuliert, die sich hinsichtlich der Umsetzung der vorgeschlagenen Wasserrückhaltemaßnahmen unterscheiden (s. Tabelle 10).

Tabelle 10: Übersicht Szenarien. Standorte an denen ebenfalls Anhebung Grabensohle/Umbau Grabenprofil vorgesehen sind, sind ausgenommen, ++ Standorte an denen ebenfalls aktive und passive Stauhaltungen vorgesehen sind, sind ausgenommen

Maßnahmen	Festlegungen für:			
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
aktive und passive Stauhaltung	60 cm über Mittelwasser mit Unterscheidung in Sommer* und Winter** +	90 cm über Mittelwasser mit Unterscheidung in Sommer* und Winter** +	60 cm über Mittelwasser mit Unterscheidung in Sommer* und Winter** und Stauabfolgen stromaufwärts	60 cm über Mittelwasser mit Unterscheidung in Sommer* und Winter** und Stauabfolgen stromaufwärts, Ergänzung der Standorte
Anhebung der Grabensohle/Umbau des Grabenprofils	Sohlanhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Winter**	Sohlanhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Winter**	Sohlanhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Winter** ++	Sohlanhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Winter** ++
abgedichtetes Rückhaltebecken	aktiv	aktiv	aktiv	aktiv
Umbau Abstürze im Hestruper Mühlenbach in Sohlgleiten	25 cm über Höhe im Ist-Zustand	25 cm über Höhe im Ist-Zustand	40 cm über Höhe im Ist-Zustand	40 cm über Höhe im Ist-Zustand

Die Szenarien 1 bis 3 waren das Ergebnis der Maßnahmenvorschläge der Arbeitsgruppen vor dem Arbeitsgruppentreffen im September 2024. Das Szenario 4 wurde aufgrund weiterer Maßnahmenvorschläge der Arbeitsgruppen (s. Abbildung 39) sowie hinsichtlich der Optimierung der Maßnahmen nach dem Treffen angepasst. Die Optimierung orientierte sich hauptsächlich an der „Gebietskulisse Maßnahmen“, hier sollte eine Erhöhung der Grundwasserstände erreicht werden. An den Standorten, wo die Anhebung der Grabensohle/ der Umbau des Grabenprofils oder aktive und passive Stauhaltung vorgeschlagen wurden, wurde in Szenario 1 und 2 im Modell die Anhebung der Grabensohle/der Umbau des Grabenprofils implementiert, während in Szenario 3 und 4 an diesen Standorten aktive und passive Stauhaltungen eingefügt wurden.

Im vorliegenden Kapitel sind die maßnahmenbedingten Grundwasserstandsänderungen für ausgewählte Monate dargestellt. Die Grundwasserstandsänderungen der weiteren Monate können Anhang 2 entnommen werden. Die Ergebnisse der Szenarien für den Zustand im April 2020 (s. Abbildung 48 bis Abbildung 51) zeigen, dass die Wirkung einzelner Maßnahmen abhängig vom Standort war. So waren die Auswirkungen der Stauhaltungen in Gewässern mit geringem Durchfluss weniger stark (s. u. a. die zwei südlichen Stauhaltungen in Abbildung 48) im Vergleich zu Gewässern mit

höherem Durchfluss (s. u. a. die zwei Stauhaltungen südöstlich von Handrup in Abbildung 48) trotz gleicher Dimensionierung der Stauhaltung. Die Beschreibung der folgenden Ergebnisse bezieht sich auf den Zustand April 2020.

Das Szenario 1 (s. Abbildung 48) führte an wenigen Standorten in direkter Nähe der aktiven und passiven Stauhaltungen bis max. 50 m lateral zum Fließgewässer zu einem Anstieg des Grundwasserstandes von bis > 30 cm. Grundwasserstandserhöhungen von >20 cm bis 30 cm waren bis max. 80 m, Anstiege des Grundwassers von > 10 cm bis 20 cm bis maximal ca. 180 m und Grundwasserstandserhöhungen von >5 cm bis 10 cm bis maximal 300 m lateral zum Fließgewässer anzutreffen. Im Gebiet südlich von Handrup überlagerten sich die Effekte der aktiven und passiven Stauhaltung mit den Effekten der Umbauten an den Abstürzen im Hestruper Mühlenbach. Die Umbauten der Abstürze führten in Szenario 1 zu geringeren Anstiegen des Grundwasserstandes als Stauhaltungen, bei denen ausreichend Wasser vorhanden war. Großflächigere Erhebungen des Grundwasserstandes zeigten sich besonders in den Bereichen, wo sich die Effekte verschiedener Maßnahmen überlagerten (s. Gebiete südlich von Handrup). Die Sohlanhebungen zeigten keine bzw. nur geringfügige Auswirkungen auf den Grundwasserstand. Das Rückhaltebecken im Süden des Einzugsgebietes führte aufgrund seiner Abdichtung zu keiner Erhöhung des Grundwasserstandes. Es war jedoch auf einer Fläche von ca. vier Hektar mit bis zu 50 cm Wasser gefüllt. Dieses Wasser könnte u. a. für Berechnungszwecke genutzt werden. Die Entnahme von Wasser aus dem Rückhaltebecken könnte, wie vorherige Modellrechnungen zeigen, zu einer Absenkung des Grundwasserstandes im Unterlauf des Hestruper Mühlenbaches in direkter Umgebung des Gewässers II. Ordnung führen.

Das Szenario 2 (s. Abbildung 49) unterschied sich gegenüber dem Szenario 1 lediglich hinsichtlich der Höhe der aktiven und passiven Stauhaltungen. Die eben beschriebenen Ergebnisse der weiteren Maßnahmen gelten auch für Szenario 2. An fünf der zehn Standorte der aktiven und passiven Stauhaltung ergeben sich trotz Erhöhung der Stauhöhe im Vergleich zum Szenario 1 nur geringfügige Änderungen. Dies liegt darin begründet, dass bereits die Stauhaltungen in Szenario 1 aufgrund von geringem Durchfluss nicht überströmt wurden. An den weiteren fünf Standorten vergrößerten sich die Gebiete der Grundwasserstandsänderungen. Die Stauhaltungen führten bis maximal 100 m lateral zum Fließgewässer zu einem Anstieg des Grundwasserstandes von lokal bis > 30 cm. Grundwasserstandserhöhungen von >20 cm bis 30 cm waren bis maximal 150 m, Anstiege des Grundwassers von > 10 cm bis 20 cm bis maximal ca. 250 Meter und Grundwasserstandserhöhungen von >5 cm bis 10 cm bis maximal ca. 400 Meter lateral zum Fließgewässer anzutreffen.

Das Szenario 3 (s. Abbildung 50) zeigte im Vergleich zum Szenario 1 und 2 aufgrund der höheren Anzahl der Stauhaltungen deutlich großflächigere Erhöhungen des Grundwasserstandes. Auch die zum Fließgewässer lateralen Auswirkungen waren verglichen mit Szenario 1 größer, was auf das Zusammenwirken der einzelnen Stauhaltungen zurückgeführt werden konnte.

Die flächenhafte Darstellung der Ergebnisse der Berechnungen zum Szenario 4 in Abbildung 51

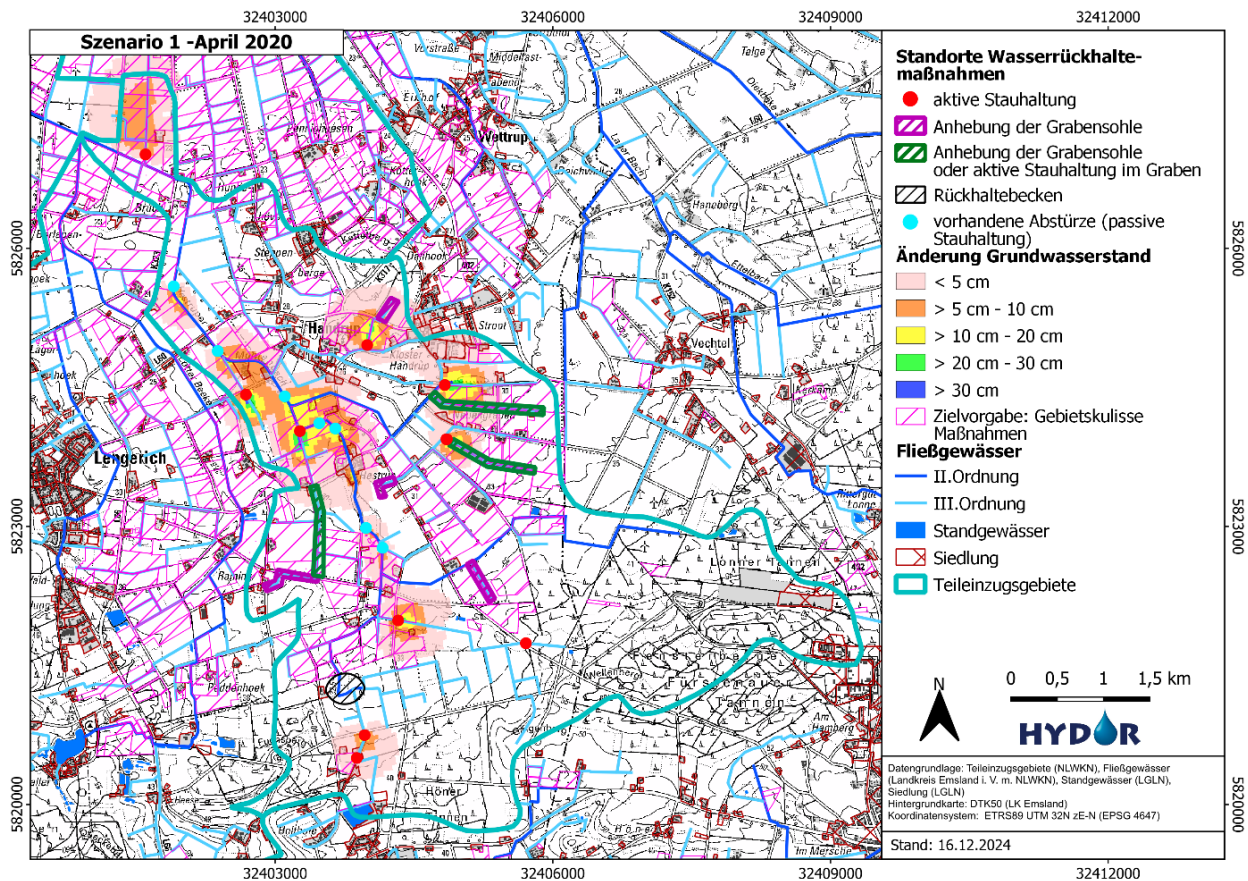


Abbildung 48: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 1 im April 2020

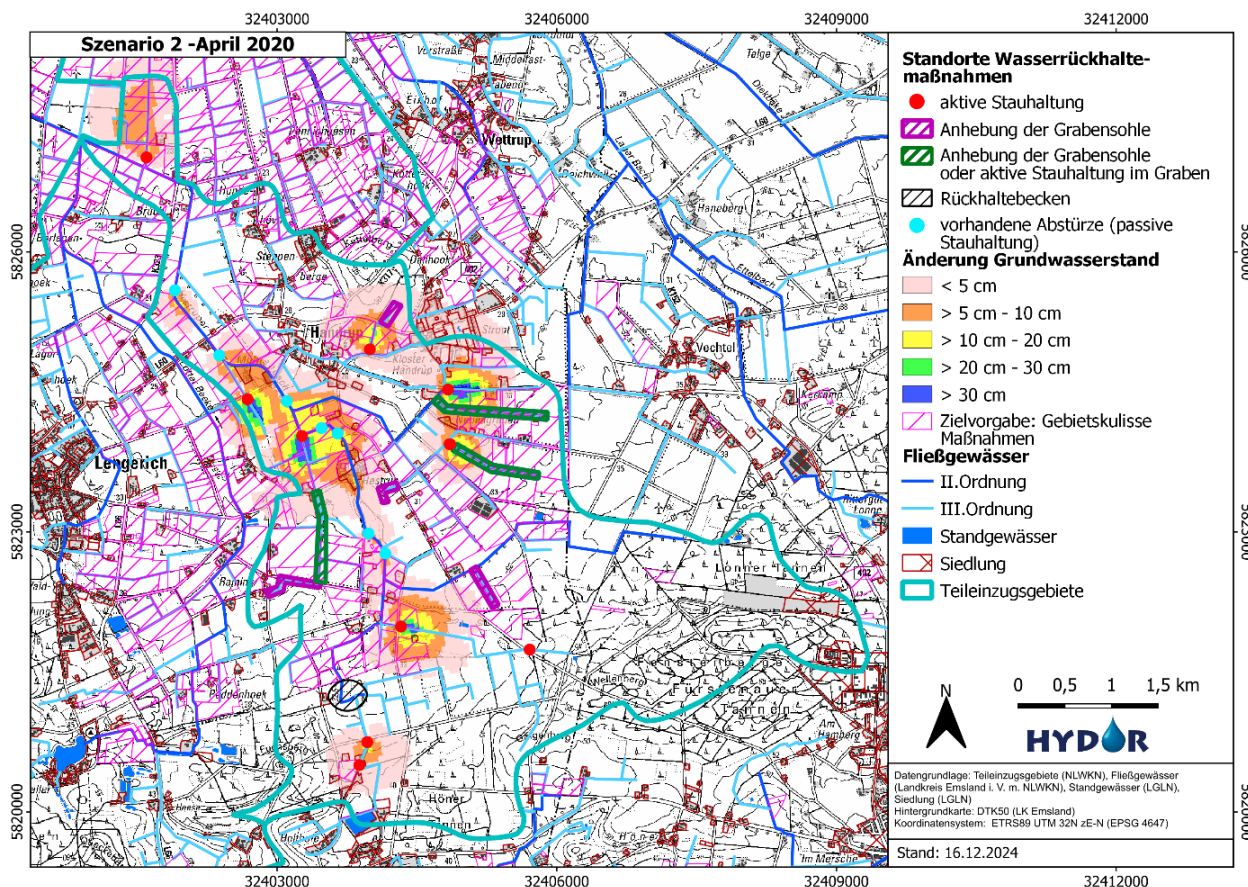


Abbildung 49: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 2 im April 2020

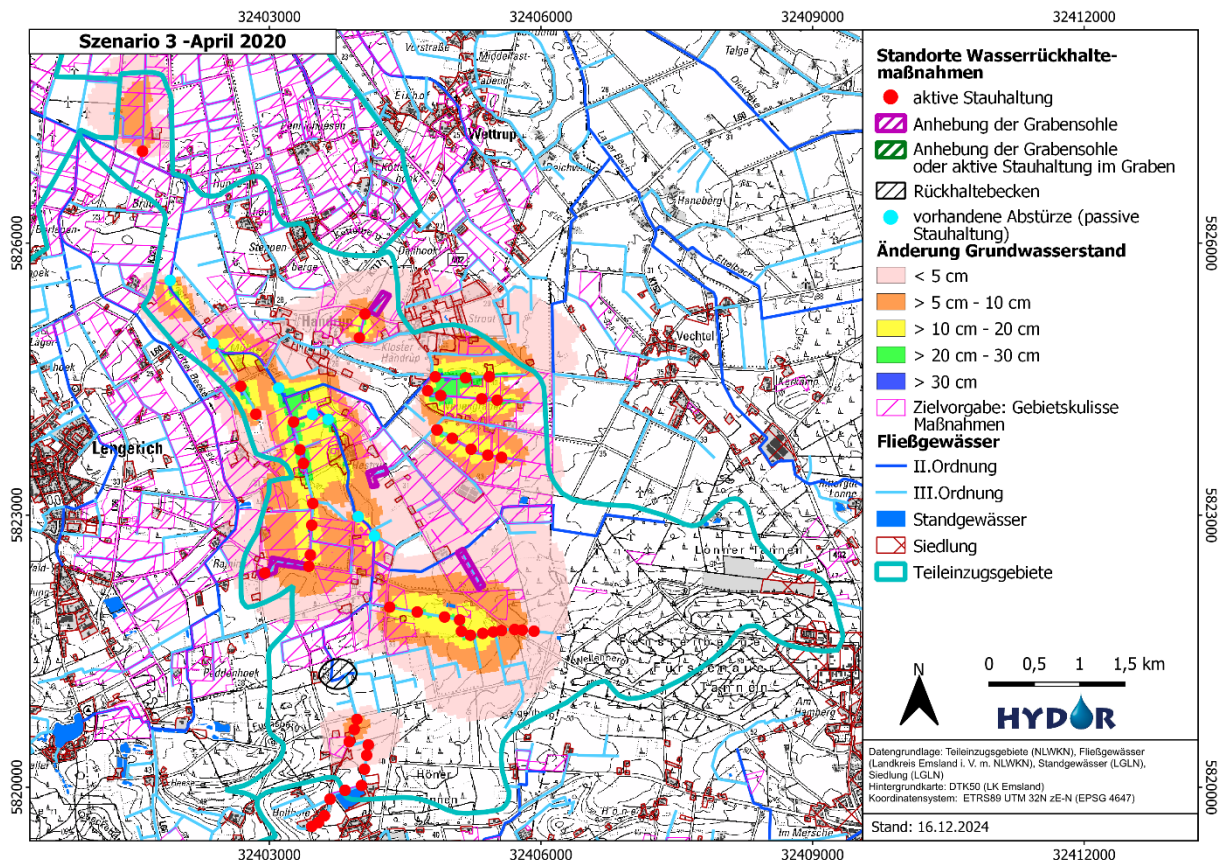


Abbildung 50: Grundwasserständerungen (Anstieg) für Szenario 3 im April 2020

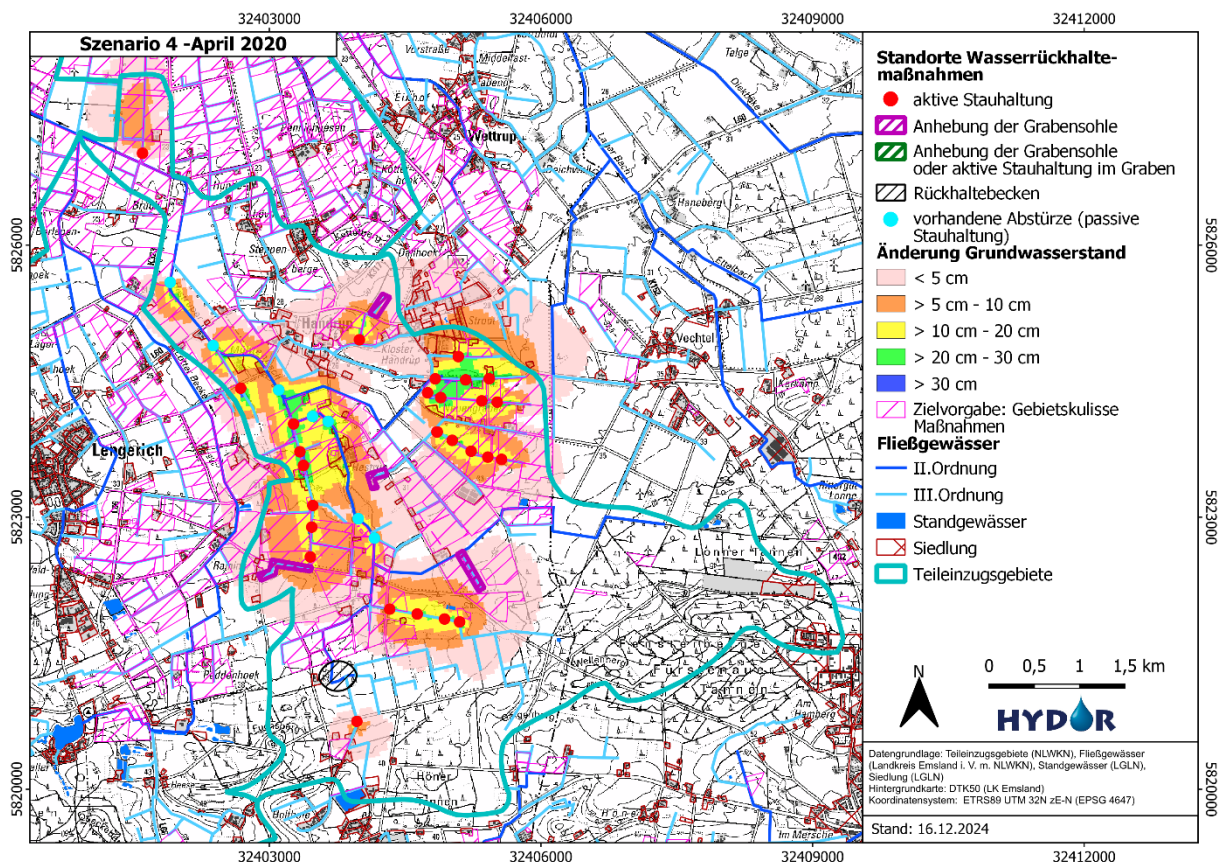


Abbildung 51: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 4 im April 2020

dokumentiert die vorgenommene Anpassung im Zuge der Optimierung der Standorte. Auch hier sind Erhöhungen des Grundwasserstandes von mehr als 20 cm flächenhaft nur kleinräumig erkennbar. Die flächenhaften Auswirkungen korrelieren mit den Standorten der vorgeschlagenen wasserbaulichen Maßnahmen. Das Szenario 4 ist das von den Teilnehmern final als am besten bewertete Szenario für den Wasserrückhalt in Bezug auf die Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen.

Wie bei den Ergebnissen aus dem April 2020 zeigte sich auch bei den Ergebnissen aus dem August 2020 (s. Abbildung 52 bis Abbildung 55) eine Standortabhängigkeit der Auswirkungen der Maßnahmen. Es wurde der trockenere Zustand im Vergleich zum April 2020 deutlich, so verringerte sich der Durchfluss an einigen Standorten, was zu einer geringeren Änderung des Grundwasserstandes führte. Die Beschreibung der folgenden Ergebnisse bezieht sich auf den Zustand August 2020.

Bei Szenario 1 (s. Abbildung 52) waren aufgrund unzureichenden Durchflusses an vier von sechs Standorten der Stauhaltung keine Änderungen des Grundwasserstandes festzustellen. Die Auswirkungen zwei weiterer Stauhaltungen (eine Stauhaltung bei Handrup und die südliche der zwei Stauhaltungen südöstlich von Handrup) verringerten sich im Vergleich zum April 2020. Bei einzelnen Stauhaltungen (z. B. die nördliche der zwei Stauhaltungen südöstlich von Handrup) sowie an den Standorten, bei denen statt der Abstürze höher gelegene Sohlschwellen implementiert wurden, waren die simulierten Auswirkungen hingegen größer als im April 2020. Die Sohlanhebungen zeigten keine bzw. nur geringfügige Auswirkungen auf den Grundwasserstand. Das Rückhaltebecken im Süden des Einzugsgebietes führte aufgrund seiner Abdichtung zu keiner Erhöhung des Grundwasserstandes. Es war jedoch auf einer Fläche von ca. 4 ha mit bis zu 35 cm Wasser gefüllt.

Die Unterschiede der Grundwasserstandänderungen im Vergleich von Szenario 2 und Szenario 3 Zustand April 2020 zu Szenario 2 und Szenario 3 Zustand August 2020 (s. Abbildung 53 und Abbildung 54) waren ähnlich wie die zuvor beschriebenen Unterschiede des Szenario 1 Zustand April 2020 zu Szenario 1 Zustand August 2020.

So waren an einigen Stauhaltungen im August 2020 keine oder nur noch geringfügige Erhöhungen des Grundwasserstandes zu verzeichnen, bei denen im April noch eine deutlich höhere Änderung simuliert wurde. Auch führten die Umbauten der Abstürze zu stärkeren Grundwasserstandänderungen im August 2020 verglichen mit April 2020. Deutlich erkennbar ist im Falle von Szenario 3 die deutliche größere Ausdehnung der Gebiete mit Grundwasserstandsänderungen von > 5 cm im zentralen Bereich des Teileinzugsgebietes Hestruper Mühlenbach. Das gilt auch für das „optimale“ Szenario 4 für den Monat August 2020 (s. Abbildung 55). Hier sind keine wesentlichen Änderungen in der Kulisse mehr erkennbar.

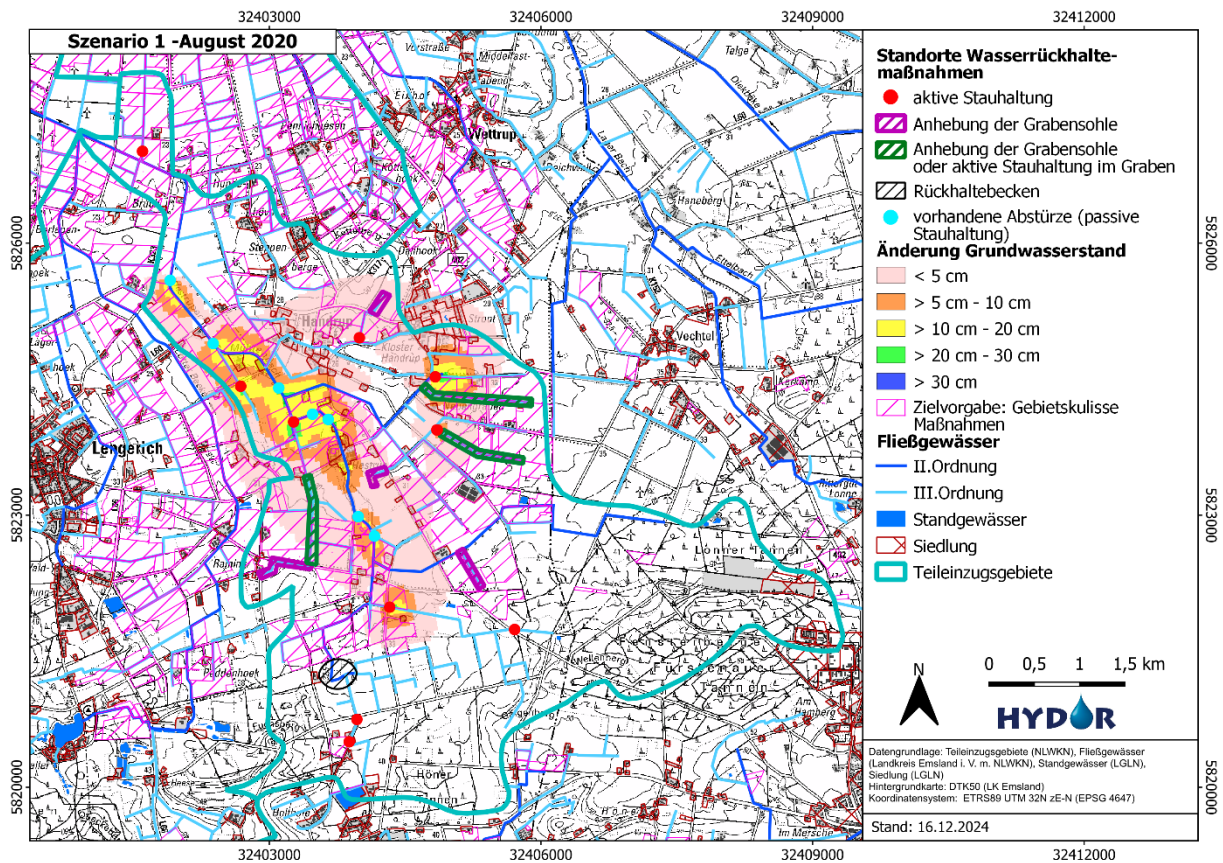


Abbildung 52: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 1 im August 2020.

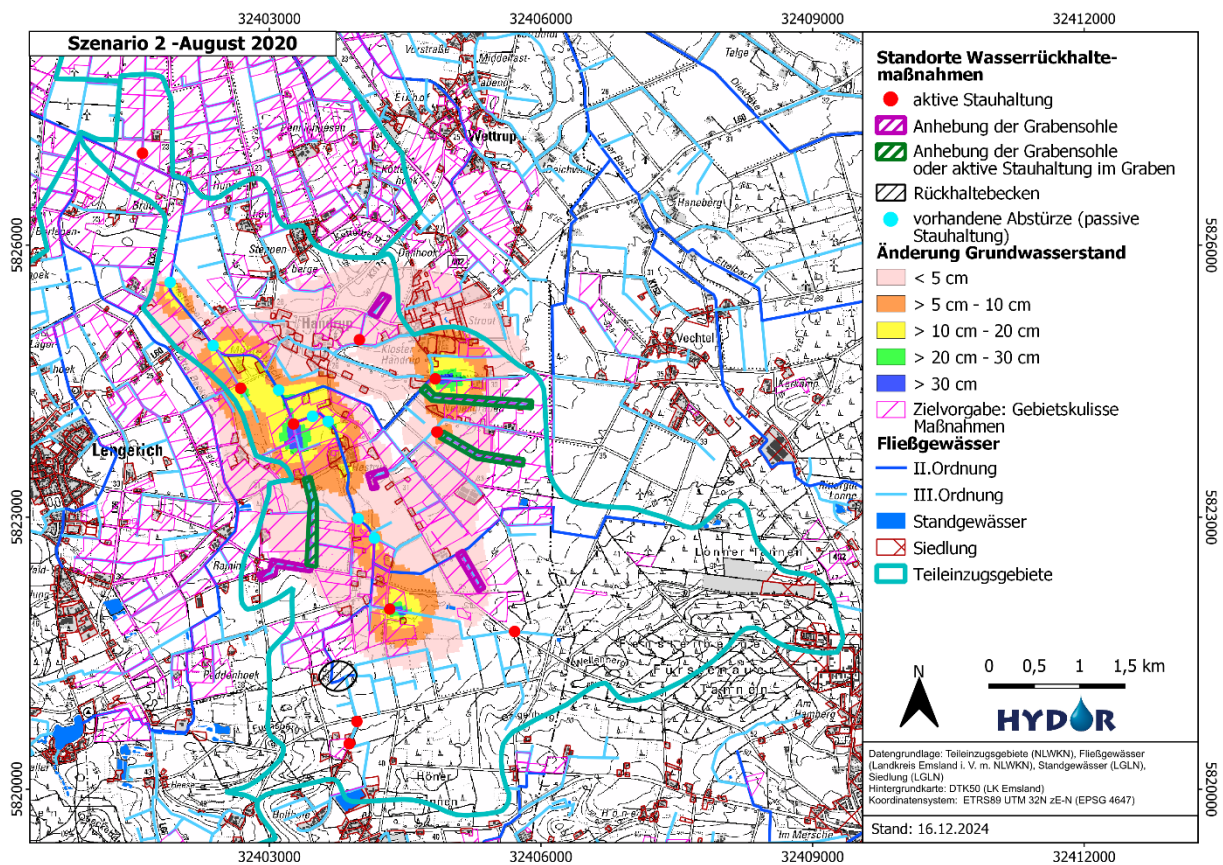


Abbildung 53: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 2 im August 2020.

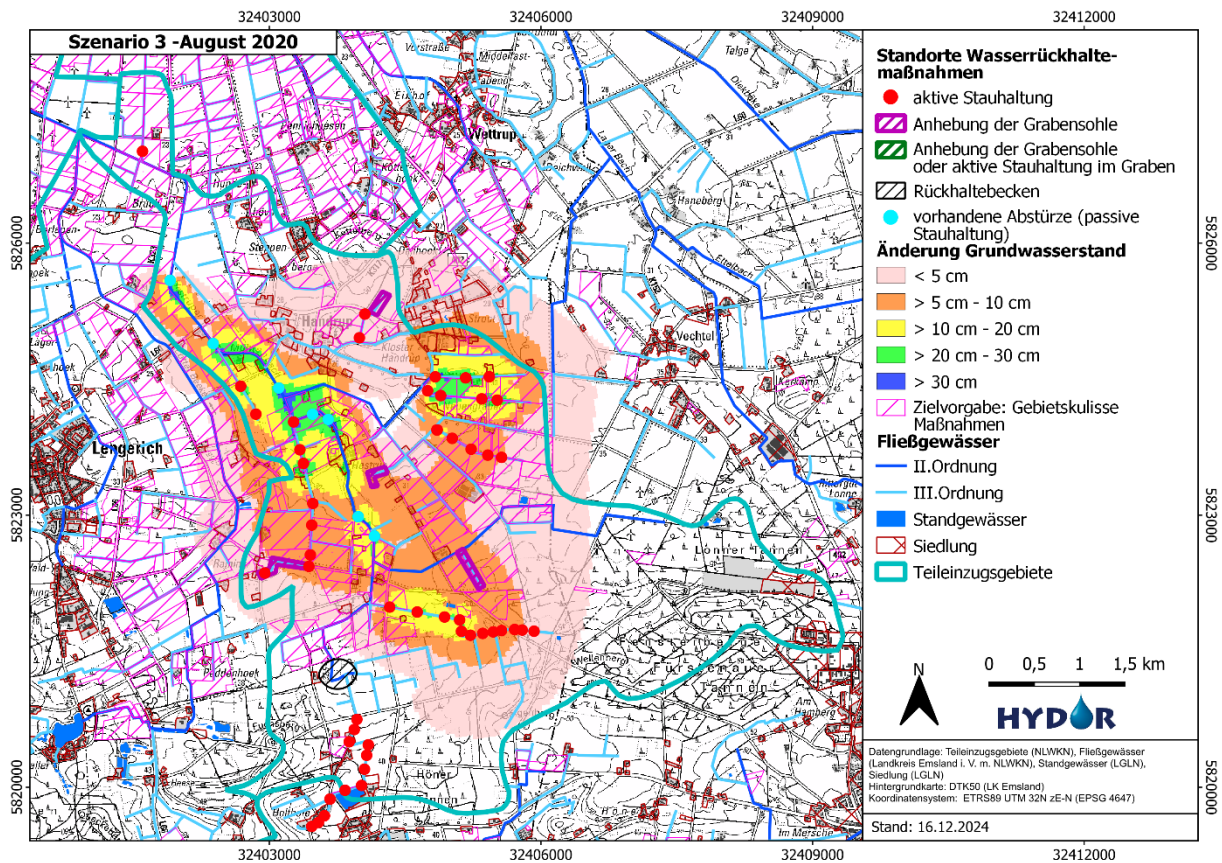


Abbildung 54: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 3 im August 2020

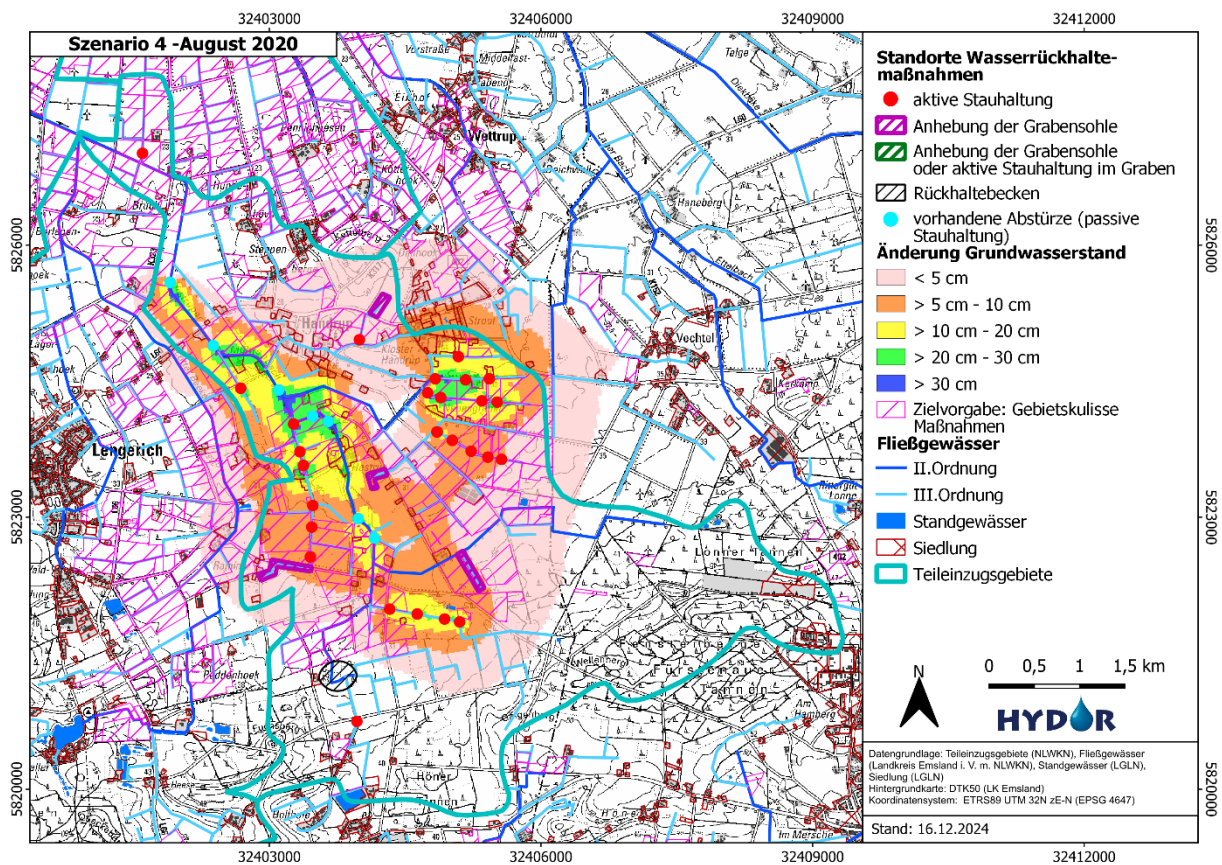


Abbildung 55: Grundwasserstandsänderungen (Anstieg) für Szenario 4 im August 2020

7.2 Praxistaugliche Werkzeuge für Auswirkungsprognosen

Die Auswirkungsprognose für die vorgeschlagenen Wasserrückhaltemaßnahmen sollte nach der Leistungsbeschreibung des AG für die restlichen vier Teileinzugsgebiete nicht durch eine numerische Grund- und Oberflächenwassermodellierung erfolgen, sondern unter Anwendung „praxistauglicher Werkzeuge“ erstellt werden. Unter „praxistauglich“ wird die Eignung der Werkzeuge im zukünftigen wasserbehördlichen Vollzug des LK Emsland verstanden.

Es wurden vier Maßnahmenarten vorgeschlagen: (1) aktive und passive Stauhaltung im Graben, (2) Anhebung der Grabensohle/ Umbau des Grabenprofils, (3) Remäandrierung und (4) Rückhaltebecken. Dafür wurden praxistaugliche Werkzeuge recherchiert (s. Kap. 7.2.1), hinsichtlich verschiedener Kriterien (wie z. B. Anwendbarkeit) bewertet (s. Kap. 7.2.2), anschließend ein Werkzeug ausgewählt und angepasst (s. Kap. 7.2.3) sowie abschließend angewandt (s. Kap. 7.2.4).

7.2.1 Recherche praxistauglicher Werkzeuge für Auswirkungsprognosen

Im Folgenden wurden die recherchierten Werkzeuge beschrieben und Eingangs- sowie Zielgrößen dargelegt. Nicht alle Methodiken sind für alle vier Maßnahmenarten, welche im Einzugsgebiet der Lotter Beeke vorgeschlagen wurden, geeignet. Dies wurde jeweils aufgezeigt. Die Werkzeuge können in den Bereich Grundwasser und den Bereich Oberflächenwasser unterschieden werden. Für das Grundwasser konnten insgesamt vier Ansätze (Kap.7.2.1.1 bis 7.2.1.4) und für das Oberflächenwasser zwei Ansätze (Kap.7.2.1.5) recherchiert werden. Ein weiteres Werkzeug betrachtet das Grund- und Oberflächenwasser gemeinsam (Kap.7.2.1.6).

7.2.1.1 Formel nach Eggelsmann – Grundwasser

Die empirische Formel n. Eggelsmann (1981) (s. Gleichung 4) dient der Abschätzung der Reichweite von Entwässerungen durch Gräben bzw. Drainagen (Eggelsmann 1981; Heumann et al. 2020).

$$I = 200 \cdot h \cdot k_f \quad \text{Gleichung 4}$$

I: Reichweite der Entwässerung der Gräben bzw. der Drainagen [m]; h: Entwässerungstiefe [m], k_f : Durchlässigkeitsbeiwert [m/d]

Für eine Übertragung der Formel auf Wasserrückhaltemaßnahmen würde statt der Entwässerungstiefe bei Stauhaltungen deren Höhe bzw. bei Sohlanhebung deren Höhe eingesetzt werden. Diese Höhen und der Durchlässigkeitsbeiwert sind somit die Eingangsgrößen der Methodik. Die Zielgröße ist die Reichweite der Stauhaltung bzw. der Sohlanhebung. Auswirkungen von Remäandrierungen und Rückhaltebecken können mit der Methode nicht prognostiziert werden.

7.2.1.2 Formel nach Hooghoudt-Ernst – Grundwasser

Die seitliche Reichweite von Gräben kann weiterhin nach der Formel von Hooghoudt-Ernst berechnet werden (Kratz und Pfadenhauer 2001) (s. Gleichung 5).

$$I = \sqrt{\frac{(8 \cdot k_{f2} \cdot d \cdot h)}{q} + \frac{(4 \cdot k_{f1} \cdot h^2)}{q}} \quad \text{Gleichung 5}$$

I: doppelte Reichweite [m]; k_{f1} : Durchlässigkeitsbeiwert oberhalb der Grabensohle; k_{f2} : Durchlässigkeitsbeiwert unterhalb der Grabensohle [m], h: Wasserspiegeldifferenz [m]; d: ein Teil der Mächtigkeit der Schicht unterhalb der Gräben [m] q: abfließende bzw. zufließende Wassermenge [m/d]

Für eine Übertragung der Formel auf Wasserrückhaltemaßnahmen würde statt der Wasserspiegeldifferenz bei Stauhaltungen deren Höhe bzw. bei Sohlanhebungen deren Höhe eingesetzt werden. Die benötigten Eingangsgrößen sind demnach der Durchlässigkeitsbeiwert oberhalb bzw. unterhalb der Grabensohle, die Wasserspiegeldifferenz zwischen entwässertem und nicht entwässertem Zustand, ein Teil der Mächtigkeit der Schicht unterhalb der Gräben sowie die ab- bzw. zufließende Wassermenge (s. Gleichung 3 und Abbildung 56). Die Zielgröße ist die Reichweite der Stauhaltung bzw. der Sohlanhebung. Auswirkungen von Remäandrierungen und Rückhaltebecken können mit der Methodik nicht bewertet werden.

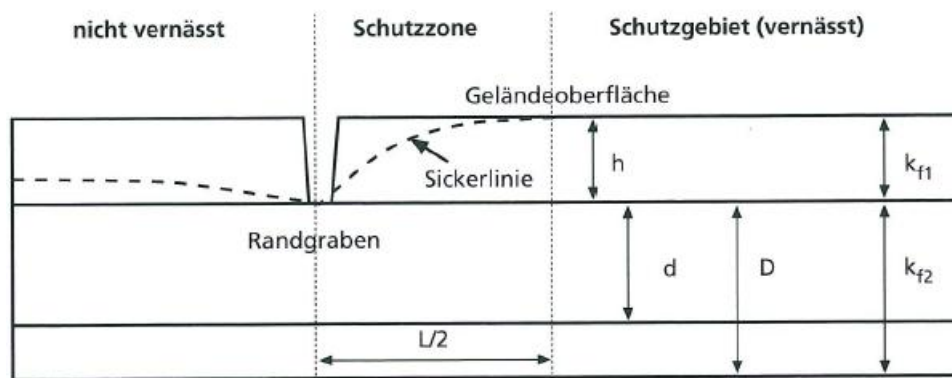


Abbildung 56: Parameter zur Berechnung der Reichweite nach Hooghoudt-Ernst (Kratz und Pfadenhauer 2001)

7.2.1.3 Brunnenformel nach Dupuit-Thiem – Grundwasser

Die sog. „Brunnenformel“ nach Dupuit-Thiem (für ungespannte Grundwasserleiter s. Gleichung 6) dient der Berechnung der Absenkung in der Umgebung eines Brunnens, auch kann der Aufstau infolge einer Infiltration berechnet werden (Eckl und Raissi 2009).

$$s = h_0^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi \cdot k_f} \cdot \ln \frac{R}{r} \quad \text{Gleichung 6}$$

s: Absenkung bzw. Anstau im Abstand r vom Brunnen [m]; h: Standrohrspiegelhöhe im Abstand r vom Brunnen [m]; h_0 : unbeeinflusste Standrohrspiegelhöhe im Abstand R vom Brunnen [m]; Q: Pumprate (bei Entnahme negativ, bei Infiltration positiv) [m^3/s]; k_f : Durchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserleiters [m/s]; R: Reichweite der Absenkung bzw. des Anstaus [m]; r: Abstand vom Brunnen [m]

Für die Anwendung der Brunnenformel nach Dupuit-Thiem für Wasserrückhaltemaßnahmen muss die Infiltrationsrate, welche durch die Maßnahme verursacht wird, bekannt sein bzw. ermittelt werden. Diese Rate kann im Falle einer Stauanlage z. B. vereinfacht über den Gradienten zwischen Grund- und Oberflächenwasserstand, der Austauschfläche von Gräben und Grundwasser sowie dem Durchlässigkeitsbeiwert und der Mächtigkeit der Kolmationsschicht berechnet werden. Eingangsgrößen für diese Methode sind demnach die eben aufgeführten Parameter für die Bestimmung der Infiltrationsrate sowie der Durchlässigkeitsbeiwert des Grundwasserleiters und die Reichweite des Anstaus. Diese Reichweite kann z. B. mit der Formel nach Eggelsmann oder nach Hooghoudt-Ernst ermittelt werden. Die Methodik kann verwendet werden, um die Auswirkungen von Stauhaltungen und Rückhaltebecken zu bewerten, wenn die Wasserstände der oberirdischen Gewässer bekannt sind. Die Effekte von Sohlanhebungen und Remäandrierung können mit der Brunnenformel nicht bestimmt werden.

7.2.1.4 Stationäre Grundwassergleichungen in MS-Excel⁶ – Grundwasser

In den Publikationen von Gómez-Hernández (2022) sowie Gómez-Hernández und Secci (2024) wurde dargelegt, wie ein vereinfachtes Grundwassermodell in MS-Excel für einen gespannten bzw. ungespannten Grundwasserleiter aufgebaut werden kann. Weiterhin können auf der github-Seite von Gómez-Hernández⁷ Beispiele dieser Excel-Arbeitsblätter heruntergeladen werden.

Die mathematische Grundlage der modellhaften Berechnung in MS-Excel nach Gómez-Hernández (2022) und Gómez-Hernández und Secci (2024) bilden die Kontinuitätsgleichung und das Darcy-Gesetz. Das Gebiet wird hierbei in zunächst in mehrere Zellen unterteilt (s. Abbildung 57).

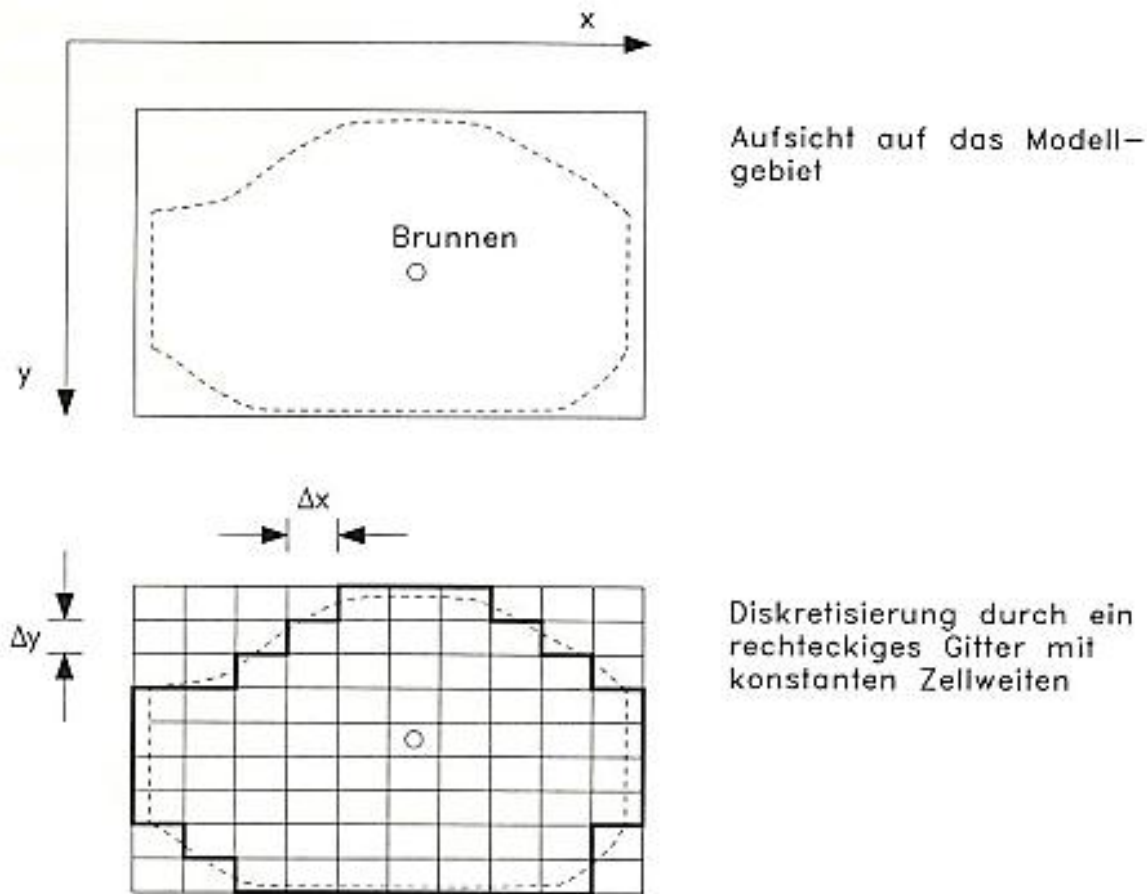


Abbildung 57: Diskretisierung eines Modellgebietes für ein numerisches Grundwassermodell mit rechteckigem Gitter und konstanten Zellweiten (Lühr 2003)

Die Kontinuitätsgleichung besagt, dass die Summe aller zufließenden Wassermengen in eine Zelle gleich der Summe aller abfließenden Wassermengen in eine Zelle sein muss (siehe Gleichung 7).

$$Q_{\text{Norden}} + Q_{\text{Süden}} + Q_{\text{Osten}} + Q_{\text{Westen}} + Q_{\text{Extern}} = 0 \quad \text{Gleichung 7}$$

Q_{Norden} : Wassermenge pro Zeit von Norden [m^3/s]; $Q_{\text{Süden}}$: Wassermenge pro Zeit von Süden [m^3/s]; Q_{Osten} : Wassermenge pro Zeit von Osten [m^3/s]; Q_{Westen} : Wassermenge pro Zeit von Westen [m^3/s]; Q_{Extern} : Wassermenge pro Zeit aus externen Quellen (z. B. Grundwasserneubildung) [m^3/s]

⁶ <https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/excel>

⁷ <https://github.com/jaumegomez/GroundwaterFlowByExcel?tab=readme-ov-file>

Die Darcy-Gleichung beschreibt, wie die Wassermengen der Kontinuitätsgleichung berechnet werden. Sie ergeben sich aus der Transmissivität⁸ und den Wasserstandsgradienten (siehe Gleichungen Gleichung 8 bis Gleichung 11).

$$Q_{\text{Norden}} \approx T_{\text{Norden}} \frac{h_{\text{Norden}} - h}{\Delta} \Delta \quad \text{Gleichung 8}$$

$$Q_{\text{Süden}} \approx T_{\text{Süden}} \frac{h_{\text{Süden}} - h}{\Delta} \Delta \quad \text{Gleichung 9}$$

$$Q_{\text{Osten}} \approx T_{\text{Osten}} \frac{h_{\text{Osten}} - h}{\Delta} \Delta \quad \text{Gleichung 10}$$

$$Q_{\text{Westen}} \approx T_{\text{Westen}} \frac{h_{\text{westen}} - h}{\Delta} \Delta \quad \text{Gleichung 11}$$

Q_{Norden} : Wassermenge pro Zeit von Norden [m^3/s]; $Q_{\text{Süden}}$: Wassermenge pro Zeit von Süden [m^3/s]; Q_{Osten} : Wassermenge pro Zeit von Osten [m^3/s]; Q_{Westen} : Wassermenge pro Zeit von Westen [m^3/s]; T_{Norden} : Transmissivität Norden [m^2/s]; $T_{\text{Süden}}$: Transmissivität Süden [m^2/s]; T_{Osten} : Transmissivität Osten [m^2/s]; T_{Westen} : Transmissivität Westen [m^2/s]; h_{Norden} : Wasserstand nördlicher Zelle [m]; $h_{\text{Süden}}$: Wasserstand südlicher Zelle [m]; h_{Osten} : Wasserstand östlicher Zelle [m]; h_{Westen} : Wasserstand westlicher Zelle [m]; h : Wasserstand berechneter Zelle [m]; Δ : Zellhöhe bzw. -breite [m]

Für die modellhafte Berechnung werden folgende Eingangsgrößen benötigt: (1) Abgrenzung des Untersuchungsgebietes, (2) Unterkante des Grundwasserleiters, (3) Wasserstände an den Grenzen des Untersuchungsgebietes, (4) Durchlässigkeitsbeiwerte des Grundwasserleiters, (5) Grundwasserneubildungsrate, (6) Wasserstände in den Gräben, (7) Höhe der Grabensohlen, (8) Breite der Gräben, (9) Durchlässigkeitsbeiwerte der Kolmationsschicht, (10) deren Mächtigkeit und (11) Wasserstände weiterer relevanter Oberflächengewässer wie Seen. Berücksichtigt werden können weiterhin Brunnen und Drainagen. Aus allen Eingangsgrößen wird im Ergebnis in einem MS-Excel-Arbeitsblatt der Grundwasserstand als Zielgröße iterativ und räumlich differenziert berechnet. Bei bekannter Änderung der Oberflächenwasserstände durch Wasserrückhaltemaßnahmen könnten die Auswirkungen der vier Arten von Wasserrückhaltemaßnahmen auf den Grundwasserstand zweidimensional mit absoluten Änderungen berechnet werden. Hierfür muss jeweils eine Version ohne sowie eine Version mit Wasserrückhaltemaßnahmen erstellt werden und anschließend die Differenz aus beiden berechnet werden, um die Grundwasserstandsänderungen darzustellen.

7.2.1.5 Formel nach Rühlmann und Annahme Sohlanhebung – Oberflächenwasser

Die Formel nach Rühlmann für die Ermittlung der Stauweite von Stauhaltungen (s. Gleichung 12 i. V. m. Gleichung 13 und Gleichung 14) wurde Dehnert (1952) entnommen.

$$l = \frac{t}{J} \left(\varphi \frac{Z}{t} - 0,0067 \right) \quad \text{Gleichung 12}$$

$$\text{mit } t = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{c^2 \cdot B^2 \cdot J}} \quad \text{Gleichung 13}$$

$$\text{mit } c = \sqrt{g \cdot d} \quad \text{Gleichung 14}$$

l : Stauweite im Graben [m]; J : Sohlgefälle [-]; Z : Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser am Stau [m]; Q : Abfluss [m^3/s]; c : Wellengeschwindigkeit [m/s]; B : mittlere Breite des angestauten Querschnittes [m]; g : Erdbeschleunigung [m/s^2]; d : Wassertiefe [m]

⁸ Maß für die Fähigkeit eines Grundwasserleiters, Wasser zu transportieren; wird berechnet als Produkt der Mächtigkeit (in Meter) und der Durchlässigkeit eines Grundwasserleiters (in Meter/sec)

Eingangsgrößen für die Formel nach Rühlmann sind: (1) das Sohlgefälle, (2) der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser am Stau, (3) der Abfluss im Gerinne, (4) die mittlere Breite des angestauten Querschnittes sowie (5) die Wassertiefe. Der Wert für $\varphi \frac{(z)}{t}$ ergibt sich aus dem Quotienten von Z und t (s. Tabelle 11).

Die Zielgröße ist die Stauweite im Oberflächengewässer. Über eine lineare Interpolation zwischen Stauhaltung und Reichweite kann die absolute Änderung des Oberflächenwasserstandes vereinfacht abgeschätzt werden. Die Formel gilt nur für Stauhaltungen.

Tabelle 11: Angaben zu $\varphi \frac{(z)}{t}$ in Abhängigkeit von $\frac{z}{t}$.

Tabelle zur Stauberechnung nach Rühlmann

$\frac{z}{t}$	$\varphi \frac{(z)}{t}$	$\frac{z}{t}$	$\varphi \frac{(z)}{t}$	$\frac{z}{t}$	$\varphi \frac{(z)}{t}$
0,01	0,0067	0,36	1,4473	0,92	2,1916
0,02	2444	0,37	4638	0,94	2148
0,03	3863	0,38	4801	0,96	2380
0,04	4889	0,39	4962	0,98	2611
0,05	5701	0,40	5119	1,00	2839
0,06	6376	0,41	5275	1,10	3971
0,07	6958	0,42	5430	1,20	5084
0,08	7482	0,43	5583	1,30	6179
0,09	7933	0,44	5734	1,40	7264
0,10	8353	0,45	5884	1,50	8337
0,11	8739	0,46	6032	1,60	9401
0,12	9098	0,47	6179	1,70	3,0458
0,13	9434	0,48	6324	1,80	1508
0,14	9751	0,49	6468	1,90	2553
0,15	1,0051	0,50	6611	2,00	3594
0,16	0335	0,52	6893	2,10	4631
0,17	0608	0,54	7170	2,20	5664
0,18	0869	0,56	7444	2,30	6694
0,19	1119	0,58	7720	2,40	7720
0,20	1361	0,60	7980	2,50	8745
0,21	1595	0,62	8243	2,60	9768
0,22	1821	0,64	8503	2,70	4,0789
0,23	2040	0,66	8759	2,80	1808
0,24	2254	0,68	9014	2,90	2826
0,25	2461	0,70	9266	3,00	3843
0,26	2664	0,72	9517	4,00	5,3958
0,27	2861	0,74	9765	5,00	6,4020
0,28	3054	0,76	2,0010	6,00	7,4056
0,29	3243	0,78	0254	8,00	9,4097
0,30	3428	0,80	0495	10,00	11,4120
0,31	3610	0,82	0735	15,00	16,4140
0,32	3789	0,84	0975	20,00	21,4150
0,33	3964	0,86	1213	30,00	31,4150
0,34	4136	0,88	1449	50,00	51,4160
0,35	4306	0,90	1683	100,00	101,4200

Praxistaugliche Werkzeuge für die Prognose der Wasserstände in Oberflächengewässern für die Maßnahmen Remäandrierung und Rückhaltebecken konnten bei der Recherche für das vorliegende Projekt nicht ausfindig gemacht werden. Für Sohlanhebungen wurde vereinfacht angenommen, dass der Wasserstand im Oberflächengewässer um den Anteil ansteigt, welcher - unter Ausnahme des Porenvolumens- verfüllt wird. Bei einer Verfüllung um 0,5 m und einem Porenvolumen von 50 % würde der Wasserstand nach der Annahme um 0,25 m ansteigen. Eingangsgrößen für die vereinfachte Annahme bei Sohlanhebungen sind der Wasserstand im Fließgewässer und die Höhe der Sohlanhebung. Die Zielgröße ist der Anstieg des Oberflächenwasserstandes infolge der Maßnahme.

7.2.1.6 Kleinstäumiges Grundwasser- und Oberflächenwassermodell

Eine weitere Möglichkeit, Auswirkungsprognosen für die Wasserrückhaltmaßnahmen zu treffen ohne ein großräumiges und numerisch komplexes Grund- und Oberflächenwassermodell aufzubauen ist es, ein kleinstäumiges und weniger komplexes Grundwasser- und Oberflächenwassermodell zu erstellen. Das Vorgehen in Bezug auf das Grundwassermodell ist ähnlich wie in Kap.7.1.1

beschrieben, jedoch würde ein kleineres Gebiet und ein weniger komplexer Aufbau des Untergrundes implementiert werden. Eingangsgrößen sind in den Kap. 7.1.1 und 7.1.2 beschrieben, wie z. B. Bohrungen, Durchlässigkeitsbeiwerte, Lage von Fließgewässern inkl. Sohlhöhen und Manning-Koeffizienten. Die Zielgröße ist der Wasserstand im Grund- und Oberflächenwasser. Für die Ermittlung von Wasserstandsänderungen infolge von Wasserrückhaltemaßnahmen ist die Simulation einer Variante ohne und einer Variante mit Maßnahmen notwendig.

7.2.2 Bewertung praxistauglicher Werkzeuge für die Auswirkungsprognosen

Die Berechnungsansätze wurden hinsichtlich der Eignung für die Auswirkungsprognosen inkl. möglichen Einschränkungen sowie der Anwendbarkeit der einzelnen Methoden mit der Unterscheidung in einfach, mittel, schwer bewertet. Um Auswirkungsprognosen für das Grund- und Oberflächenwasser zu erstellen, mussten die Werkzeuge kombiniert werden.

7.2.2.1 Kombination der Formeln nach Eggelsmann und Rühlmann unter Berücksichtigung der Annahmen zu Sohlanhebungen

Mit der Formel nach Eggelsmann kann die Reichweite der Auswirkungen von Stauanlagen und Sohlanhebungen eindimensional beurteilt werden. Die Ergebnisse der Szenariorechnungen der Grund- und Oberflächenwassermodellierung (s. Kap. 7.1.5) zeigen, dass eine eindimensionale Betrachtung größere Abweichungen zu den Modellierungsergebnissen aufweisen würde, weil im Falle der Modellierung die Auswirkungen nicht in jede Richtung gleich sind. Eine Prognose der absoluten Änderungen des Grundwasserstandes ist mit der Formel nach Eggelsmann nicht möglich.

Die Methodik wurde nach Heumann et al. (2020) dafür entwickelt, Entwässerungsreichweiten im Boden einzuschätzen, eine Anwendung auf Grundwasserleiter birgt größere Unsicherheiten. Die Handhabung der Formel nach Eggelsmann wurde als leicht eingeschätzt. In Kombination mit der Formel nach Rühlmann für Stauhaltungen bzw. vereinfachter Annahmen für Sohlanhebungen, kann die Stauweite im Grundwasser entlang des Gewässers prognostiziert werden. Für das Oberflächenwasser kann die absolute Änderung abgeschätzt werden, wobei hier sowohl im Falle von Stauhaltungen als auch bei Sohlanhebungen vereinfachte Annahmen getroffen werden. Die Formel nach Rühlmann wurde hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit aufgrund der Anzahl der notwendigen Eingangsgrößen als mittel und die vereinfachten Annahmen für Sohlanhebungen als einfach eingeschätzt.

In Hinblick auf die reine Betroffenheitsanalyse im Zusammenhang mit wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren ist die Abschätzung der Stauweite im Grundwasser mit der Formel nach Eggelsmann i. V. m. der Formel nach Rühlmann bzw. Annahmen für Sohlanhebungen im Falle eines separaten Staus vermutlich ausreichend, wobei die größeren Unsicherheiten bedingt durch die Anwendung im Grundwasser und eindimensionale Betrachtung berücksichtigt werden sollten. Für die Bewertung komplexerer Situationen, wie z. B. mehrere Stauanlagen, ist dieses Verfahren nicht geeignet.

7.2.2.2 Formel nach Hooghoudt-Ernst unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann unter Berücksichtigung der Annahmen zu Sohlanhebungen

Mit der Formel nach Hooghoudt-Ernst kann die Reichweite der Auswirkungen von Stauanlagen und Sohlanhebungen im Grundwasser eindimensional beurteilt werden. Die Ergebnisse der Szenariorechnungen der Grund- und Oberflächenwassermodellierung (s. Kap. 7.1.5) zeigen, dass eine eindimensionale Betrachtung größere Abweichungen zu den Modellierungsergebnissen aufweisen würde, weil bei der Modellierung die Auswirkungen nicht in jede Richtung gleich sind. Eine Prognose der absoluten Änderungen des Grundwasserstandes ist mit der Formel nach Hooghoudt-Ernst nicht möglich. Wie die Formel nach Eggelsmann wurde auch die Formel nach Hooghoudt-Ernst für Bodenschichten entwickelt (Eggelsmann 1981). Eine Übertragung auf Grundwasserleiter ist größeren Unsicherheiten unterlegen. Die Formel nach Hooghoudt-Ernst ist etwas komplexer als die Formel nach Eggelsmann, die Anwendbarkeit wurde dennoch als einfach eingestuft. In Kombination mit der Formel nach Rühlmann für Stauhaltungen bzw. vereinfachter Annahmen für Sohlanhebungen für Oberflächengewässer, könnte auch mit dieser Methodik die Stauweite im Grundwasser entlang des Gewässers abgeschätzt werden (Beurteilung der Anwendbarkeit dieser beiden Methodiken für Oberflächengewässer s. Kap. 7.2.2.1). Für das Oberflächengewässer kann die absolute Änderung abgeschätzt werden, wobei hier vereinfachte Annahmen getroffen werden.

In Hinblick auf die reine Betroffenheitsanalyse im Zusammenhang mit wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren ist die Abschätzung der Stauweite im Grundwasser mit der Formel nach Hooghoudt-Ernst i. V. m. der Formel nach Rühlmann bzw. den Annahmen für Sohlanhebung im Falle eines separaten Staus vermutlich ausreichend. Für die Bewertung komplexerer Situationen (z. B. mehrere Stauanlagen) wurde dieses Vorgehen als unzureichend eingeschätzt. Die durch die Anwendung auf das Grundwasser bedingte Unsicherheiten und die eindimensionale Betrachtung schränken die Genauigkeit dieser Methodik ein.

7.2.2.3 Brunnenformel nach Dupuit-Thiem unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann

Mit der Brunnenformel nach Dupuit-Thiem kann die absolute Änderung des Grundwasserstandes infolge der Errichtung einer Stauanlage bzw. eines Rückhaltebeckens beurteilt werden, wenn der Oberflächenwasserstand bekannt ist. Die absoluten Änderungen können eindimensional bestimmt werden. Die Ergebnisse der Szenariorechnungen der Grund- und Oberflächenwassermodellierung (s. Kap. 7.1.5) zeigen, dass eine eindimensionale Betrachtung größere Abweichungen zu den Modellierungsergebnissen aufweist, weil diese nicht in jede Richtung gleich sind. Die Anwendbarkeit der Formel nach Dupuit-Thiem wurde als einfach eingestuft. In Kombination mit der Formel nach Rühlmann für Stauhaltungen für Oberflächengewässer (Beurteilung der Anwendbarkeit dieser beiden Methodiken für Oberflächengewässer s. Kap. 7.2.2.1) könnte mit dieser Methodik die absolute Änderung des Grundwasserstandes und der Oberflächengewässer entlang des Gewässers vereinfacht abgeschätzt werden. Vereinfachte Annahmen zur Veränderung des Oberflächenwasserstan-

des infolge der Errichtung eines Rückhaltebeckens konnten nicht ausfindig gemacht werden, weshalb eine Beurteilung dieser Maßnahme nicht vereinfacht möglich ist.

In Hinblick auf die reine Betroffenheitsanalyse im Zusammenhang mit wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren ist diese Abschätzung im Falle eines separaten Staus vermutlich ausreichend. Um jedoch komplexere Situationen wie z. B. mehrere Stauanlagen gemeinsam zu bewerten, wurde dieses Vorgehen als unzureichend eingeschätzt. Auch müssen die Unsicherheiten aufgrund der eindimensionalen Betrachtung berücksichtigt werden.

7.2.2.4 Lösung stationärer Grundwassergleichungen unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann unter Berücksichtigung der Annahmen zu Sohlhebungen

Mit der Lösung der stationären Grundwassergleichungen in MS-Excel kann die absolute Änderung des Grundwasserstandes zweidimensional infolge von Wasserrückhaltemaßnahmen beurteilt werden, wenn die Änderung des Oberflächenwasserstandes bekannt ist. Die Anwendbarkeit wurde als mittel eingestuft, weil eine sichere Anwendung Erfahrung benötigt und verschiedene Eingangsgrößen implementiert werden müssen. In Kombination mit der Formel nach Rühlmann für Stauhaltungen bzw. vereinfachter Annahmen für Sohlhebungen für Oberflächengewässer (Beurteilung der Anwendbarkeit dieser Methoden s. Kap. 7.2.2.1) können die absoluten Auswirkungen von Stauhaltungen und Sohlhebungen im Grund- und Oberflächenwasser ermittelt werden, wobei vor allem im Falle der Oberflächengewässer vereinfachte Annahmen getroffen werden.

7.2.2.5 Kleinräumiges Grund- und Oberflächenwassermodell

Ein kleinräumiges Grundwasser- und Oberflächenwassermodell ist nach einem großräumigeren, numerischen Modell die Methodik mit der höchsten Genauigkeit für die Abschätzung von Auswirkungen der Wasserrückhaltemaßnahmen auf das Grund- und Oberflächenwasser; nur Feldversuche vor Ort würden eine höhere Genauigkeit liefern. Jegliches Modell birgt aufgrund von Vereinfachungen der Realität Unsicherheiten in sich. Die Anwendbarkeit wurde als schwer eingestuft. Zum einen werden für ein Modell verschiedene Eingangsgrößen benötigt und zum anderen muss die anwendende Person Kenntnisse und Erfahrung im Bereich der Modellierung besitzen. Es wurde eingeschätzt, dass eine Praxistauglichkeit in wasserrechtlichen Genehmigungsverfahren für Personen ohne Modellierungkenntnisse nicht gegeben ist.

7.2.3 Auswahl der praxistauglichen Werkzeuge

Im Rahmen der Recherche wurden fünf Werkzeuge bzw. Werkzeugkombinationen ausfindig gemacht, welche sich hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit, der Zielgröße, den möglichen zu betrachtenden Maßnahmen und Unsicherheiten unterscheiden (s. Tabelle 12). Die folgenden drei Werkzeugkombinationen bieten die einfachste Anwendbarkeit, sind jedoch größeren Unsicherheiten unterlegen: (1) Formel nach Eggelsmann i. V. m. Formel nach Rühlmann/Annahmen Sohlhebung; (2) Formel nach Hooghoudt-Ernst i. V. m. Formel nach Rühlmann/Annahmen Sohlhebung und (3) Brunnenformel nach Dupuit-Thiem i. V. m. Formel nach Rühlmann. Das kleinräumige Grund- und Oberflächenwasser liefert die die höchste Genauigkeit, kann jedoch nur von Personen mit

Modellierungserfahrungen eingesetzt werden. Daher wurde im vorliegenden Projekt das Werkzeug „stationäre Grundwassergleichungen in MS-Excel unter Berücksichtigung der Formel nach Rühlmann/Annahmen Sohlanhebung“ (im Folgenden „Prognose-Tool“ genannt) ausgewählt, um die Auswirkungen der vorgeschlagenen Maßnahmen in den restlichen vier Teileinzugsgebieten zu berechnen. Betrachtet werden können hiermit nur aktive und passive Stauhaltungen sowie Sohlanhebungen. Eine benutzerfreundliche Anleitung zur Anwendung des Prognose-Tools zur flächenhaften Berechnung der Anhebung des Grundwasserstandes enthält Anhang 3.

Ein Vergleich der Ergebnisse der Auswirkungsprognose mit dem Grund- und Oberflächenwassermodell sowie dem Prognose-Tool zeigte für die drei Stauhaltungen südöstlich von Handrup eine relativ gute Übereinstimmung (s. Abbildung 58).

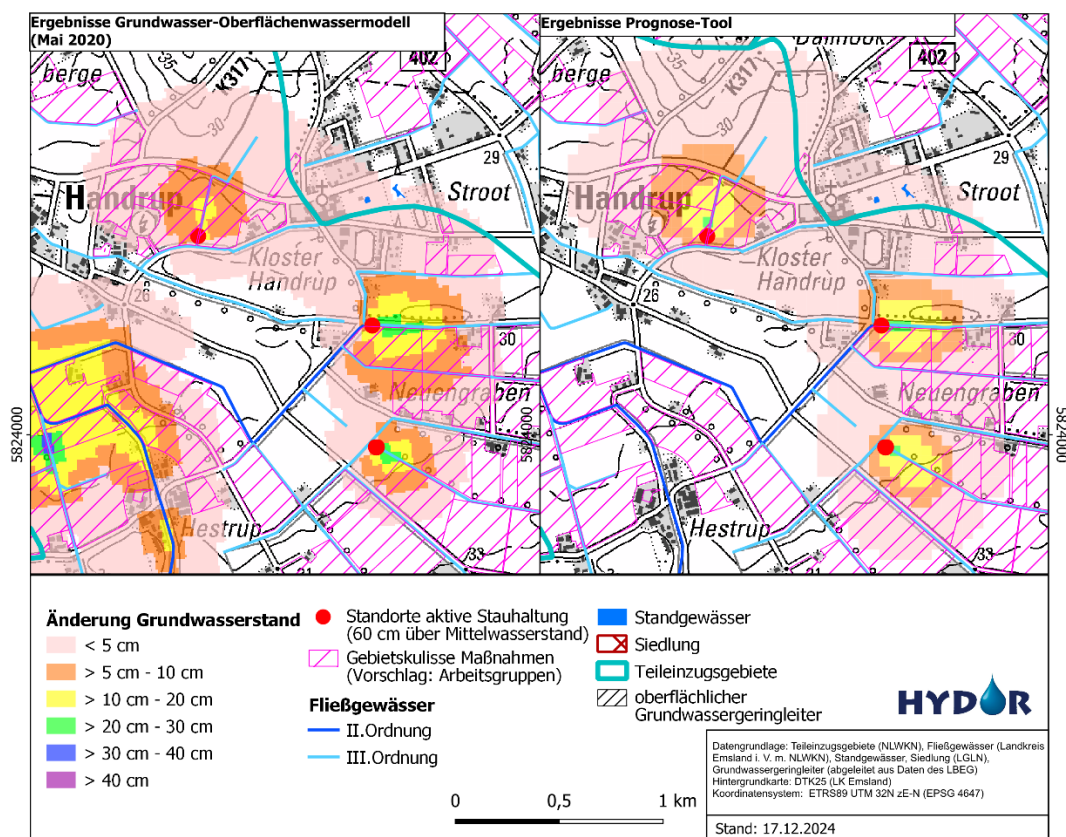


Abbildung 58: Vergleich der Auswirkungsprognose ermittelt mit dem Grund- und Oberflächenwassermodell und dem Prognose-Tool.

Beim numerischen Modell wurde zusätzlich Sohlanhebung, Umbau vorhandener Abstände und weitere Stauhaltungen berücksichtigt, weshalb sich auch südwestlich von Handrup Grundwasserstandsänderungen zeigten. Die Abweichungen nördlich des Neuengraben wurden vermutlich auch durch eine im Modell implementierte Sohlanhebung beeinflusst. Die größten Abweichungen bei Betrachtung der drei Stauhaltungen zeigten sich bei dem Stau direkt bei Handrup. Dies kann damit begründet werden, dass im Prognose-Tool vereinfacht immer von einer Überströmung der Stauhaltung ausgegangen wurde. Bei geringem Abfluss ist eine Überströmung jedoch nicht immer gegeben. Diese Unsicherheit sollte bei der Anwendung des Prognose-Tools bedacht werden.

Tabelle 12: Übersicht über recherchierte und grundsätzlich als praxistauglich bewerteten Werkzeugen

praxistaugliches Werkzeug	Zugehörige Einzelwerkzeuge	Anwendbarkeit	Zielgröße	Maßnahmen	Unsicherheiten
Formel nach Eggelsmann i. V. m. Formel nach Rühlmann/Annahmen Sohlanhebung	Formel nach Eggelsmann	einfach	Reichweite im Grundwasser; absolute Änderungen im Oberflächenwasser	aktive und passive Stauhaltungen, Anhebung der Grabensohle	Anwendung für Grundwasserleiter, eindimensionale Betrachtung
	Formel nach Rühlmann	mittel			Interpolation der absoluten Auswirkungen
	Annahmen Sohlanhebung	einfach			vereinfachte Annahmen
Formel nach Hooghoudt-Ernst i. V. m. Formel nach Rühlmann/Annahmen Sohlanhebung	Formel nach Hooghoudt-Ernst	einfach	Reichweite im Grundwasser; absolute Änderungen im Oberflächenwasser	aktive und passive Stauhaltungen, Anhebung der Grabensohle	Anwendung für Grundwasserleiter, eindimensionale Betrachtung
	Formel nach Rühlmann	mittel			Interpolation der absoluten Auswirkungen
	Annahmen Sohlanhebung	einfach			vereinfachte Annahmen
Brunnenformel nach Dupuit-Thiem i. V. m. Formel nach Rühlmann	Brunnenformel nach Dupuit-Thiem	einfach	absolute Änderungen im Grund- und Oberflächenwasser	aktive und passive Stauhaltungen	eindimensionale Betrachtung
	Formel nach Rühlmann	mittel			Interpolation der absoluten Auswirkungen
	Annahmen Sohlanhebung	einfach			vereinfachte Annahmen
stationäre Grundwassergleichungen in MS-Excel i. V. m. Formel nach Rühlmann/Annahmen Sohlanhebung	stationäre Grundwassergleichungen in MS-Excel	mittel	absolute Änderungen im Grund- und Oberflächenwasser	aktive und passive Stauhaltungen, Anhebung der Grabensohle	zweidimensionale Betrachtung
	Formel nach Rühlmann	mittel			Interpolation der absoluten Auswirkungen
	Annahmen Sohlanhebung	einfach			vereinfachte Annahmen
kleinräumiges Grund- und Oberflächenwassermodell	-	schwer	absolute Änderungen im Grund- und Oberflächenwasser	aktive und passive Stauhaltungen, Anhebung der Grabensohle, Rückhaltebecken, Remäandrierung	modelltypische Unsicherheiten bedingt durch Vereinfachung der Realität

7.2.4 Anwendung des ausgewählten praxistauglichen Werkzeuges

Das Prognose-Tool wurde für aktive und passive Stauhaltungen sowie Sohlanhebungen in den vier Teileinzugsgebieten „Oberlauf Lotter Beeke“, „Mittellauf Lotter Beeke“, „Unterlauf Lotter Beeke“ und „Scheilgraben“ angewandt. Aus Gründen der Praktikabilität wurden die Teileinzugsgebiete hierfür unterteilt. Betrachtet wurden ausschließlich Stauhaltungen und Sohlanhebungen. Die durch die Arbeitsgruppen vorgeschlagenen Standorte der Stauhaltungen wurden im Einzelfall optimiert. Grundlage der Optimierung war die „Gebietskulisse Maßnahmen“, hier sollte der Grundwasserstand angehoben werden. Im Folgenden wurden i. d. R. die optimierten Standorte dargestellt.

7.2.4.1 Oberlauf Lotter Beeke

Für die Anwendung des Prognose-Tools für Stauhaltungen wurde das Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke in fünf Gebiete unterteilt (s. Abbildung 59). Die Auswirkungsprognose der fünf Gebiete wird in den folgenden Karten dargestellt (s. Abbildung 60 bis Abbildung 64).

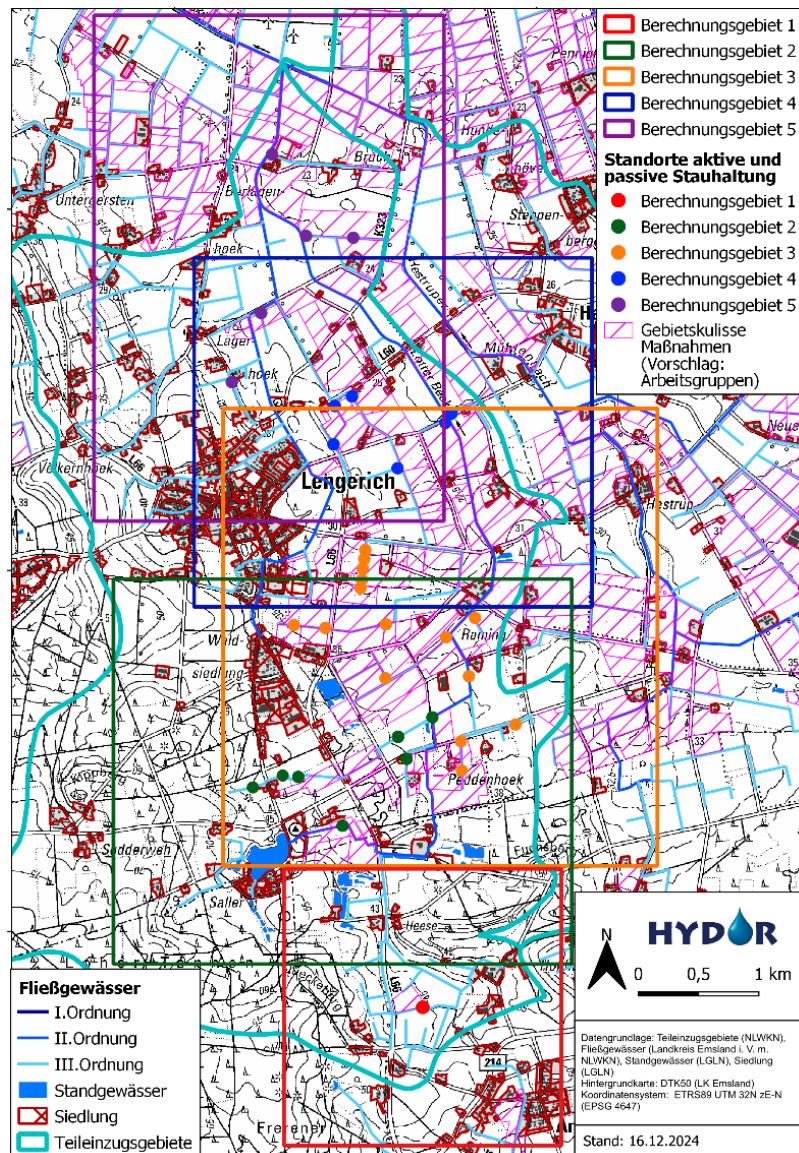


Abbildung 59: Teilgebiete für die Anwendung des Prognose-Tools für aktive und passive Stauhaltungen im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.

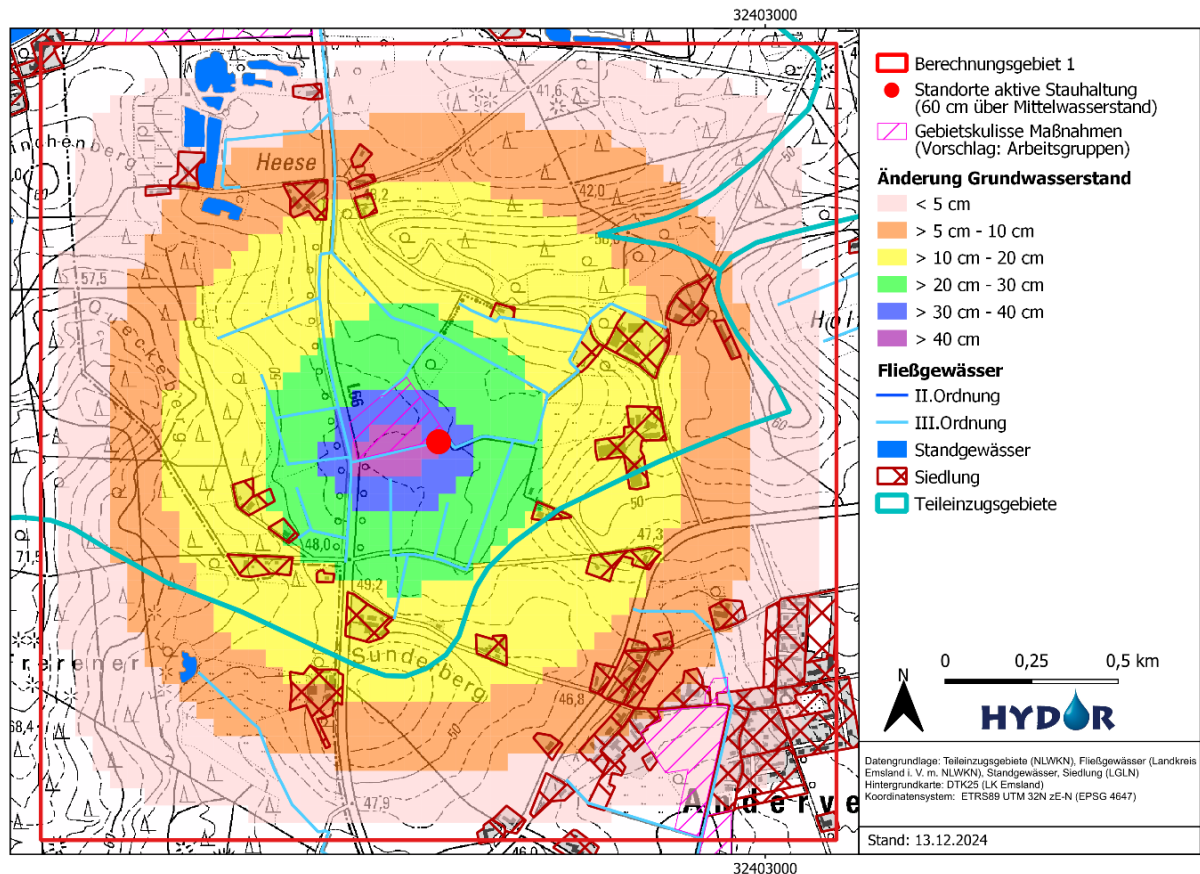


Abbildung 60: Auswirkungsprognose für Gebiet 1 Oberlauf Lotter Beeke.

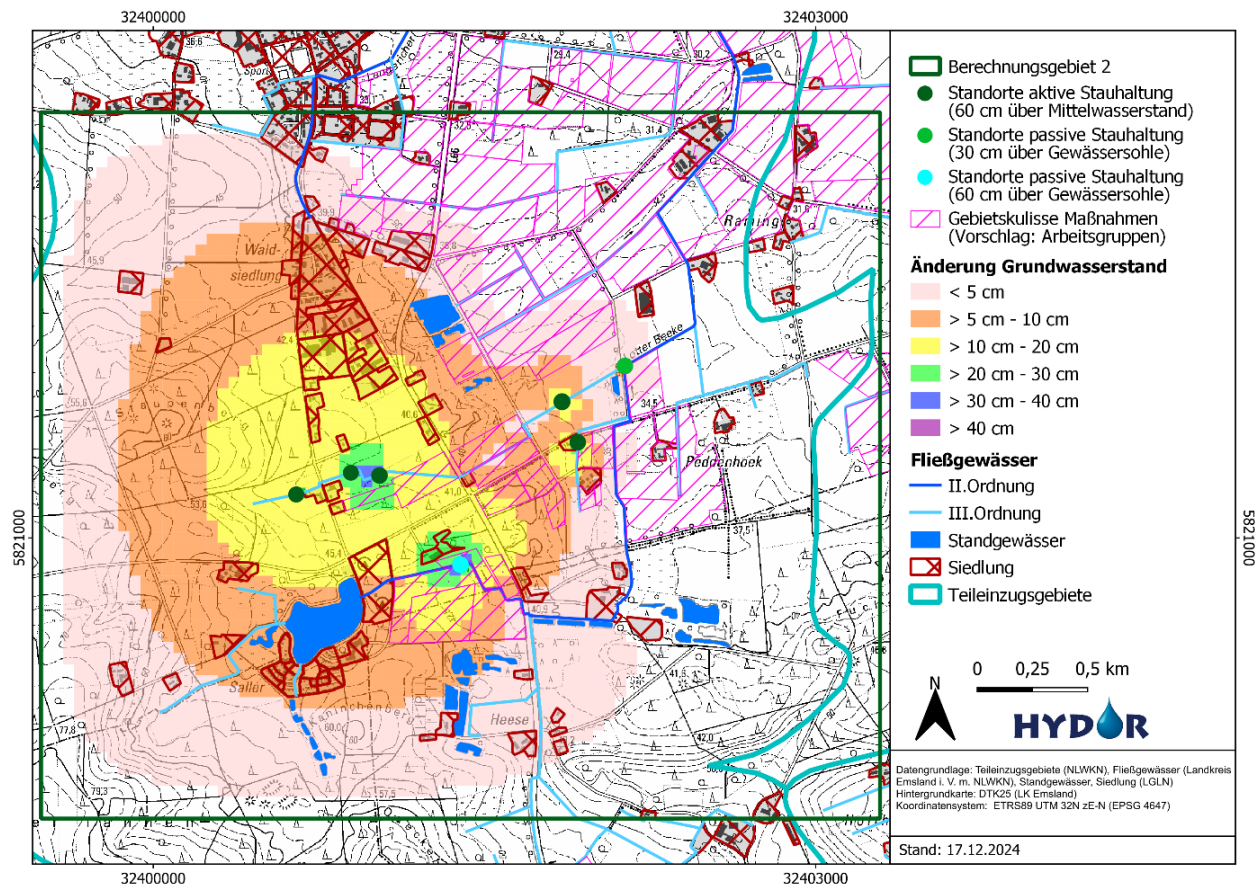


Abbildung 61: für Gebiet 2 im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.

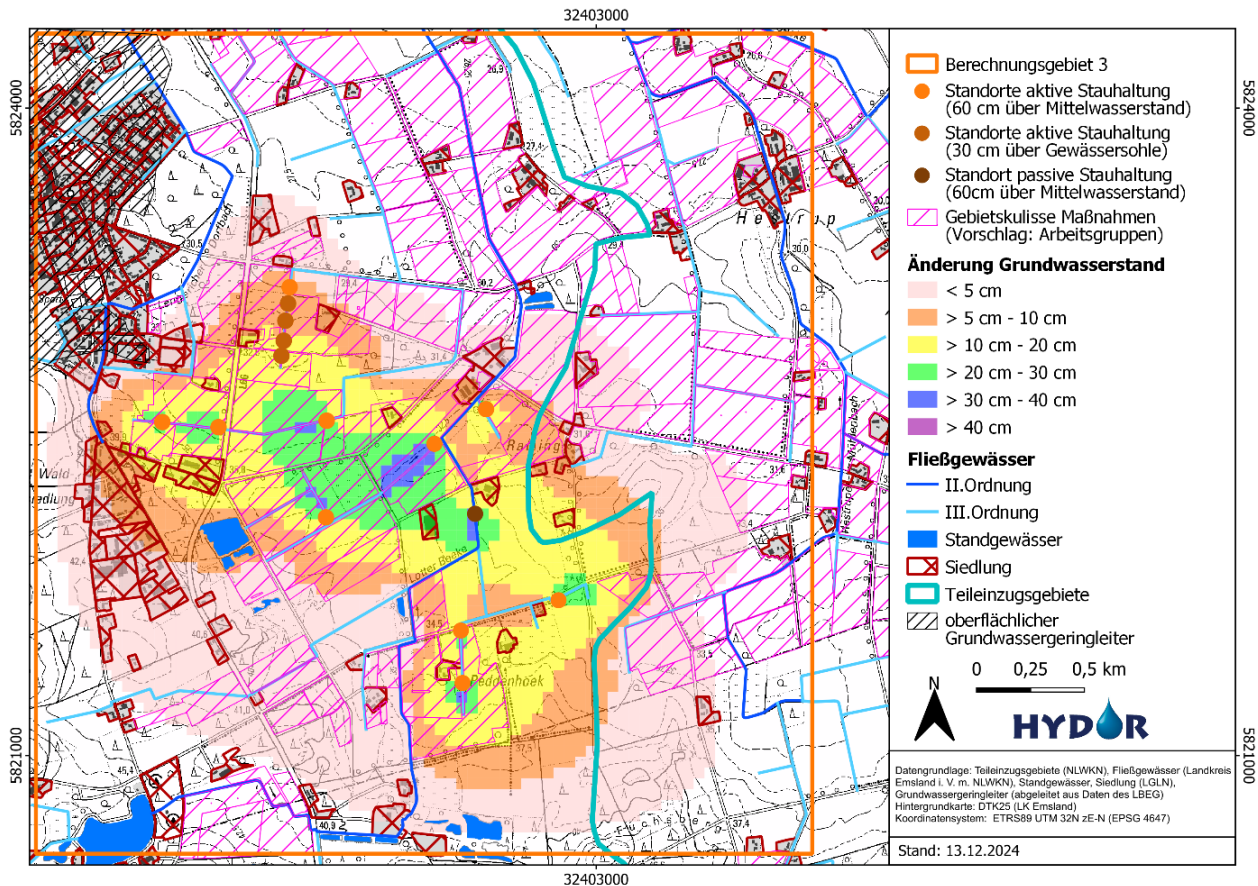


Abbildung 62: Auswirkungsprognose für Gebiet 3 Oberlauf Lotter Beeke.

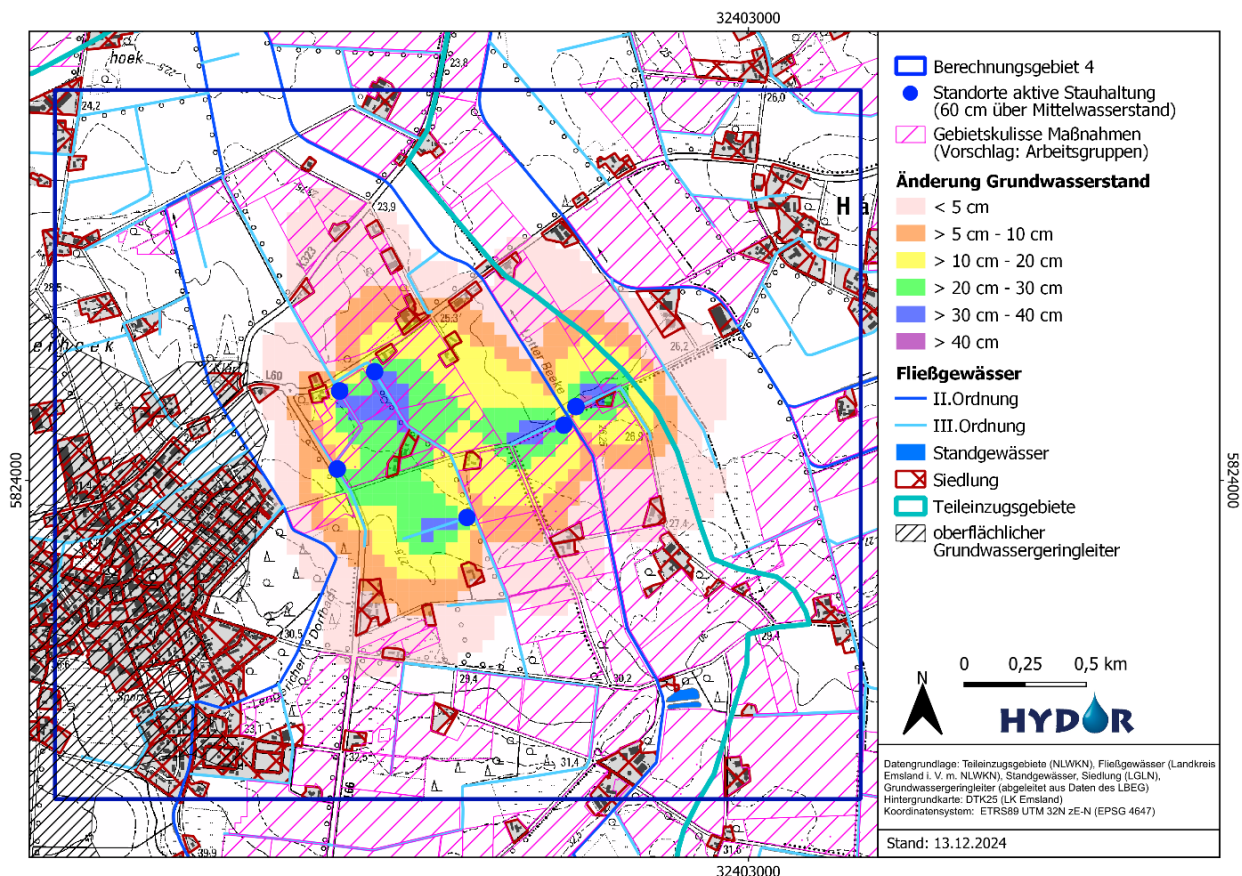


Abbildung 63: Auswirkungsprognose für Gebiet 4 Oberlauf Lotter Beeke.

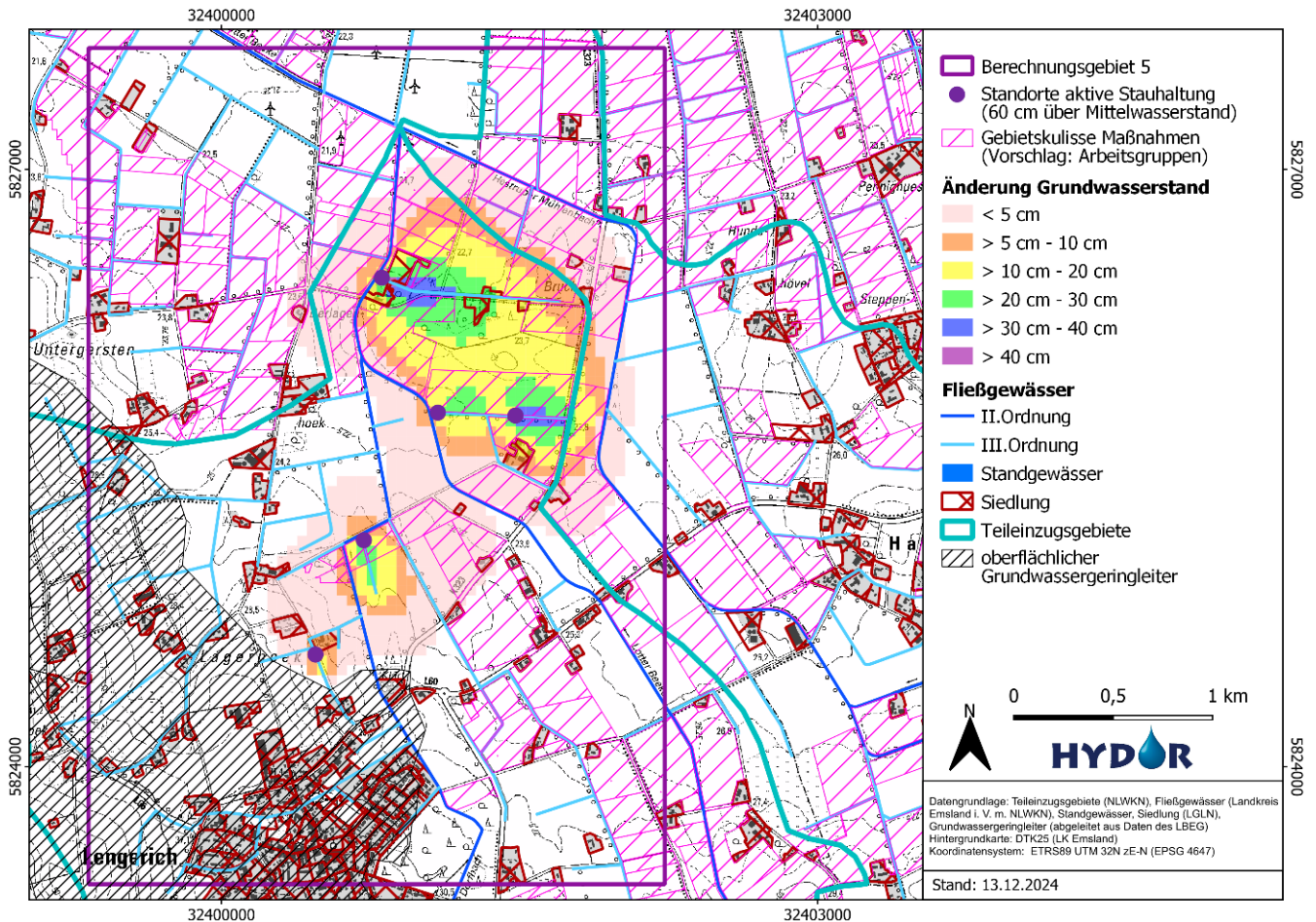


Abbildung 64: Auswirkungsprognose für Gebiet 5 Oberlauf Lotter Beeke.

Im Gebiet 1 sind die Auswirkungen deutlich zu erkennen, der Grund hierfür liegt in lokal erhöhten Raten der Grundwasserneubildung, die einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hat. Lokal werden Aufhöhungen bis > 40 cm westlich des Maßnahmenstandortes erreicht. Bis zu einem Radius von etwa 500 m um den Standort beträgt die Aufhöhung noch 10 cm. In den anderen Teilgebieten sind die prognostizierten vertikalen Änderungen des Grundwasserstandes deutlich geringer, vor allem bei den Maximalbeträgen. Erhöhungen > 30 cm sind flächenhaft nur untergeordnet erkennbar, auch hier sind wieder die Grundwasserneubildungsraten der wesentliche Treiber für die berechneten Kulissen. Untergeordnet wirkt sich auch die Anordnung der Maßnahmenstandorte untereinander auf das Ergebnis aus. Bei räumlich isolierten Standorten, z. B. im Südwesten des Gebietes 5 im Oberlauf der Lotter Beeke ist auch die Ausdehnung der berechneten Kulisse deutlich kleiner.

Neben den Auswirkungsprognosen für Stauhaltungen wurden auch die Effekte der Sohl-anhebungen betrachtet. Abbildung 65 bis Abbildung 67 zeigen das Ergebnis. Hier sind die flächenhaften Auswirkungen der Anhebungen des Grundwasserstandes deutlich niedriger im Vergleich zu den Maßnahmen des Gewässeranstaues. Eine Wirkung von mehr als fünf bzw. maximal zehn Zentimetern Grundwasseranstieg in der Fläche ist nicht oder nur sehr untergeordnet erkennbar.

In den nachfolgenden Karten der Auswirkungen wird auf eine textliche Erläuterung der Berechnungsergebnisse verzichtet; die Karten sind in sich anhand der Legenden verständlich.

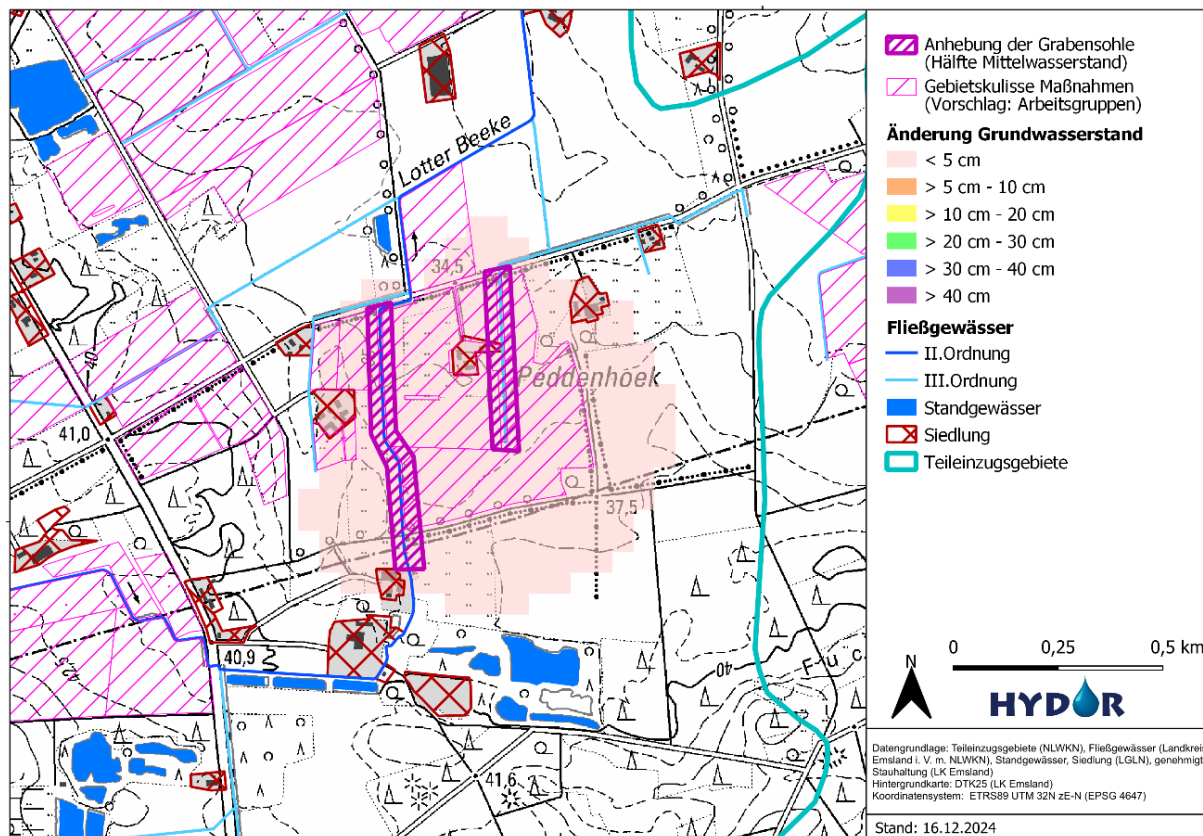


Abbildung 65: Auswirkungsprognose für Sohlanhebungen (Halbierung mittlere Wassersäule) in ausgewählten Gewässern III. Ordnung im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.

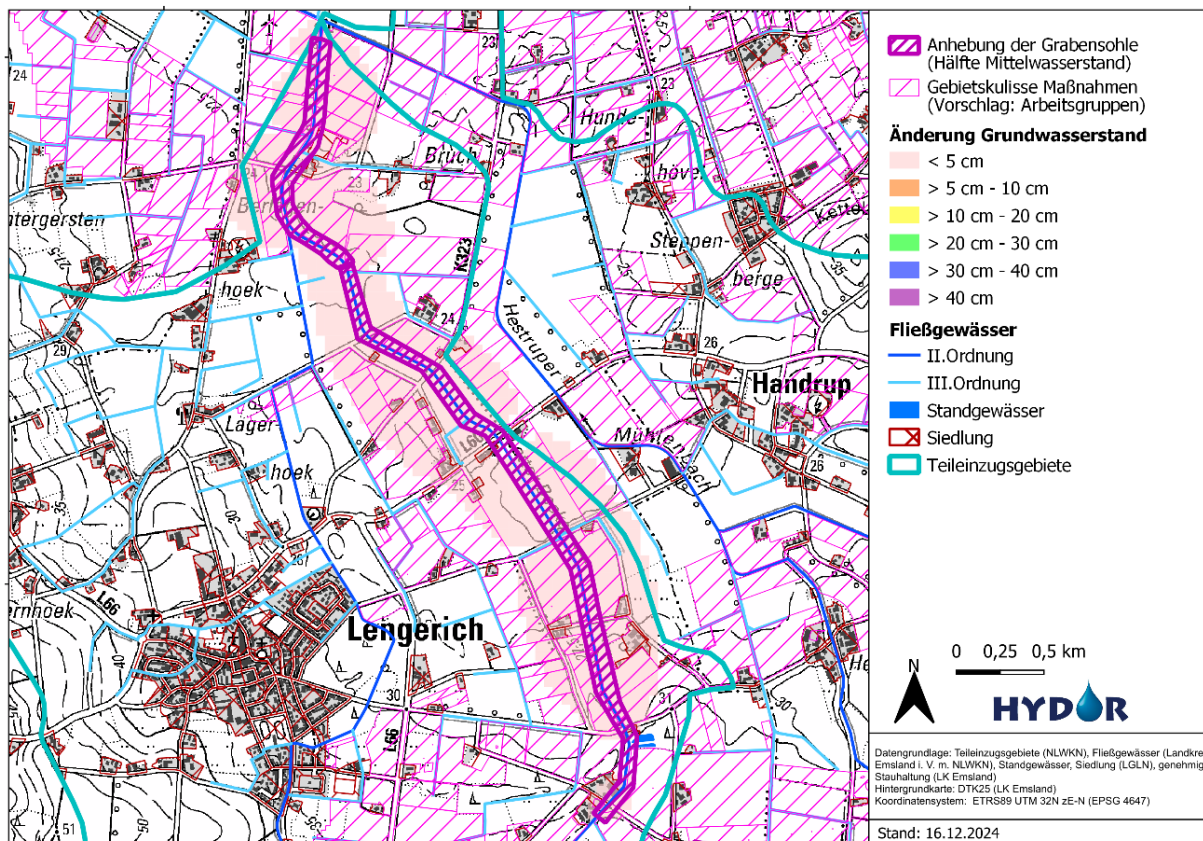


Abbildung 66: Auswirkungsprognose für Sohlanhebungen (Halbierung mittlere Wassersäule) in ausgewählten Gewässern II. Ordnung im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke.

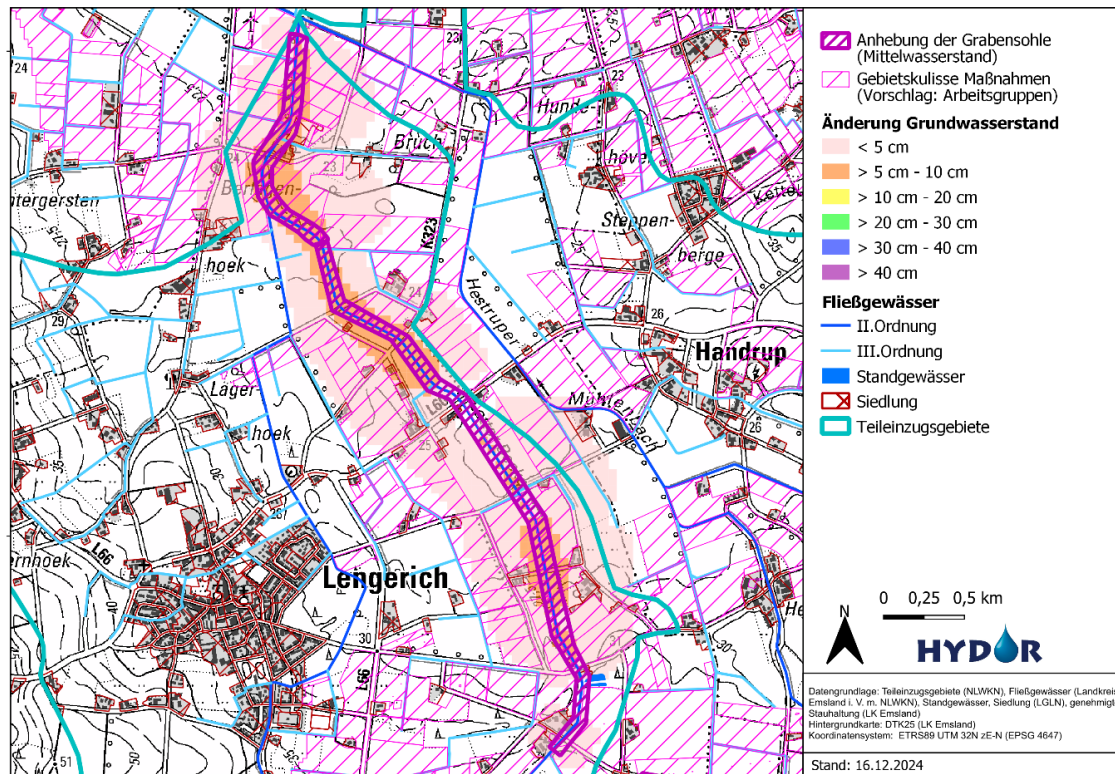


Abbildung 67: Auswirkungsprognose für Sohlanhebungen (Halbierung mittlere Wassersäule) in ausgewählten Gewässern II. Ordnung im Teileinzugsgebiet Oberlauf Lotter Beeke

7.2.4.2 Mittellauf Lotter Beeke

Für die Anwendung des Prognose-Tools für Stauhaltungen wurde das Teileinzugsgebiet Mittellauf Lotter Beeke in fünf Teilgebiete unterteilt, s. dazu die Karte in Abbildung 68.

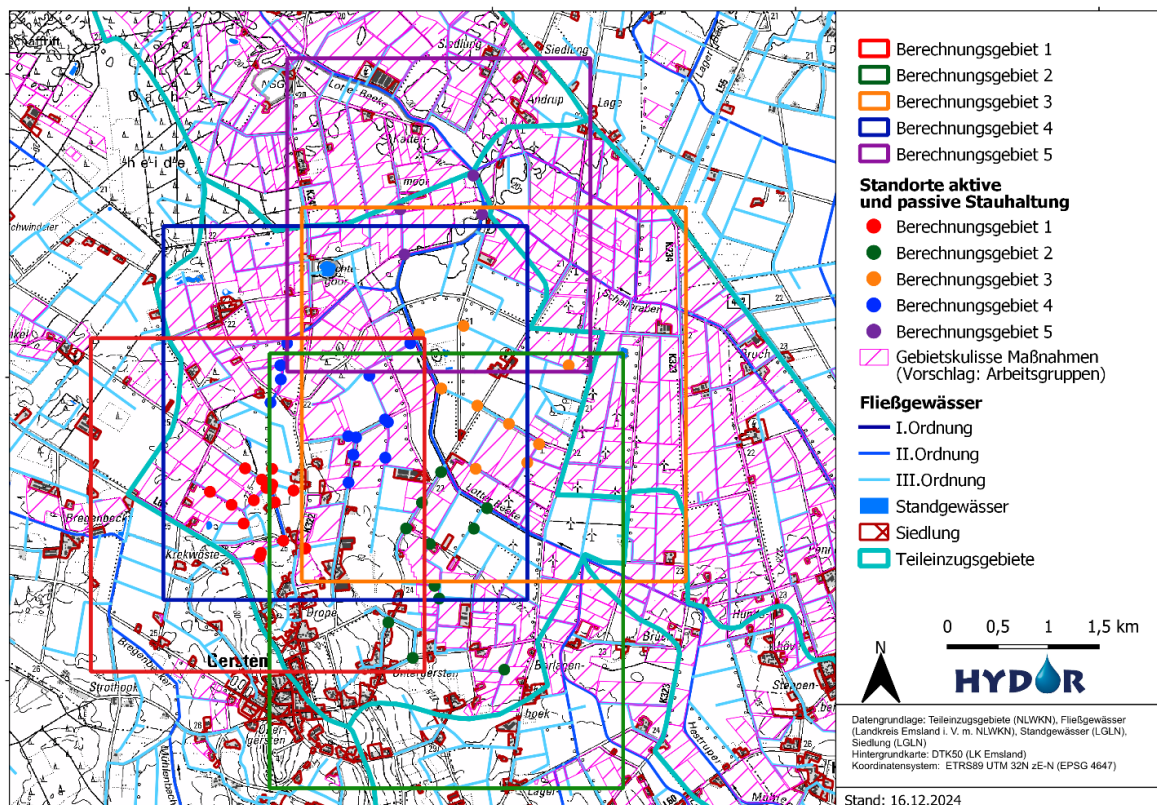


Abbildung 68: Teilgebiete für aktive und passive Stauhaltungen im Mittellauf Lotter Beeke

Die Auswirkungsprognose der fünf Gebiete zeigen die Karten in Abbildung 69 bis Abbildung 73.

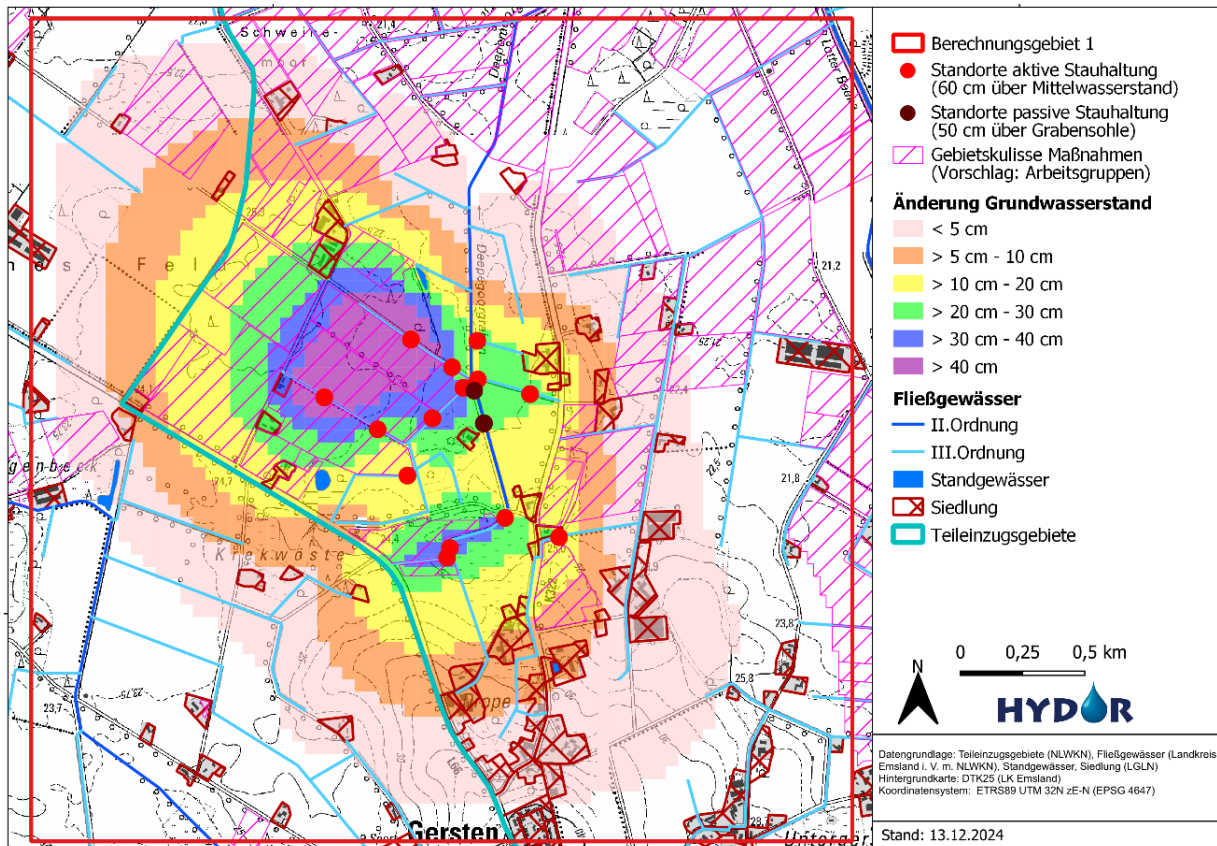


Abbildung 69: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 1 Mittellauf Lotter Beeke.

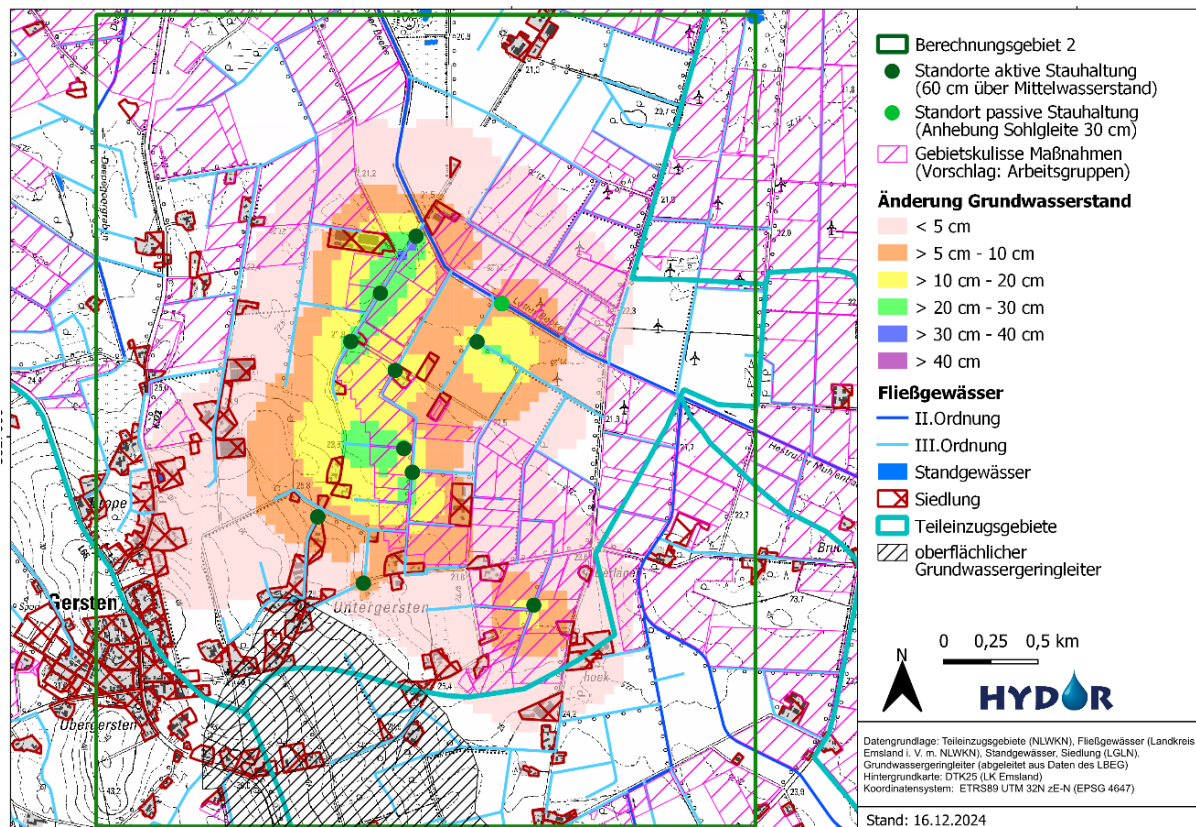


Abbildung 70: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 2 Mittellauf Lotter Beeke.

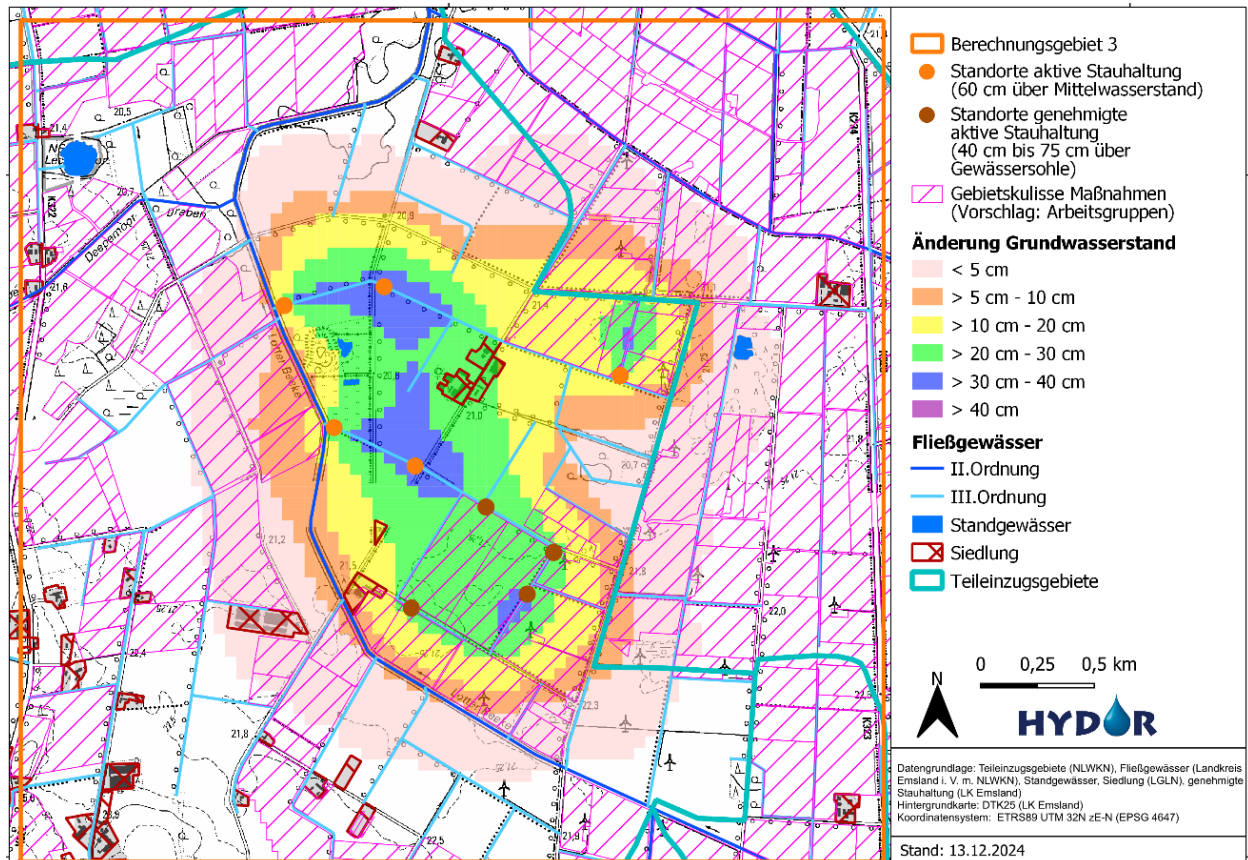


Abbildung 71: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 3 Mittellauf Lotter Beeke.

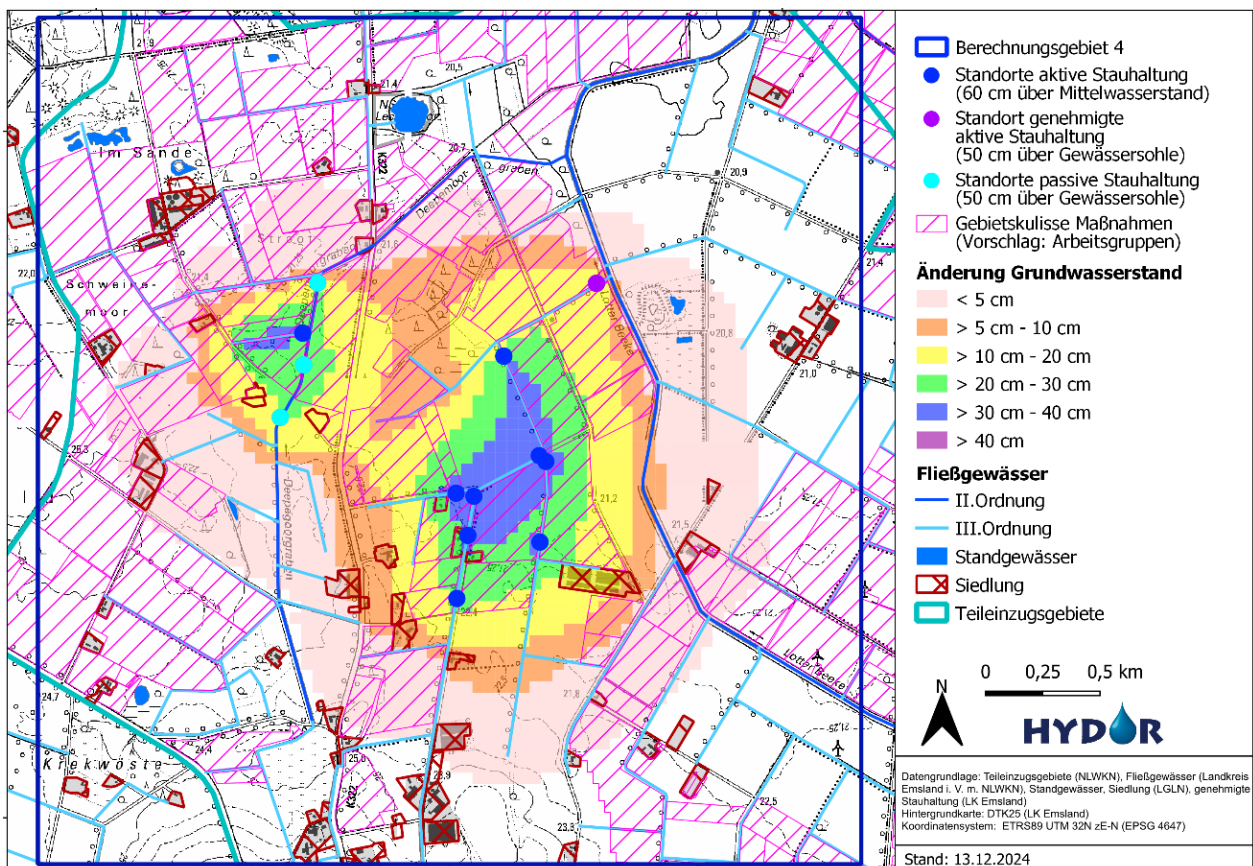


Abbildung 72: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 4 Mittellauf Lotter Beeke.

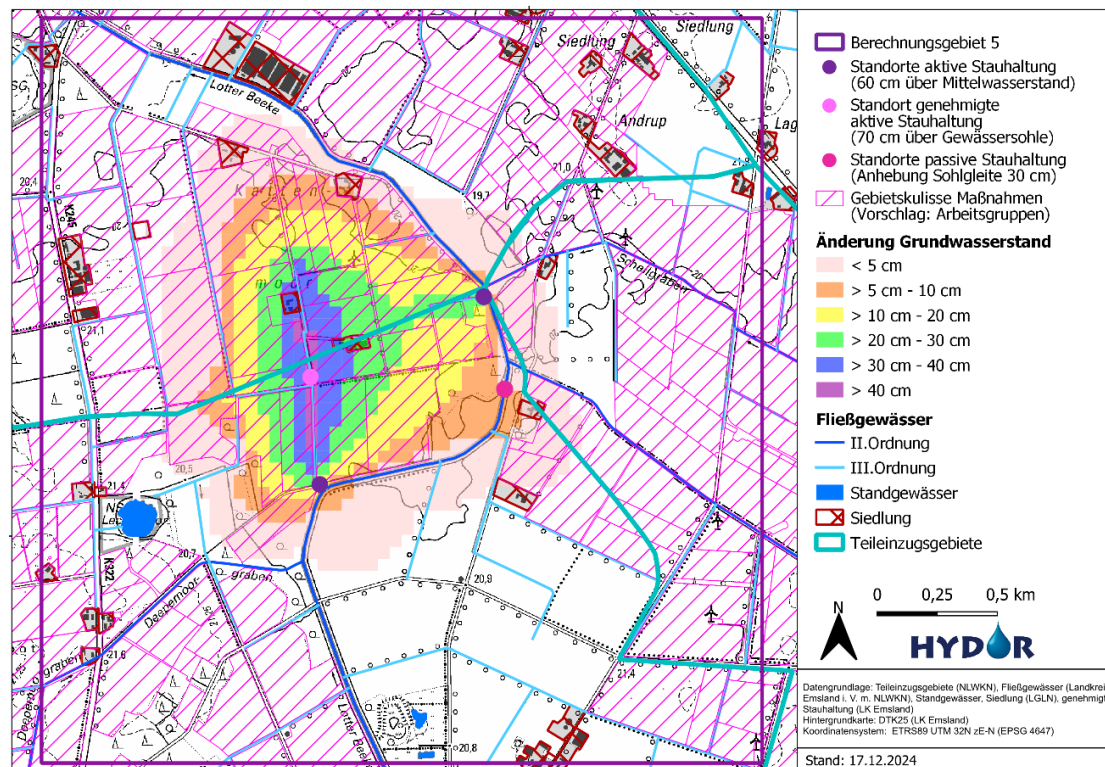


Abbildung 73: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 5 Mittellauf Lotter Beeke.

Neben den Auswirkungsprognosen für Stauhaltungen wurden auch die Effekte der Sohlanhebungen betrachtet (Abbildung 74).

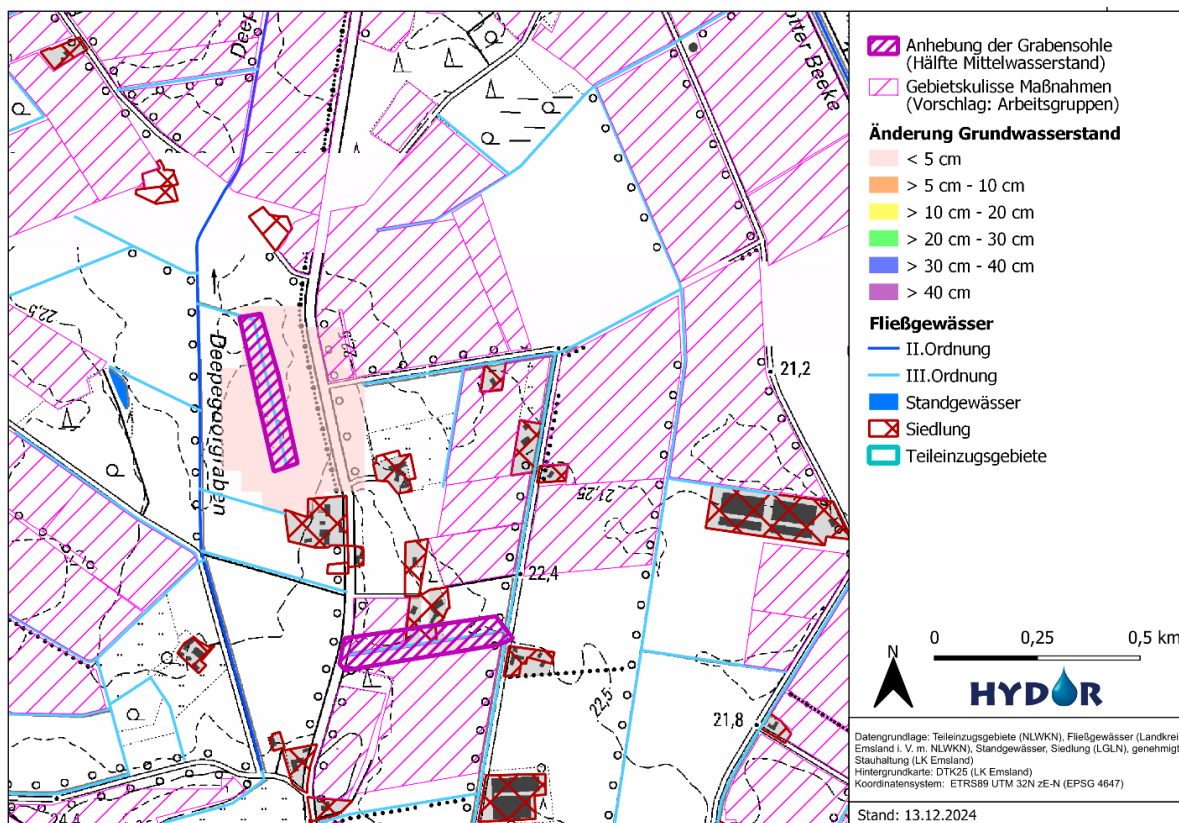


Abbildung 74: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Sohlanhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Teileinzugsgebiet Mittellauf Lotter Beeke.

7.2.4.3 Unterlauf Lotter Beeke

Für die Anwendung des Prognose-Tools für Stauhaltungen wurde das Teileinzugsgebiet Unterlauf Lotter Beeke in drei Gebiete unterteilt (s. Abbildung 75). Die Auswirkungsprognose der drei Gebiete wird im Folgenden dargestellt (s. Abbildung 76 bis Abbildung 78).

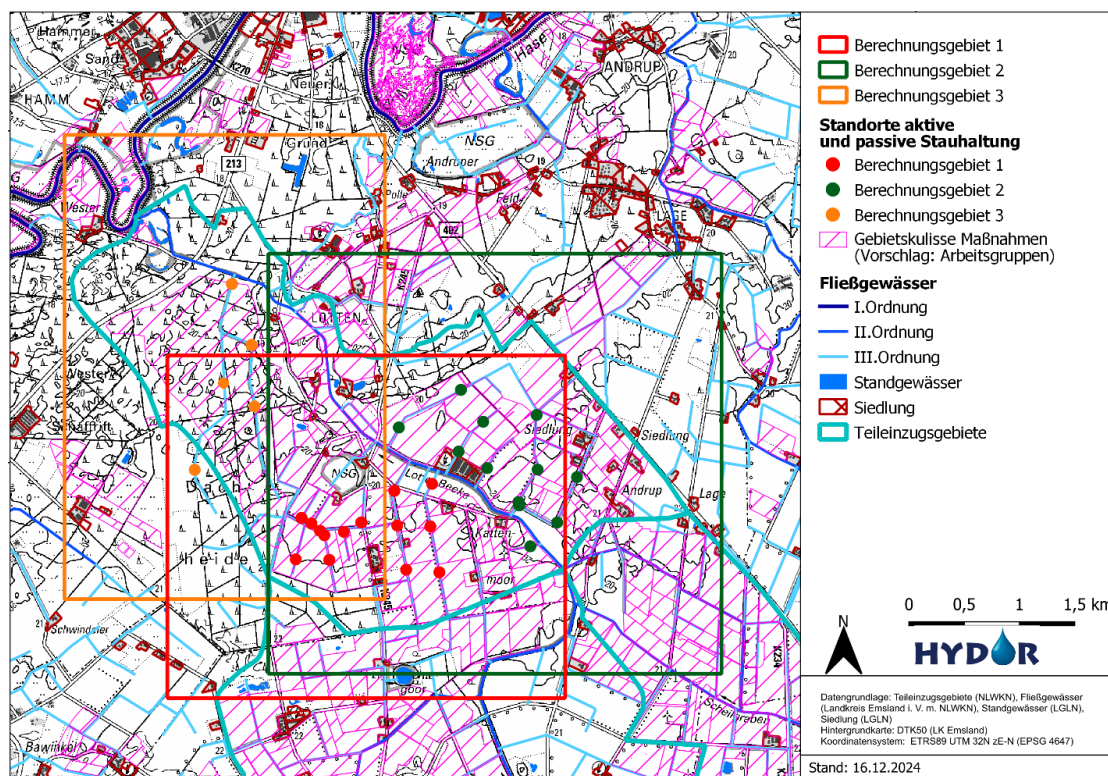


Abbildung 75: Teilgebiete für aktive und passive Stauhaltungen im Unterlauf Lotter Beeke.

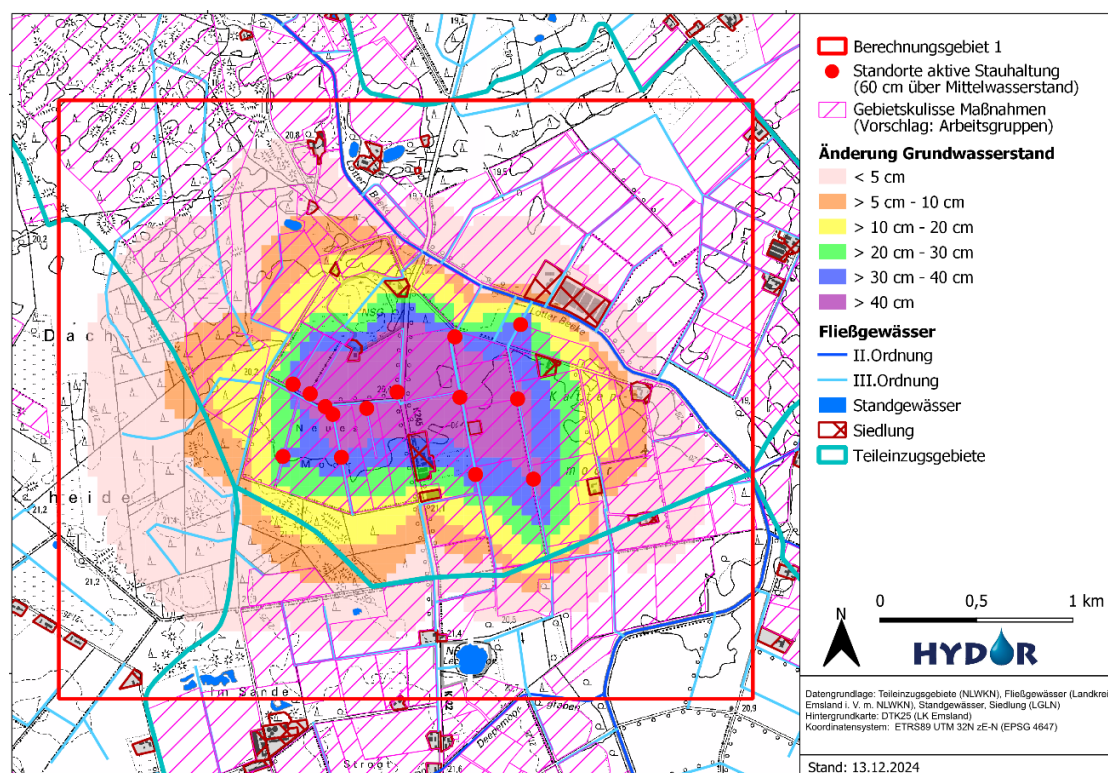


Abbildung 76: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 1 Unterlauf Lotter Beeke

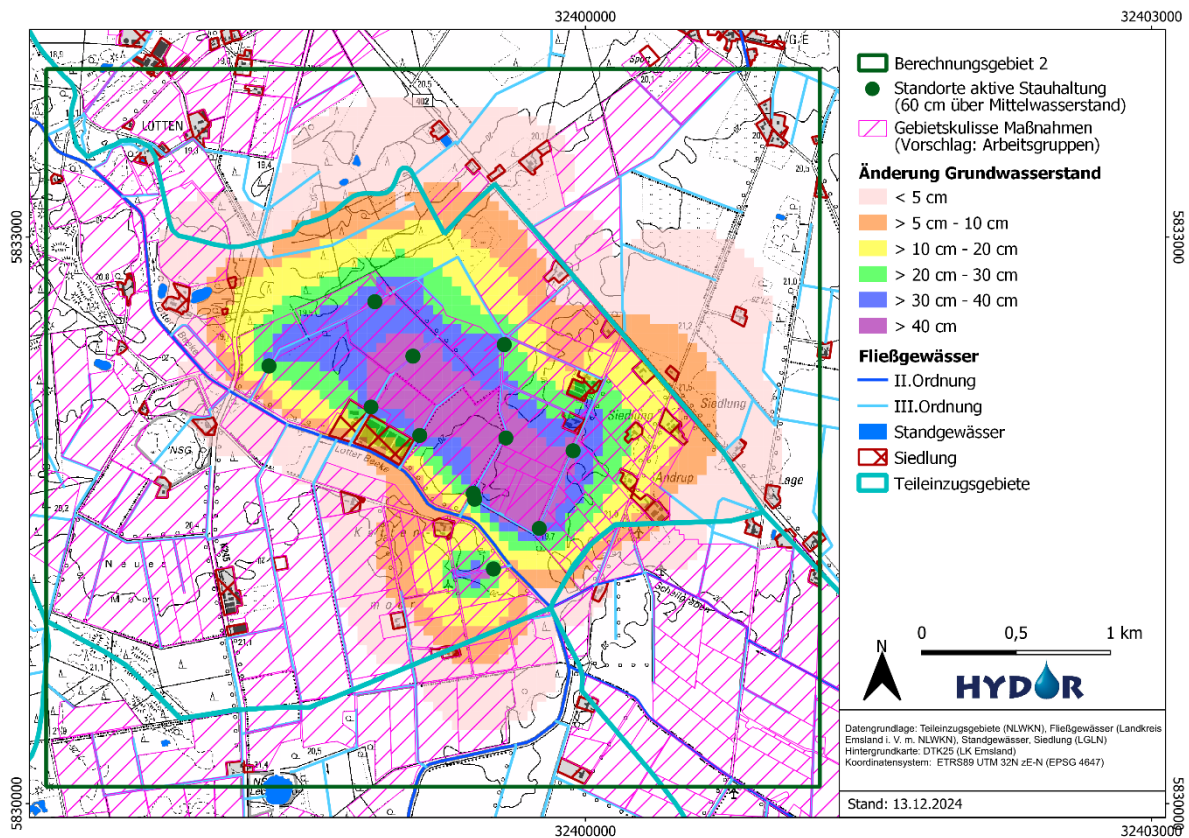


Abbildung 77: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 2 Unterlauf Lotter Beeke.

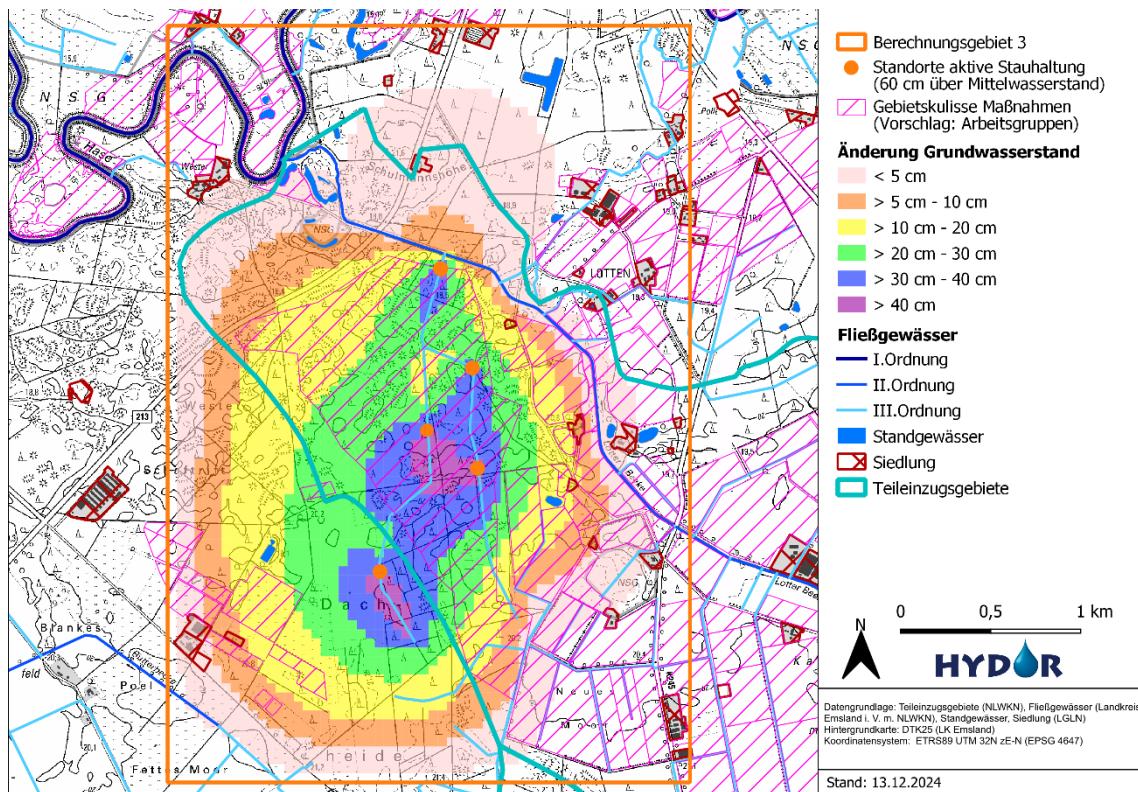


Abbildung 78: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 3 Unterlauf Lotter Beeke.

Neben den Auswirkungsprognosen für Stauhaltungen wurden auch die Effekte der Sohlhebungen betrachtet (s. Abbildung 79).

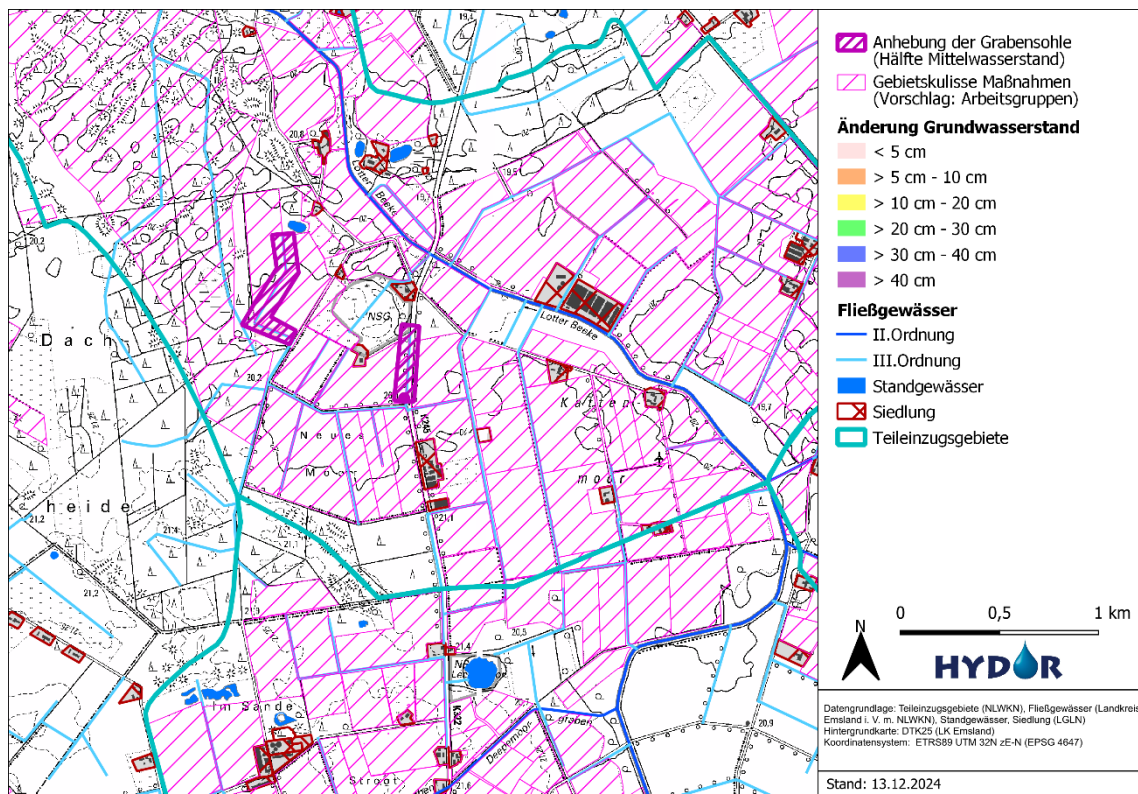


Abbildung 79: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Sohl-anhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Teileinzugsgebiet Unterlauf Lotter Beeke.

7.2.4.4 Scheilgraben

Für die Berechnung zu Stauhaltungen wurde das Teileinzugsgebiet Scheilgraben dreifach unterteilt (s. Abbildung 80). Die Auswirkungsprognose der drei Gebiete zeigt Abbildung 81 bis Abbildung 83.

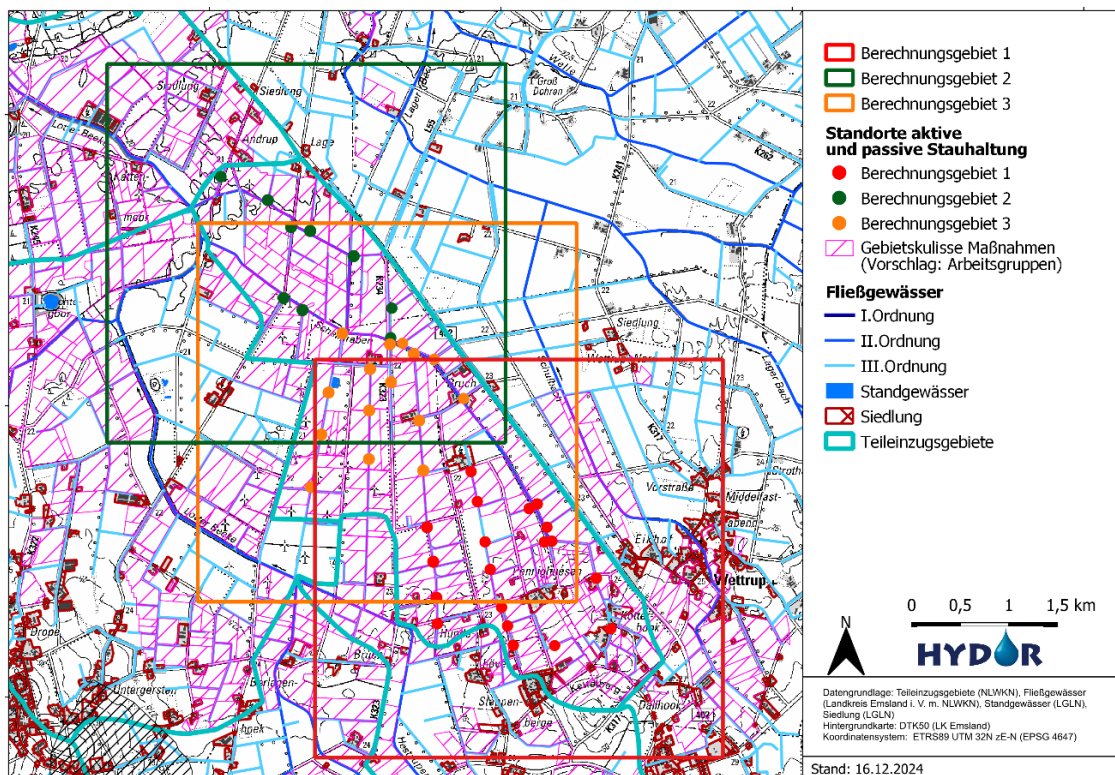


Abbildung 80: Teilgebiete für aktive und passive Stauhaltungen im Scheilgraben

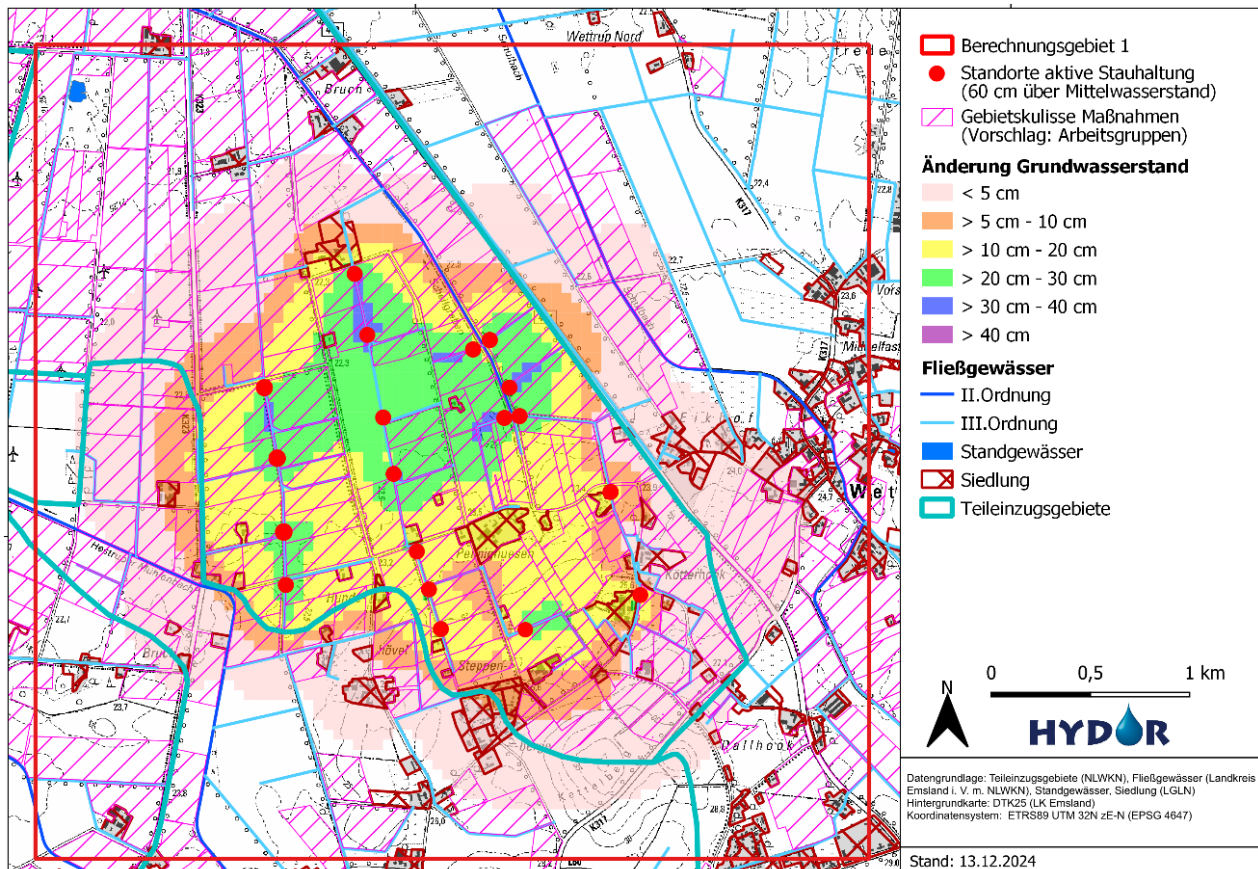


Abbildung 81: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 1 Scheilgraben.

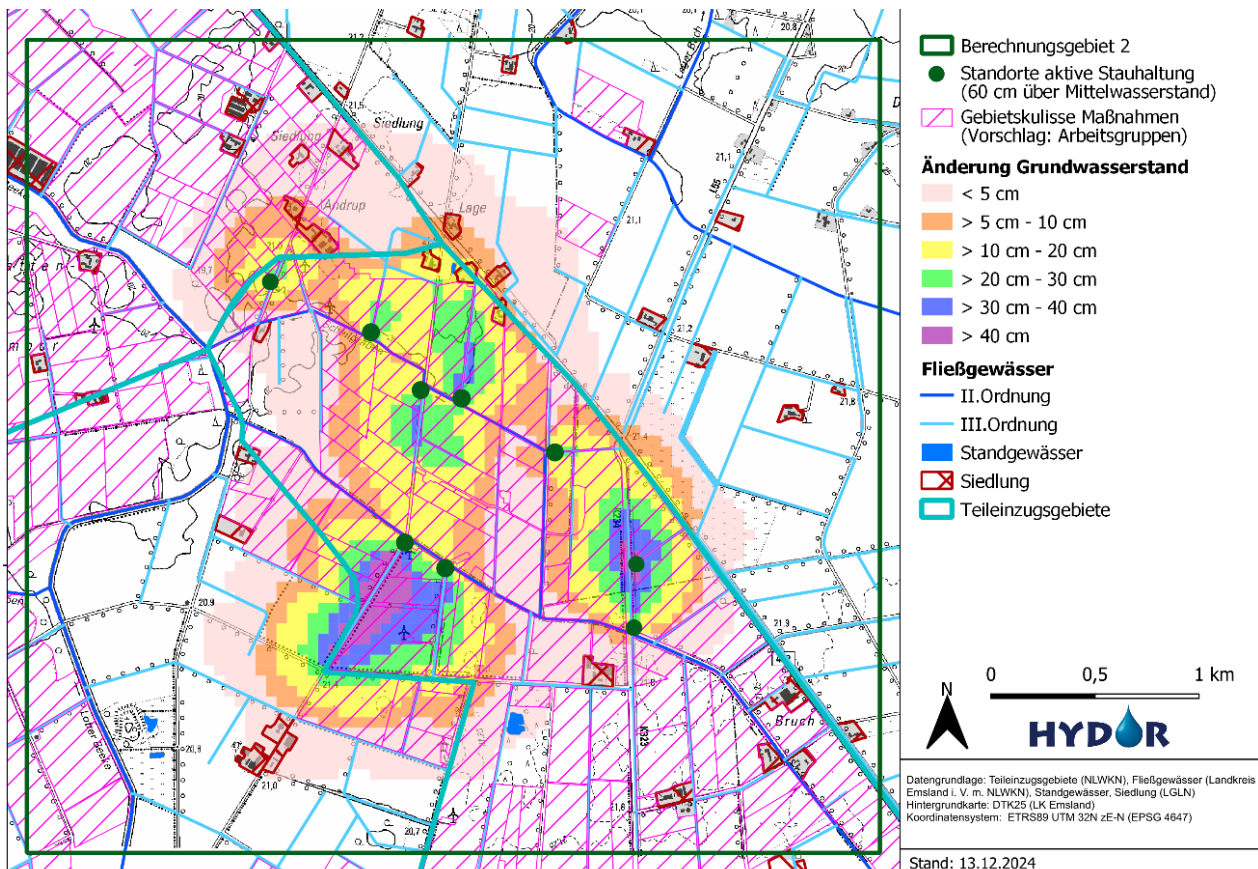


Abbildung 82: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 2 Scheilgraben.

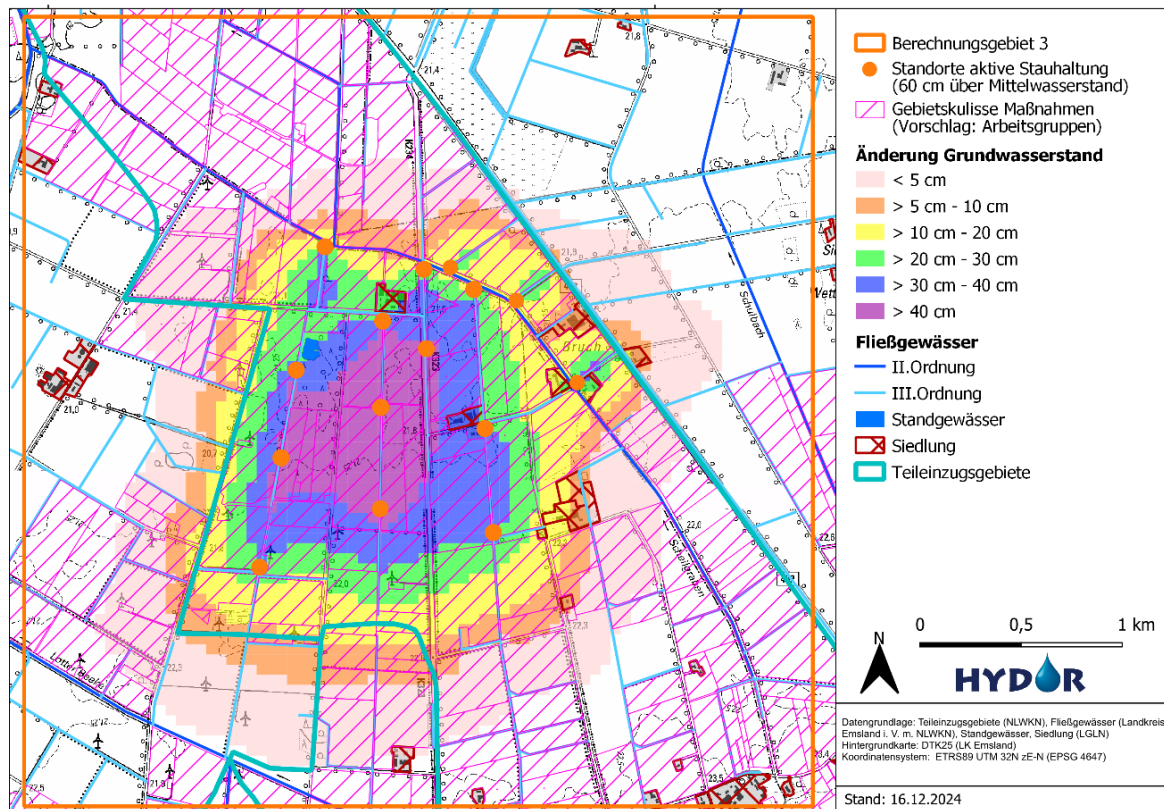


Abbildung 83: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Gebiet 3 Scheilgraben.

Neben den Auswirkungsprognosen für Stauhaltungen wurden auch die Effekte der Sohlanhebungen betrachtet (s. Abbildung 84).

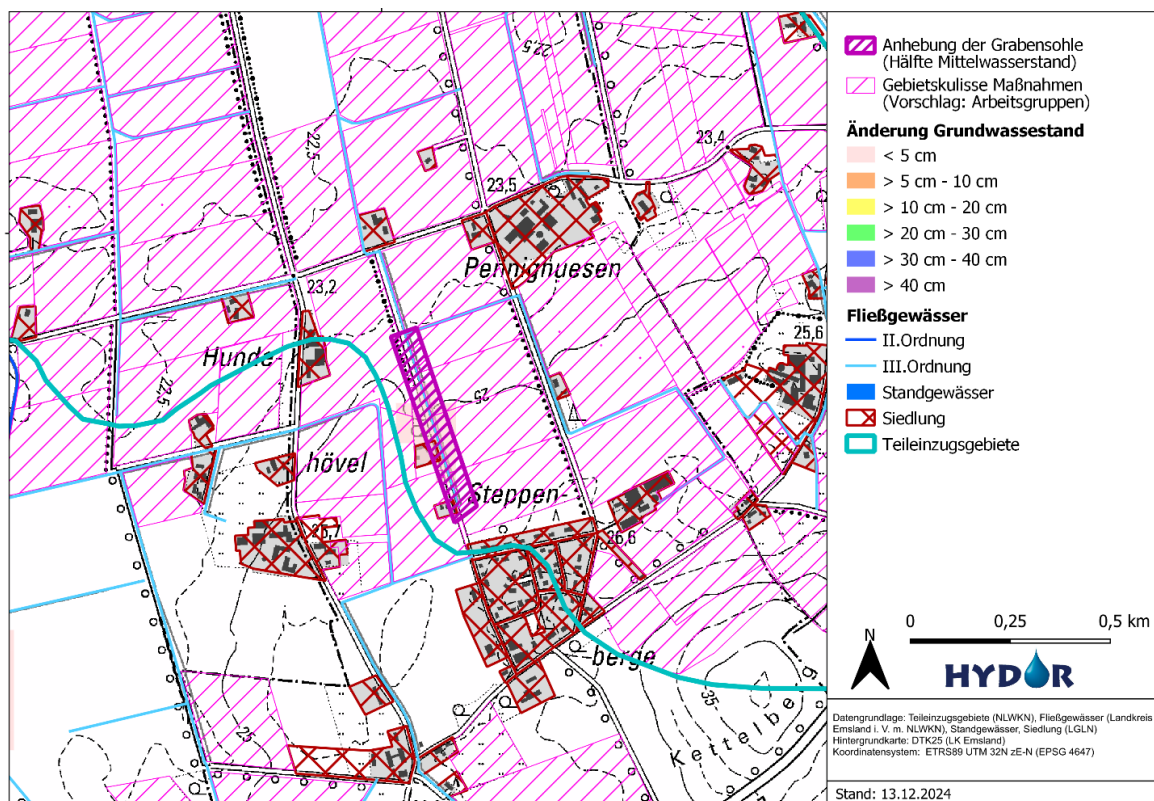


Abbildung 84: Auswirkungsprognose des Prognose-Tools für Sohlanhebungen auf Hälfte des Wasserstandes im Teileinzugsgebiet Scheilgraben.

8. Ausblick und Empfehlungen

Die im Projektverlauf durch die Arbeitsgruppen priorisierten Maßnahmen umfassen Maßnahmen zur aktiven und passiven Stauhaltung in den Gräben (s. Abbildung 86 zur Übersicht und Anhang 4 im Detail je Teileinzugsgebiet). Die Auswirkungen von hälftigen Sohlanhebungen sind im Vergleich zu Stauhaltungen (60 cm über Mittelwasser) gering. Dies liegt vor allem in der geringen Dimensionierung der Sohlanhebungen aufgrund der geringen Wasserstände in den Gräben begründet. Die Dimension wurde so gewählt, um ein Trockenfallen der Gräben zu vermeiden. Bei Sohlanhebungen sollte bedacht werden, dass es sich um keine regulierbare Maßnahme handelt. Eine zu hohe Dimensionierung kann in Hochwasserzeiten, wie im Winter 2023/2024, zu unerwünschten Vernässungen von Flächen führen. Für Staue werden aufgrund der höheren Flexibilität aktive, saisonal variabel einstellbare Stauhaltungen empfohlen, damit kann die Stauhöhe an die aktuelle Wasserstandssituation bzw. das -dargebot variabel eingestellt werden. Tabelle 13 zeigt die Anzahl der Maßnahmen.

Tabelle 13: Anzahl der Standorte pro Maßnahmenart und Teileinzugsgebiet (L. B.: Lotter Beeke)

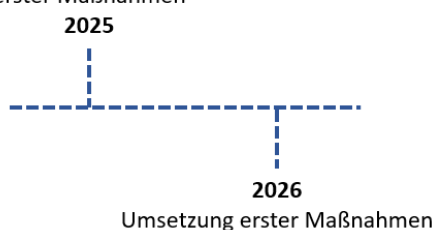
Teileinzugsgebiet	Anzahl Standorte				
	aktive Stauhaltung (Priorität 1-4)	passive Stauhaltung (Priorität 1, 4)	Anhebung Grabensohle (ohne Priorität)	Rückhaltebecken (ohne Priorität)	Remäandrierung (ohne Priorität)
Hestruper Mühlenbach	27	7	4	1	0
Oberlauf L. B.	31	3	4	3	2
Mittellauf L. B.	40	7	2	0	0
Unterlauf L. B.	31	0	1	0	0
Scheilgraben	43	0	0	0	0
Gesamt	172	17	11	4	2

Neben der zeitlichen Priorisierung der Maßnahmen in den Teileinzugsgebieten wurde auch untersucht, ob mit der Umsetzung der Maßnahmen im Oberlauf oder im Unterlauf des Einzugsgebietes der Lotter Beeke begonnen werden sollte oder ob dies fachlich nicht von Bedeutung ist. Gemäß dem Verständnis des hydrologischen Systems des Einzugsgebietes der Lotter Beeke besitzen die Fließgewässer in hydrologischen Normalzuständen – also nicht zu Hochwasserspitzenzeiten – eine für das Grundwasser entwässernde Wirkung, sie sind deren Vorfluter. Das Zurückhalten von Wasser im Oberlauf führt zu einem geringeren Abfluss und ggf. geringerem Wasserstand im Unterlauf. Ein geringerer Wasserstand im Fließgewässer führt wiederum zu einem höheren Gradienten zwischen Grundwasser- und Oberflächenwasserstand, was also einen erhöhten Zustrom von Grund- ins Oberflächenwasser bedeutet und eine Absenkung des Grundwasserstandes bewirkt. In den Modellrechnungen beim Hestruper Mühlenbaches zeigt sich dieser Effekt im Falle von Stauhaltungen und Sohlanhebungen nicht bzw. nur sehr geringfügig. Die verursachten Wasserstandsänderungen im Oberflächenwasser sind quantitativ zu gering. Wasserrückhaltmaßnahmen im Oberlauf, welche größere Wassermengen im Gebiet halten – z. B. nicht abgedichtete Rückhaltebecken mit lokaler Versickerung – können ggf. zu Veränderungen der Grundwasserstände im Unterlauf führen. Lokal bewässernde Bedingungen der Fließgewässer treten besonders an Standorten mit Querbauwerken (z. B. Abstürze) auf. Dort sind die Auswirkungen auf das Grundwasser vermutlich größer.

Dies beschränkt sich insbesondere auf die Nahbereiche der Gewässer 2. Ordnung. Aber auch an diesen Standorten wurde im Rahmen der Modellierung für Stauhaltungen und Sohlanhebungen keine oder nur eine sehr geringfügige Absenkung des Grundwasserstandes festgestellt. Eine fachlich begründete Priorisierung der Maßnahmenumsetzung in Bezug auf die fünf Teileinzugsgebiete kann also nicht erfolgen. Vielmehr sollten die von den Projektarbeitsgruppen ausgearbeiteten und empfohlenen Maßnahmen mit der höchsten Priorität innerhalb der jeweiligen Teileinzugsgebiete (s. Abbildung 86) beantragt, genehmigt und umgesetzt werden. Nach Umsetzung der Maßnahmen sollten die Auswirkungen unter Betrachtung der Wasserstände an vorhandenen oder neu einzurichtenden Oberflächenwassermessstellen mithilfe eines geeigneten Monitorings überprüft werden. Auf diese Weise kann abgeschätzt werden, ob sich negative Auswirkungen bedingt durch Wasserrückhaltemaßnahmen im Oberlauf im Unterlauf zeigen. Eine Anpassung der Stauziele kann im Ergebnis dieses Arbeitsschrittes notwendig sein.

Der LK Emsland hat am 30.09.2024 die „Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Umsetzungsprojekten im Wassermengenmanagement“ beschlossen⁹. Die Förderung kann für Personalausgaben genutzt werden, um Wassermengenmanagementmaßnahmen vorzubereiten und zu planen sowie umzusetzen. Gefördert werden 50 % zuwendungsfähiger Ausgaben. Weiterhin kann in Verbindung mit dieser personellen Förderung eine Förderung für die Sachausgaben investiver Projekte beantragt werden, hier 25 % der zuwendungsfähigen Ausgaben, höchstens jedoch 10.000 Euro. Auch nach der FörderRL WMM (2024) können investive Ausgaben gefördert werden. Der nächste Schritt hin zur Maßnahmenumsetzung besteht in der Beantragung der wasserrechtlichen Erlaubnisse für prioritäre Maßnahmen und der anschließenden Genehmigung durch die Wasserbehörde. Im Vorfeld ist die Trägerschaft der Maßnahmen sowie die Finanzierung inkl. der

Beantragung und Genehmigung
erster Maßnahmen



o.g. Fördermöglichkeiten festzulegen. Bei baldigem Durchführen des o.g. Schrittes ist eine Umsetzung erster Maßnahmen ab 2025 denkbar (s. Abbildung 85).

Abbildung 85: Zeitplan zur Maßnahmenumsetzung.

Im Sinne einer qualitativen Kosten-Nutzen-Abwägung nach Anhang 7 des Handlungsleitfaden zur Planung und Umsetzung lokaler Wassermengenmanagementgebiete (HYDOR 2021; dort: Tabelle 1: Übersicht der Wirkungsindikatoren und Umsetzungshemmnisse für die Bewertung von Wasserrückhaltemaßnahmen) können gutachterlich die priorisierten Maßnahmen der aktiven Stauhaltungen gegenüber den nicht priorisierten weiteren Maßnahmen an Gewässern dritter und ggf. zweiter Ordnung (in prinzipieller Übereinstimmung mit MU 2024) empfohlen werden. Eine konkrete Abwägung einzelner Wirkungsindikatoren (z. B. eine Verbesserung des mengenmäßigen und chemischen Zustandes des Grundwasserkörpers gegenüber einer potentiellen Verschlechterung des ökologischen Zustandes des Gewässers) kann jedoch nur auf den Einzelfall bezogen durchgeführt werden.

⁹ <https://www.emsland.de/wirtschaft-struktur/klimaschutz/umwelt-und-natur/foerderprogramm-wassermengenmanagement/foerderprogramm-wassermengenmanagement.html>

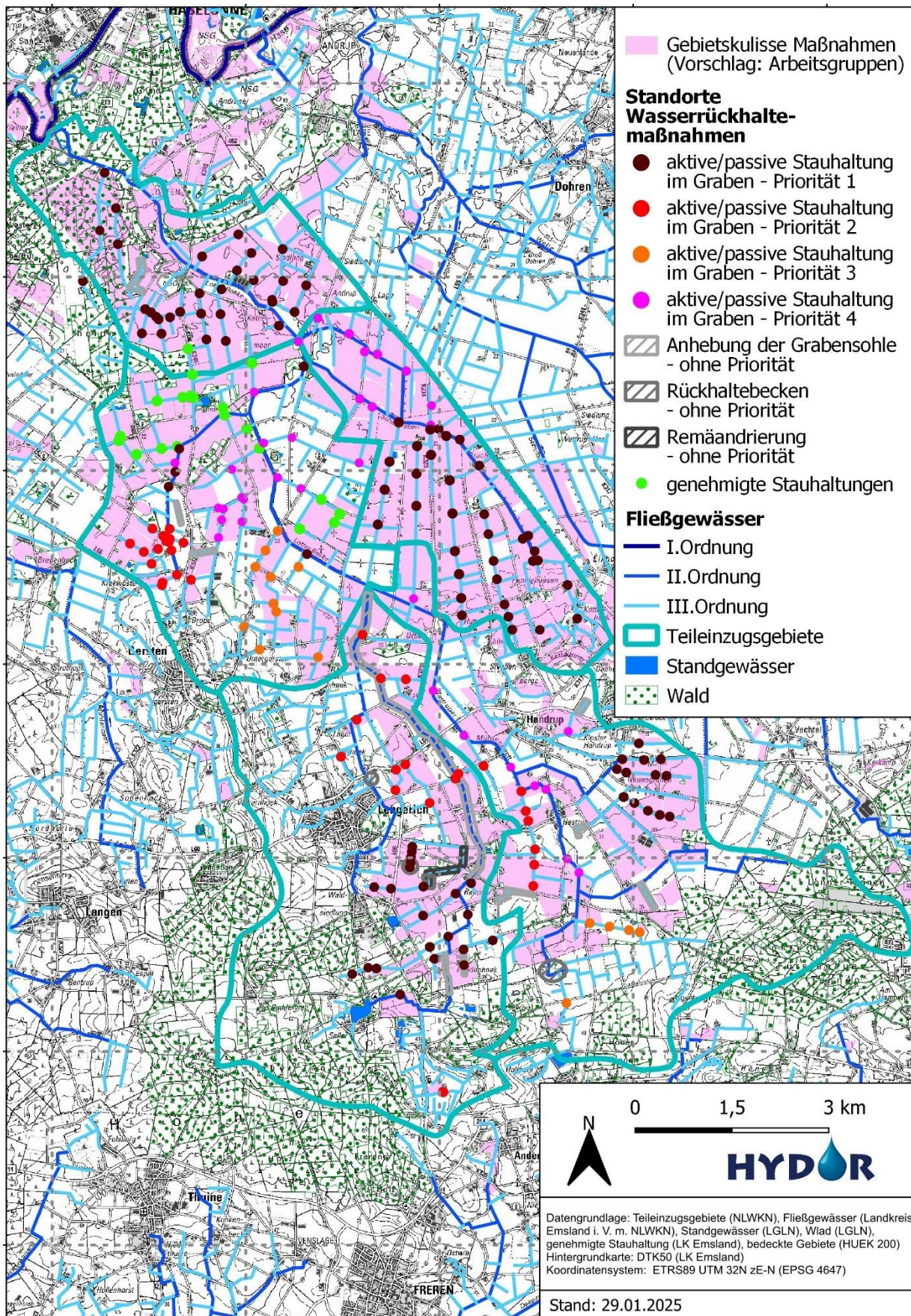


Abbildung 86: Übersicht zur Priorisierung der Maßnahmenumsetzung in den fünf Teileinzugsgebieten

9. Zusammenfassung

Ziel des durchgeführten Projekts zum nachhaltigen Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke war es, geeignete Wasserrückhaltemaßnahmen an Fließgewässern zu identifizieren, zu verorten und hinsichtlich ihrer flächenhaften Auswirkungen modellhaft zu bewerten.

Zunächst wurde eine Bestandsaufnahme vorhandener Daten durchgeführt und das Gebiet charakterisiert. Betrachtet wurden u. a. Topographie, Landnutzung, Klima, Hydrologie und Hydrogeologie. Unter Anwendung der recherchierten Daten wurde der Flurabstand des Grundwassers für drei Zustände (Niedrigwasser, Mittelwasser, Hochwasser) bestimmt. Der Flurabstand für den Niedrigwasser-Zustand und weitere Daten (u. a. Landnutzung) wurden genutzt, um Flächen mit Maßnahmenbedarf abzugrenzen. Diese „Gebietskulisse Maßnahmen“ wurde anschließend im Rahmen der für das vorliegende Projekt durchgeführten Arbeitsgruppentreffen durch Ortskenntnisse der Landbewirtschafter angepasst. Die Identifizierung und erste Verortung von geeigneten Maßnahmen erfolgte anhand des Projekts „Emslandplan 2.0“ und wiederholten Arbeitsgruppentreffen in 2023 und 2024. Folgende vier Maßnahmenarten wurden vorgeschlagen: (1) aktive und passive Stauhaltung im Graben, (2) Anhebung der Grabensohle, (3) Remäandrierung und (4) Rückhaltebecken.

Für die Auswirkungsprognose im Teileinzugsgebiet des Hestruper Mühlenbachs wurde ein gekoppeltes Grund- und Oberflächenwassermodell - „MODFLOW-NWT“ für das Grundwasser und „SWR“ für das Oberflächenwasser- genutzt. Mit den Modellen wurde das Jahr 2020 instationär zunächst ohne zusätzliche Wasserrückhaltemaßnahmen (Ist-Zustand) und anschließend mit weiteren Wasserrückhaltemaßnahmen (Szenariorechnungen) simuliert, um anschließend den flächenhaften Anstieg des Grundwassers infolge der Maßnahmen über Differenzenbildung zu ermitteln.

Die Auswirkungsprognose in vier weiteren Teileinzugsgebieten (Ober-, Mittel- und Unterlauf Lotter Beeke sowie Scheilgraben) wurde unter Anwendung „praxistaugliche“ Werkzeuge durchgeführt. Zunächst wurden hierfür verschiedene Ansätze recherchiert, bewertet und eine dieser Methodiken für die Auswirkungsprognose ausgewählt. Es wurde daraus ein sog. „Prognose-Tool“ entwickelt, das in einer Anwendungshilfe dokumentiert wurde. Das Tool weist im Vergleich zu einem Grund- und Oberflächenwassermodell eine (in MS-Excel) leichtere Anwendbarkeit im wasserbehördlichen Vollzug auf. Mit dem Tool können - im Gegensatz zu den weiteren identifizierten Ansätzen unter Ausnahme des numerischen Modells - Auswirkungen durchgeführter Maßnahmen zweidimensional bestimmt sowie mehrere Standorte gleichzeitig betrachtet werden. Die Auswirkungen der durch die Arbeitsgruppen vorgeschlagenen Maßnahmen wurden unter Anwendung des Grund- und Oberflächenwassermodells sowie des Prognose-Tools bewertet, danach durch die Arbeitsgruppen nochmals angepasst und abschließend hinsichtlich der Standorte unter Berücksichtigung der in Arbeitsgruppen entwickelten „Gebietskulisse Maßnahmen“ optimiert. Die zeitliche Priorisierung der Standorte hinsichtlich ihrer Umsetzung wurde mit den Arbeitsgruppen abgestimmt. Aktive, saisonal variable Staumaßnahmen an Gewässern 3. und (im Einzelfall abzuwägen) ggf. 2. Ordnung werden gutachterlich empfohlen, um eine wirksame Erhöhung der Grundwasserstände in der Fläche zu erreichen.

10. Literaturverzeichnis

- Beudt, J. (Hg.) (1997): Grundwasser-Management. Schutz - Reinigung - Sanierung. Schutz - Reinigung - Sanierung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (Hg.) (2024): Verwaltungsgebiete 1:250 000 Stand 01.01 (VG250 01.01). Online verfügbar unter <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/verwaltungsgebiete/verwaltungsgebiete-1-250-000-stand-01-01-vg250-01-01.html>, zuletzt aktualisiert am 26.09.2024, zuletzt geprüft am 21.11.2024.
- Chow, V. T. (1959): Open Channel Hydraulics. New York: McGraw-Hill.
- CONSULAQUA Hildesheim (Hg.) (2022): Durchführungsplan zur Beweissicherung des geplanten 3-jährigen Dauerpumpversuchs in den Brunnen I, II und IV (Lengerich-Handrup) des Wasserverbandes Lingener Land. 4. Jahresbericht.
- Cramer, E.; Kamps, U.: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik. Eine Einführung für Studierende der Informatik, der Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften. 5. Aufl.: Springer Spektrum.
- Dehnert, H. (1952): Wehr- und Stauanlagen. 1. Reprint 2019. Berlin: de Gruyter (Sammlung Götschen, 956).
- Domenico, P. A.; Mifflin, M. D. (1965): Water from low-permeability sediments and land subsidence. In: *Water Resour. Res.* 1 (4), S. 563–576. DOI: 10.1029/WR001i004p00563.
- Domenico, P. A.; Schwartz, F. W. (1998): Physical and chemical hydrogeology. 2. ed. New York: Wiley. Online verfügbar unter <http://www.loc.gov/catdir/description/wiley034/97021776.html>, zuletzt geprüft am 20.07.2022.
- DWD - Deutscher Wetterdienst (Hg.) (2024): CDC-Center. Online verfügbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/, zuletzt geprüft am 28.10.2024.
- Eckl, H.; Raissi, F. (2009): Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. 1. Aufl. Hg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). Hannover (GeoBerichte, 15).
- Eggelsmann, R. (1981): Dränanleitung. für Landbau. Ingenieurbau und Landschaftsbau. 2. Aufl.: Paul Parey, Hamburg [u.a.].
- Ertl, G.; Bug, J.; Elbracht, J.; Engel, N.; Herrmann, F. (2019): Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen. Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18. Hg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (LBEG). Hannover (GeoBerichte, 36).
- Ertl, G.; Herrmann, F.; Elbracht, J. (2022): Bestimmung der Grundwasserneubildungshöhen für Festgesteinsgebiete in Niedersachsen. In: *Grundwasser*. DOI: 10.1007/s00767-021-00503-0.
- FGG Ems - Flussgebietsgemeinschaft Ems (Hg.) (2022): Internationaler Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 Wasserrahmenrichtlinie für die Flussgebietseinheit Ems. Bewirtschaftungszeitraum 2021-2027. Online verfügbar unter <https://www.ems-eems.de/wasserrahmenrichtlinie/berichte>, zuletzt geprüft am 28.10.2024.
- FörderRL Wassermengenmanagement (30.09.2024): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Umsetzungsprojekten im Wassermengenmanagement.
- Géron, A. (2023): Praxiseinstieg Machine Learning mit Scikit-Learn, Keras und TensorFlow. Konzepte, Tools und Techniken für intelligente Systeme. 3. Aufl. online: O'Reilly.
- Golden Software (2021): Surfer®. Version 16. Online verfügbar unter <http://www.goldensoftware.com/>.
- Gómez-Hernández, J. J. (2022): Teaching Numerical Groundwater Flow Modeling with Spreadsheets. In: *Math Geosci* 54 (6), S. 1121–1138. DOI: 10.1007/s11004-022-10002-4.
- Gómez-Hernández, J. J.; Secci, D. (2024): Teaching Numerical Groundwater Flow Modeling with Spreadsheets: Unconfined Aquifers and Multilayered Vertical Cross-Sections. In: *Math Geosci* 56, S. 1355–1378. DOI: 10.1007/s11004-023-10112-7.
- Heinrich, U. (2013): Zur Methodik der räumlichen Interpolation mit geostatistischen Verfahren. Untersuchungen zur Validität flächenhafter Schätzungen diskreter Messungen kontinuierlicher raumzeitlicher Prozesse: Deutscher Universitätsverlag.
- Hennig, H.; Hilgert, T. (2018): Speisung bedeckter Grundwasserleiter im norddeutschen Lockergestein – Eine Auswertung für Mecklenburg-Vorpommern. In: *Brandenburg. geowiss. Beitr.* 25 (1), S. 27–37.

- Heumann, S.; Bug, J.; Evertbusch, S.; Müller, U. (2020): Bodenkundliche Ermittlungen von Grundwasserabsenkungen im Gelände. Erfassung und Abschätzung der anteiligen Grundwasserabsenkungsbeträge durch Grundwasserentnahme und Entwässerungsmaßnahmen. 4. Aufl. Hg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) (Geofakten, 5).
- Hölting, B.; Coldewey, W. G. (2009): Hydrogeologie. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. 90 Tabellen. 7. neu bearb. und erw. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.
- Hölting, B.; Coldewey, W. G. (2013): Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. 8. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Hughes, J. D.; Langevin, C. D.; Chartier, K. L.; White, J. T. (2012): Documentation of the Surface-Water Routing (SWR1) Process for Modeling Surface-Water Flow with the U.S. Geological Survey Modular Groundwater Model (MODFLOW-2005). 1. Aufl. Hg. v. U.S. Department of the Interior und U.S. Geological Survey (USGS) (Techniques and Methods, 6-A40).
- HYDOR - HYDOR Consult GmbH (Hg.) (2021): Emslandplan 2.0: Nachhaltiges Wassermengenmanagement in die Fläche bringen. Bericht der HYDOR Consult GmbH, AG: Dachverband der Wasserwirtschaft im Landkreis Emsland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.emsland.de/pdf_files/klima-und-umwelt/emslandplan-2-0-hydor-2021_4970_1.pdf.
- Johnson, A. I. (1976): Specific Yield: Compilation of Specific Yields for Various Materials. Hydrologic Properties of Earth Materials (Geological Survey Water-Supply Paper, 1662-D).
- Konikow, L. F.; Hornberger, G. Z.; Halford, K. J.; Hanson, R. T. (2009): Revised Multi-Node Well (MNW2) Package for MODFLOW Ground-Water Flow Model. Hg. v. U.S. Geological Survey (USGS) (Techniques and Methods, 6-A30). Online verfügbar unter https://pubs.usgs.gov/tm/tm6a30/pdf/TM-6A30_lowrez.pdf, zuletzt geprüft am 21.10.2024.
- Kratz, R.; Pfadenhauer, J. (Hg.) (2001): Ökosystemmanagement für Niedermoore. Strategien und Verfahren zur Renaturierung ; 79 Tabellen. Strategien und Verfahren zur Renaturierung ; 79 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.
- LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hg.) (2000): Geologische Übersichtskarte von Niedersachsen 1 : 500 000. Online verfügbar unter <https://nibis.lbeg.de/net3/public/ikxcms/default.aspx?pgid=64>, zuletzt geprüft am 25.10.2024.
- LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hg.) (2023a): GeoDin-Datenbank.
- LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hg.) (2023b): Grundwasserneubildung für die Klimabeobachtungszeiträume. Unter Mitarbeit von G. Ertl.
- LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hg.) (2024a): Geologische und hydrostratigraphische Profilschnitte, zuletzt geprüft am 28.10.2024.
- LBEG - Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen (Hg.) (2024b): Lage der Grundwasseroberfläche 1:50.000. Online verfügbar unter <https://nibis.lbeg.de/net3/public/ikxcms/default.aspx?pgid=200>, zuletzt geprüft am 30.10.2024.
- LBEG (2024c): GeoBerichte 51; Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Die Grundwasserneubildung und weitere Wasserhaushaltskomponenten von Niedersachsen – Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA22; GABRIELE ERTL, JAN BUG, SAEID GHALICHEHBAF, MITHRA-CHRISTIN HAJATI, FRANK HERRMANN, ANJA WALDECK & JÖRG ELBRACHT; Hannover 2024
- LGLN - Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (Hg.) (2024a): Digitale Orthophotos des ATKIS (ATKIS-DOP) - aktuell und historisch. Online verfügbar unter https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/luftbildprodukte/digitale_orthophotos/digitale-orthophotos-des-atkis-atkis-dop-142273.html, zuletzt geprüft am 23.10.2024.
- LGLN - Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (Hg.) (2024b): Digitales Landschaftsmodell (Basis-DLM). Online verfügbar unter https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/topographische_geodaten_aus_atkis/dlm/digitales-landschaftsmodell-basis-dlm-144141.html, zuletzt geprüft am 09.10.2024.
- Lindschulte Ingenieurges. mbH Emsland (Hg.) (2023): Hydraulische Betrachtung der Sohlschwellen an den Stationen 10+300, 14+100 und 18+190 in der Lotter Beeke. Erläuterungsbericht. Meppen.
- LK Emsland - Landkreis Emsland (Hg.) (2023a): Leistungs- und Aufgabenbeschreibung. Nachhaltiges Wassermengenmanagement im Einzugsgebiet der Lotter Beeke.

- LK Emsland - Landkreis Emsland (Hg.) (2023b): Nachhaltiges Wassermanagement fürs Emsland. Online verfügbar unter <https://www.emsland.de/buerger-behoerde/aktuell/pressemitteilungen/nachhaltiges-wassermanagement-fuers-emsland.html#:~:text=Teil%20der%20Initiative%20war%202021,auf%20und%20f%C3%BChren%20ihn%20fort.>, zuletzt aktualisiert am 11.05.2023, zuletzt geprüft am 09.10.2024.
- LK Emsland - Landkreis Emsland (Hg.) (2023c): Übersicht Wasserentnahmen.
- LK Emsland - Landkreis Emsland (Hg.) (2024): Emslandplan. Online verfügbar unter <https://www.emsland.de/das-emsland/kreisbeschreibung/emslandplan/emslandplan.html>, zuletzt geprüft am 10.07.2024.
- Lühr, H.-P. (2003): Die Entwicklung der Grundwasserberechnungen der letzten Jahrzehnte - vom elektrischen Papier zum numerischen Grundwassermodell. Karlsruhe (BAW-Kolloquium "Wechselwirkung Bauwerk - Grundwasser").
- ML - Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.) (2023): Aktuelle Schläge 2023. Online verfügbar unter <https://sla.niedersachsen.de/landentwicklung/LEA/>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.
- Mönster, J. (2024): Stichtagsmessung der Wassertiefen im Mai 2024 und Vermessungen des Unterschiedes zwischen Grabensohle und Böschungsoberkante.
- MU - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (Hg.) (2024): Naturschutz. URL-Liste für WMS-Dienste des Kartenservers des MU. URL-Liste für WMS-Dienste des Kartenservers des MU. Online verfügbar unter https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/service/umweltkarten/wms_dienste/url-liste-fuer-wms-dienste-des-kartenservers-des-mu-173717.html, zuletzt geprüft am 08.11.2024.
- MU (2022): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Vorhaben zur strategischen Neuausrichtung des Wassermengenmanagements und des klimafolgenorientierten Ausbaus von Infrastrukturen der Wasserversorgung und -nutzung (FörderRL Klimafolgenanpassung Wasserwirtschaft) RdErl. d. MU v. 2. 2. 2022 — 21-62625/01-0016.
- MU (2024): Wassermengenmanagement im Zeichen des Klimawandels; Fachliche Hinweise zum Verhältnis von ökologischer Durchgängigkeit und Wasserrückhalt. - Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz, Schreiben an die Unteren Wasserbehörden vom 11.12.2024, Hannover.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2016a): Fließgewässer (WRRL). Online verfügbar unter https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/Umweltkarten/?lang=de&topic=Natur&bgLayer=voidLayer&layers=Fließgewaesser_WRRL&E=403291.77&N=5825449.94&zoom=8, zuletzt geprüft am 28.10.2024.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2016b): Grundwasserkörper (WRRL). Online verfügbar unter <https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/Umweltkarten/?topic=Natur&lang=de&bgLayer=TopographieGrau>, zuletzt geprüft am 14.11.2024.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2023a): Gewässernetz und Küstengewässer Niedersachsens. Online verfügbar unter https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/service/umweltkarten/wasser_hydrologie/gewassernetz_und_kuestengewasser/gewaessernetz-und-kuestengewasser-niedersachsens-8267.html, zuletzt geprüft am 08.05.2023.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2023b): Klimafolgen in Niedersachsen: Hoch- und Niedrigwasser. Online verfügbar unter https://www.nlwkn.niedersachsen.de/klimawandelkompakt/klimafolgen/klimafolgen_in_niedersachsen/klimafolgen-in-niedersachsen-182052.html, zuletzt geprüft am 09.10.2024.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2024a): Gewässerentwicklungsplanung. Online verfügbar unter https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/wasserwirtschaft/flusse_bache_seen/gewasserentwicklungsplanung/gewasserentwicklungsplanung-150616.html, zuletzt aktualisiert am 17.07.2024, zuletzt geprüft am 12.11.2024.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2024b): Hydrografische Karte. Online verfügbar unter https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/service/umweltkarten/wasser_hydrologie/gewassernetz_und_kuestengewasser/gewaessernetz-und-kuestengewasser-niedersachsens-8267.html, zuletzt geprüft am 07.11.2024.
- NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (Hg.) (2024c): Trotz feuchter Witterungsverhältnisse keine Entwarnung beim Grundwasser. Online verfügbar unter

- https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presse_und_offentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen/trotz-feuchter-witterungsverhaeltnisse-keine-entwarnung-beim-grundwasser-233873.html, zuletzt geprüft am 08.10.2024.
- RdErl. d. MU v. 23.04.2024 (2024): Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers.
- Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers (194).
- SenSBW - Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen Berlin (Hg.) (2006): Flurabstand des Grundwassers 2006. Online verfügbar unter <https://www.berlin.de/umweltatlas/wasser/flurabstand/2006/einleitung/>, zuletzt geprüft am 29.10.2024.
- Uetrecht, R. M.; Elmore, A. C.; Guggenberger, J. D.; Helwig, Z. D. (2019): Practical considerations for kriging groundwater surfaces. In: *Remediation* 29 (4), S. 83–91. DOI: 10.1002/rem.21615.
- USGS - U.S. Geological Survey (Hg.) (2024): ModelMuse Help. DRN: Drain Package Pane. DRN: Drain Package Pane. Online verfügbar unter https://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/ModelMuse/Help/drn_object_pane.html, zuletzt geprüft am 22.10.2024.
- USGS - United States Geological Survey (Hg.) (2022): MODFLOW-NWT: A Newton Formulation for MODFLOW-2005. Online verfügbar unter <https://www.usgs.gov/software/modflow-nwt-a-newton-formulation-modflow-2005>, zuletzt geprüft am 18.10.2024.
- Witthöft, M.; Marinkovic, H.; Elbracht, J. (2023): Grundwasseranreicherung. maßnahmenbezogene Eignungskarten. 28. Grundwasserworkshop. maßnahmenbezogene Eignungskarten. Vechta, 26.09.2023. Online verfügbar unter https://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/veranstaltungen/grundwasser_workshop/grundwasser_workshop_2023/grundwasser-workshop-2023-223713.html, zuletzt geprüft am 06.11.2024.
- Witthöft, M.; Marinkovic, H.; Elbracht, J. (2024): Grundwasseranreicherung – GIS-gestützte Berechnung landesweiter, maßnahmenbezogener Eignungskarten mittels Python. Veranstaltungsprogramm der 29. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V. Hg. v. Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V. (FH-DGGV). Veranstaltungsprogramm der 29. Tagung der Fachsektion Hydrogeologie e. V. in der DGGV e. V. Online verfügbar unter <https://www.conftool.net/fhdggv2024/index.php?page=browseSessions&path=adminSessions>.
- Wriedt, G. (2023): Grundwasserbericht Niedersachsen. Sonderausgabe zur Grundwasserstandsentwicklung im Jahr 2022. Hg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (Grundwasser, Band 58).
- WVLL - Wasserverband Lingener Land (Hg.) (2024): Pumpversuch Lengerich-Handrup. Durchführungsplan und Berichte. Durchführungsplan und Berichte. Online verfügbar unter <https://www.wvll.de/wasser/pumpversuch-lengerich-handrup/pumpversuch-lengerich-handrup.html>, zuletzt geprüft am 28.10.2024.