

Endbericht

Auswirkungen von Überschwemmungen, Hochwasserpoldern und Starkregen auf das Grundhochwasser

Aktenzeichen DBU: 34296/01

Laufzeit: Februar 2018 – Juni 2020

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Umwelttechnik mbH

MS. Dipl.-Ing. Joachim Steinrücke

M.Sc. Georg Soltau

Turpinstraße 19, 52066 Aachen



**Rhine-Waal University of Applied Sciences,
Campus Kleve**

Prof. Dr. Matthias Kleinke

B.Sc. Peter Schramm

Marie-Curie-Straße 1, 47533 Kleve



Aachen / Kleve, den 26.06.2020

Danksagung

Hiermit danken wir der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung, durch die die vorliegende Studie erst ermöglicht wurde. Ganz besonders bedanken wir uns auch bei Herrn Heidenreich für die stets gute Zusammenarbeit und Unterstützung sowie die stets konstruktiven Gespräche. .

Für das Projekt waren wir auf umfangreiche Daten und Informationen verschiedener Institutionen angewiesen. Hierbei wurden wir stets zuverlässig unterstützt. Zu nennen sind hier das Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz NRW (LANUV), die Bezirksregierungen Düsseldorf und Münster, der Geologische Dienst NRW, die Emschergenossenschaft / Lippeverband sowie das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Duisburg Rhein.

Darüber hinaus bedanken wir uns bei den vielen Kooperationspartnern aus der Region, die neben der Bereitstellung von Daten auch bei der Durchführung von zahlreichen Arbeitsterminen durch ihre Teilnahme sowie durch wertvolle Hinweise und konstruktive Kritik das Projekt maßgeblich vorangebracht haben. Hier sind die Wasserversorger aus der Region zu nennen, die Bocholter Energie- und Wasserversorgung GmbH, die Wasserwerke Wittenhorst und Blumenkamp, die Gelsenwasser AG sowie die Stadtwerke Wesel. Des Weiteren der Kreis Wesel, der Deichverband Bislich-Landesgrenze, die Landwirtschaftskammer Viersen, die Holemans GmbH sowie die Hülskens GmbH & Co. KG.

Ein ganz besonderer Dank gilt auch dem Bürgermeister von Hamminkeln, Herrn Romanski, welcher das Projekt stets tatkräftig unterstützte und jederzeit Räumlichkeiten für die Durchführung von Terminen zur Verfügung stellte und durch seine Teilnahme und konstruktive Kritik zu einem guten Gelingen beitrug.

Daher an dieser Stelle ein herzliches Dankeschön an alle, die durch ihre Hilfe zum guten Gelingen des Projekts beigetragen haben.

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	34296/01	Referat	23	Fördersumme	124.340 €
Antragstitel	Auswirkung von Überschwemmungen, Hochwasserpoldern und Starkregen auf das Grundhochwasser am Beispiel der Issel im Raum Hamminkeln				
Stichworte	Gewässer, Hochwasser, Planung, Vermeidung				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
29 Monate	09.02.2018	30.06.2020	1		
Zwischenberichte	26.02.2019				
Bewilligungsempfänger	ProAqua Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Umwelttechnik mbH Herr MS. Dipl.-Ing. Joachim Steinrücke Turpinstraße 19 52066 Aachen		Tel	0241/9499210	
			Fax	0241/9499229	
			Projektleitung	Herr MS. Dipl.-Ing. J. Steinrücke	
			Bearbeiter	Herr M.Sc. Georg Soltau	
Kooperationspartner	Hochschule Rhein-Waal Fakultät für Life Sciences Herr Prof. Dr. Matthias Kleinke Marie-Curie-Str. 1 47533 Kleve				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Hochwasser und Überschwemmungen stehen immer wieder im Fokus und sind den meisten Menschen bewusst, Grundhochwasser und daraus resultierende Probleme nicht. Viele lernen Grundhochwasser erst kennen, wenn sie betroffen werden. Die Wechselwirkungen zwischen Hochwasser und Grundwasser sind Fachleuten bekannt, Betroffenen häufig nicht, was gelegentlich zu unrealistischen Forderungen und Beschuldigungen führt. An einem konkreten Beispiel mit real aufgetretenen Problemen wurden die Wechselwirkungen zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser analysiert. Ergänzend wurden Sensitivitäten und Lösungsansätze zur Reduzierung der Betroffenheiten untersucht. Die Ergebnisse wurden leicht verständlich dargestellt und sollen so zur Objektivierung der Diskussionen beitragen.</p> <p>Anlass waren Hochwasserereignisse im Issel-Einzugsgebiet im Juni 2016, welche auch Wochen nach Abklingen der Hochwasserwelle durch eindringendes Grundwasser Schäden bei Betroffenen auslösten.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Die Projektziele wurden durch eine eng verzahnte Bearbeitung der beiden Projektpartner erreicht. Die wesentlichen Arbeitsschritte waren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Datenrecherche und Systemanalyse: Zusammenstellung einer umfangreichen Datengrundlage (Wasserstandsdaten, Grundwassermessstellen, Bodeneigenschaften, Wassergewinnung, Landnutzung, Niederschlagsdaten, etc.), • Erstellung eines instationären Grundwassermodells für den Istzustand: Aufbau des Rechnernetzes, Festlegung von Randbedingungen, Einbau von Wassergewinnungsgebieten und Grundwassermessstellen, Einbau von Wasserstandsdaten von Rhein und Lippe, • Kopplung des Grundwassermodells: Kopplung mit hydrologischem Modell zur Abbildung der Grundwasserneubildung, Kopplung mit hydraulischem Modell zur Abbildung der zeitvarianten Wasserstandsdaten des Issel-Einzugsgebietes, Kalibrierung des Modells anhand der Hochwasserereignisse im Juni 2016, • Analysen der wasserwirtschaftlichen Zusammenhänge: Mit Fokus auf den Hochwasserereignissen 2016 wurden die Zusammenhänge zwischen Hochwasser und Grundhochwasser analysiert und dargestellt, 					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

- Einfluss des Hochwassers von 2016 auf die landwirtschaftliche Nutzung: Durchführung von Interviews mit betroffenen Landwirten, Darstellung der Auswirkungen von Hochwasser und Grundhochwasser auf die landwirtschaftliche Nutzung, Beschreibung möglicher Nutzungsänderungen
- Untersuchungen zur Auswirkung geplanter Hochwasserschutzmaßnahmen: Analyse und Darstellung von Auswirkungen durch Flutung von Abgrabungen, Auswirkungen veränderter Überschwemmungsgebiete, Auswirkungen angepasster Polderbewirtschaftung,
- Entwicklung von Maßnahmen und Konzepten: Untersuchung verschiedener Konzepte zur Grundwassersenkung, insbesondere in Mehrhoog,
- Allgemeinverständliche Aufbereitung: Darstellung der Prozesse und Wechselwirkungen von Hochwasser, Niederschlag, Grundwasser in Berichtsform, Durchführung von Informationsveranstaltungen (aufgrund der Corona-Situation nur eingeschränkt)

Ergebnisse und Diskussion

Mit der Erstellung eines 3-dimensionalen instationären Grundwasserströmungsmodells wurde die Grundlage geschaffen, die Grundwasserverhältnisse zu analysieren. Zunächst wurden die großräumigen Strömungsprozesse sowie die Zusammenhänge der Fließgewässer (Rhein, Issel, Lippe) und Stillgewässer (Abgrabungen, Altarme, Polder) mit dem Grundwasser dargestellt. Durch die modellgestützte Nachrechnung der Hochwasserereignisse 2016 konnten die damals aufgetretenen Probleme nachvollzogen und die Ursachen beschrieben werden. Darüber hinaus dienten die Berechnungen zur Überprüfung der Auswirkungen des Issel-Hochwasserschutzkonzeptes auf das Grundwasser.

Um die Wirkung möglicher Maßnahmen zur Grundwassersenkung im Hochwasserfall zu prüfen, wurde das Grundwassermodell für verschiedene Planzustände modifiziert. Hierbei wurde bspw. untersucht, wie sich eine Anpassung der Steuerung der Rheinpolder auf den Grundwasserstand auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch diese Maßnahme keine nennenswerten Verbesserungen für die betroffenen Ortslagen erreicht werden können. Auch die Auswirkungen der heutigen Dichtschürzen der im Rheinvorland gelegenen Abgrabungsseen wurden untersucht. Gerade im Nahbereich des Rheins haben diese einen positiven, dämpfenden Effekt auf eindringendes Grundwasser bei Rheinhochwasser. Auf der dem Rhein abgewandten Seite hingegen entsteht durch die Abdichtungen ein anderer Effekt, das Grundwasser staut sich im Nahbereich auf, diese Beeinflussung kann je nach geologischen und topografischen Verhältnissen über mehrere hundert Meter in das Hinterland reichen. Nachteilige Effekte für die von Grundhochwasser betroffene Ortslage Mehrhoog sind nicht gegeben.

Mit von den Hochwasserereignissen 2016 betroffenen Landwirten wurden Interviews geführt, um die damaligen Probleme zu erörtern. Neben der Grundhochwasser- und Hochwasserproblematik rückten dadurch auch die Auswirkungen langer Trockenperioden und damit einhergehender langanhaltender niedriger Grundwasserstände in den Fokus der Betrachtungen.

Hierauf aufbauend wurden Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft entwickelt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Während der Projektbearbeitung fanden zahlreiche Arbeitstermine mit den Akteuren vor Ort statt (Bezirksregierung, Kreis Wesel, Stadt Hamminkeln, Wasserversorger, Deichverband...), bei denen der Projektfortschritt und die Zwischenergebnisse präsentiert und diskutiert wurden. Hierdurch konnten zahlreiche Hinweise / Anmerkungen der Teilnehmer in der weiteren Bearbeitung berücksichtigt werden.

Zum Projektabschluss war eine Öffentlichkeitsveranstaltung in Hamminkeln geplant, um die Ergebnisse der Untersuchungen zu präsentieren und zu diskutieren. Aufgrund der aktuellen Corona-Situation musste diese wiederholt verschoben werden. Letztendlich wurde die Veranstaltung im Rahmen einer öffentlichen Sitzung des Planungsausschusses durchgeführt und im Anschluss - vorwiegend in Einzelgesprächen mit den interessierten Bürgern - diskutiert. Aufgrund des großen Interesses ist beabsichtigt - sobald die Situation dies wieder zulässt - eine weitere Veranstaltung zur Information der Öffentlichkeit durchzuführen.

Fazit

Die vorliegende Studie beschreibt die Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet. Mit dem erstellten Grundwassermodell lassen sich neben der Berechnung vergangener Ereignisse auch die Auswirkungen geplanter Maßnahmen auf das Grundwasser prognostizieren.

Die Poldersteuerung am Rhein sowie auch die Dichtschürzen in den Abgrabungsseen sind nicht ursächlich für die Grundhochwasserprobleme in Mehrhoog. Hier sind die Ursachen auf eine Kombination von Flusshochwasser und langanhaltenden Niederschlägen zurückzuführen. Zur Reduzierung der Probleme wurden verschiedene Maßnahmen skizziert, eine etwaige Umsetzung bedarf aber weitergehender Untersuchungen / Planungen.

Für die betroffenen Landwirte stellt die zunehmende Trockenheit eine deutlich größere Herausforderung dar als hohe Grundwasserstände.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	i
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	3
3 Beschreibung und Erläuterungen zum Untersuchungsraum	5
3.1 Projektgebiet	5
3.2 Vorstellung des Hochwasserschutzkonzepts Issel	6
3.3 Erläuterungen zu den Hochwasserereignissen im Juni 2016	6
3.4 Beschreibung der landwirtschaftlichen Verhältnisse	8
4 Beschreibung von Grundwasser und Grundwasserströmungsprozessen	11
4.1 Grundwasserneubildung	11
4.2 Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern	12
4.2.1 Wechselwirkung zwischen Fließgewässern und Grundwasser	13
4.2.2 Wechselwirkung zwischen Stillgewässern und Grundwasser	13
4.2.3 Wechselwirkung zwischen Poldern, Überschwemmungsgebieten und dem Grundwasser	15
4.3 Grundwasserströmungsmodelle	16
5 Erstellung des Grundwassermodells	17
5.1 Datengrundlage	17
5.1.1 Oberflächengewässer	17
5.1.2 Geologische Verhältnisse	19
5.1.3 Wassergewinnungen im Projektgebiet	21
5.1.4 Grundwassermessstellen	21
5.2 Modellaufbau	23
5.2.1 Horizontale und vertikale Diskretisierung	24
5.2.2 Randbedingungen	25
5.2.3 Einbindung der Abgrabungsseen	26
5.2.4 Kopplung des Grundwassermodells mit NA-Modell und Hydraulik-Modell	27
5.3 Kalibrierung des Grundwassermodells	28
6 Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet	33
6.1 Allgemeine Beschreibung	33
6.2 Grundwasserverhältnisse während der Hochwasserereignisse 2016	36
7 Einfluss von Hochwasserschutzmaßnahmen auf das Grundwasser	41
7.1 Folgen der Nutzung von Abgrabungen	41
7.2 Auswirkung in Folge geänderter Überschwemmungen	44

8	Entwicklung von Maßnahmen und Konzepten	47
8.1	Aktivierung Pumpstation Haffen	47
8.2	Maßnahmen zur Verringerung der Grundhochwasserstände in Mehrhoog	49
8.2.1	Vertiefung des Wolfstrangs	49
8.2.2	Hochwasserrückhalt	50
8.2.3	Gewässeraufweitung	50
8.2.4	Fazit	51
8.3	Wirkung der Dichtschürzen in Abgrabungsseen	51
8.4	Lokale Schutzmaßnahmen / Objektschutz	53
9	Beschreibung der Auswirkungen veränderter Grundwasserverhältnisse auf die Landwirtschaft	56
9.1	Beschreibung des Projektgebietes (HSRW)	57
9.2	Material und Methode zur Beschreibung der Auswirkungen auf die Landwirtschaft	58
9.2.1	Hintergrunddaten zu Feldfrüchten im HSRW-Fokusgebiet	59
9.2.2	Staunässe und Feldfrüchte	60
9.2.3	Landwirtschaftliche Wassernutzung am Klimastandort Deutschland	66
9.3	Grundwasserstandsveränderungen im Projektgebiet	66
9.4	Zukünftige klimatische Veränderungen in der Hochwassersituation	68
9.5	Diskussion und Ableitung von Handlungsempfehlungen	68
9.5.1	Diskussion des Planzustandes der Issel aus landwirtschaftlicher Sicht	68
9.5.2	Diskussion: Dauergrünland als Alternative	69
9.5.3	Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft	72
10	Literaturverzeichnis	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1:	Darstellung des Projektgebietes (schwarze Linie) sowie der wichtigsten Gewässer und Städte innerhalb des Projektgebietes	5
Abbildung 3.2:	Eindrücke zum Hochwasserereignis 2016 (© Planungsbüro Koenzen, 2016)	7
Abbildung 3.3:	Vergleich der Wasserstände am Pegel Isselburg mit den Grundwasserständen bei Loikum	8
Abbildung 3.4:	Auszugskarte der Bodenhauptarten im HSRW Projektgebiet, blau: Gley, orange: Plaggenesch, gelb: Braunerde-Podsol, rosa: Auftrags-Regosol, dunkel braun: Gley Humusparabraunerde, grün: Gley-Vega, Quelle: Geologischer Dienst NRW (2019)	9
Abbildung 4.1:	Grundwasserströmung, links: ohne Niederschlag, rechts: mit Niederschlag	11
Abbildung 4.2:	Wasserkreislauf (© Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften)	12

Abbildung 4.3:	Darstellung der Entwicklung der Grundwasserströmungsrichtung bei steigendem Hochwasser	13
Abbildung 4.4:	Schematische Darstellung der Grundwasserstandsentwicklung nach einer Auskiesung	14
Abbildung 4.5:	Auswirkungen von Hochwasser und Wasserrückhalt und Überschwemmung auf den Grundwasserstand	15
Abbildung 5.1:	Übersicht der verwendeten Pegel an Rhein und Lippe	18
Abbildung 5.2:	Gewässer im Issel 2D-Hydraulikmodell und Abgrabungen / Altarme am Rhein	19
Abbildung 5.3:	Einteilung der Gesteinsarten nach Korngrößenklassen und Durchlässigkeitsstufen (© Geologischer Dienst 2019)	20
Abbildung 5.4:	Bezeichnung und Lage der Wassergewinnungsgebiete im Projektgebiet	21
Abbildung 5.5:	Lage der verwendeten Grundwassermessstellen im Projektgebiet	22
Abbildung 5.6:	Hydrogeologische Schichten, Ausschnitt aus HyK25-Karte des Geologischen Dienstes NRW	24
Abbildung 5.7:	Vertikaler Aufbau des GW-Modells, Übersicht der Layer und Kf- Wertbereiche	25
Abbildung 5.8:	Lage und Art der im Grundwassermodell angesetzten Randbedingungen	26
Abbildung 5.9:	Schematische Darstellung einer Abgrabung im Grundwassermodell	27
Abbildung 5.10:	Aufteilung der Grundwasserneubildung im Projektgebiet	28
Abbildung 5.11:	Lage und Bezeichnung der für die Darstellung der Kalibrierungsergebnisse verwendeten Messstellen	29
Abbildung 5.12:	Gemessene und berechnete Grundwasserstände für die Messstelle GW_1021 sowie der Rheinwasserstand im Nahbereich der Messstelle	30
Abbildung 5.13:	Gemessene und berechnete Grundwasserstände für die Messstelle GW_1023 sowie der Lippewasserstand im Nahbereich der Messstelle	31
Abbildung 5.14:	Gemessene und berechnete Grundwasserstände für die Messstelle GW_1022 sowie der Issel-Wasserstand im Nahbereich der Messstelle	32
Abbildung 6.1:	Grundwassergleichen und Hauptströmungsrichtung des Grundwassers im Januar 2015	33
Abbildung 6.2:	Schematische Darstellung der Hinterlandentwässerung über die Haffensche Landwehr (blau-weiße Pfeile stellen die Fließrichtung dar)	34
Abbildung 6.3:	Lage und Verlauf des Längsschnitts und Zuordnung von Gewässern und Ortschaften	35
Abbildung 6.4:	Schematischer Längsschnitt zur Darstellung der Grundwasserverhältnisse von November 2015 bis Februar 2016	36
Abbildung 6.5:	Darstellung der Flurabstände im Projektgebiet am 05.06.2016	37
Abbildung 6.6:	Überschwemmungsgebiete oberhalb von Hamminkeln und Lage der Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel	38
Abbildung 6.7:	Grundwasserganglinien und Geländeoberkanten für die Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel	38
Abbildung 6.8:	Flurabstände und Überschwemmungsgebiete in Mehrhoog nach den Hochwasserereignissen im Juni 2016	39

Abbildung 6.9:	Flurabstände im Deichhinterland im Bereich der Haffenschen Landwehr (HLW) und Wasserstandsganglinie für den Rheinpegel Rees	40
Abbildung 7.1:	Lage der Abgrabung Schultenhof und eines Grundwasser-Messpunkts (roter Kreis)	42
Abbildung 7.2:	Grundwasserstände im Ist- und Planzustand im Nahbereich der Abgrabung Schultenhof während der Hochwasserereignisse 2016	43
Abbildung 7.3:	Grundwasserstandsänderung zwischen Ist- und Planzustand kurz nach dem zweiten Hochwasserereignis im Juni 2016	44
Abbildung 7.4:	Überschwemmungsgebiete oberhalb von Hamminkeln im Planzustand und Lage der Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel	45
Abbildung 7.5:	Grundwasserganglinien (Ist- und Planzustand) und Geländeoberkanten für die Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel	46
Abbildung 8.1:	Wasserstandsganglinie des Rheins am Pegel Rees, Wasserstände in den Abgrabungen Reeser Meer Nord/Süd und der Wasserstand in der Haffenschen Landwehr im Planzustand	48
Abbildung 8.2:	Änderung der Grundwasserstände (bei Vergleich von Istzustand mit Maßnahmenzustand) im Bereich des Hagener Meeres bis Mehrhoog	48
Abbildung 8.3:	Auswirkungen durch Entnahme der „Dichtschürzen“ auf den Grundwasserstand	52
Abbildung 8.4:	Schematische Zeichnungen der Weißen Wanne (Bildquelle: Hochwasserschutzfibel, 2015)	53
Abbildung 8.5:	Schematische Zeichnungen der Schwarzen Wanne, links = Außendichtung, rechts = Innendichtung (Bildquelle: Hochwasserschutzfibel, 2015)	54
Abbildung 9.1:	Gebietsgrenze Projektgebiet ProAqua in rot, Gebietsgrenze Projektgebiet HSRW im Umkreis der Mittleren Issel eingezeichnet in schwarz	58
Abbildung 9.2:	Prozentualer Anbau im HSRW-Fokusgebiet, Futterpflanzen gruppiert in Grüntönen, Getreide gruppiert in hellen Farben. übrige Feldfrüchte nicht gruppiert. Quelle: Landwirtschaftskammer NRW (2019)	60
Abbildung 9.3:	Das ideale Bodenvolumen nach Brady und Weil (2017) Adaptiert durch HSRW	61
Abbildung 9.4:	Gasaustausch im Boden im Normalfall (A) und im Staunässefall (B), (A) beschreibt den normalen Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Boden, Wurzeln geben CO ₂ an die Atmosphäre ab und nehmen Sauerstoff auf, (B) der Staunässefall beschreibt die relative Undurchlässigkeit des wassergesättigten Bodens. CO ₂ kann nicht entweichen und Sauerstoff nicht durch die Bodenporen zu den Wurzeln gelangen. Im Prozess sinkt der pH, Toxine kommen frei, Denitrifikation und Verlust von Stickstoff und anderen Nährstoffen findet statt. Quelle: Feller et al (2006) .	63
Abbildung 9.5:	Grundwasserganglinien (Ist- und Planzustand) und Geländeoberkanten für die Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1:	Vernässungsgrad des Bodens und dessen Eignung für die landwirtschaftliche Nutzung (Quelle: AD-HOC-AG BODEN (2005), LWK-Niedersachsen (2019))	10
Tabelle 5.1:	Pegelstammdaten der verwendeten Pegel an Rhein und Lippe	17
Tabelle 5.2:	Übersicht der HyK25-Karten	19
Tabelle 5.3:	kf-Wertbereiche verschiedener Bodenarten (© Arbeitshilfen Abwasser, 2006)	20
Tabelle 5.4:	Jahresentnahmemengen der Wassergewinnungen im Projektgebiet	21
Tabelle 5.5:	Verwendete Grundwassermessstellen im Projektgebiet	22
Tabelle 5.6:	Erläuterung der Randbedingungen in FEFLOW	25
Tabelle 9.1:	Einfluss von Staunässe auf ausgewählte Ackerkulturen	64
Tabelle 9.2:	Wasserverbrauch der Pflanzen: Abgeleitet aus mittlerem Ertragsniveau (Quelle: Eitzinger et al, 2009)	65
Tabelle 9.3:	Das Für und Wider des Dauergrünlandes im Vergleich zum Ackerbau	69

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
BKF	Bodenkundliche Feuchtestufen
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DGM1	Digitales Geländemodell Nordrhein-Westfalen (Rasterauflösung 1x1 m)
EGLV	Emschergerossenschaft Lippeverband
GIS	Geografische Informationssysteme
HLW	Haffensche Landwehr
HRB	Hochwassererückhaltebecken
HSRW	Hochschule Rhein-Waal
HWSK	Hochwasserschutzkonzept
HyK25	Hydrologische Karte NRW (Maßstab 1:25.000)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kf-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LWK	Landwirtschaftskammer
NA-Modell	Niederschlag-Abfluss-Modell
NRW	Nordrhein-Westfalen
ÜSG	Überschwemmungsgebiet
WSA	Wasser- und Schiffsahrtsamt

1 Zusammenfassung

Das Projekt „Auswirkungen von Überschwemmungen, Hochwasserpoldern und Starkregen auf das Grundhochwasser“, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), hat zum Ziel, die Wirkzusammenhänge zwischen Hochwasserereignissen und Grundhochwasser zu analysieren sowie die Ergebnisse leicht verständlich und nachvollziehbar darzustellen. An einem konkreten Beispiel waren die Zusammenhänge zu beschreiben, etwaige Handlungsoptionen sollten aufgezeigt werden.

Im Juni 2016 kam es an der Issel in kurzer Folge zu zwei großen Hochwasserereignissen, wodurch Infrastruktur, Gebäude und zahlreiche landwirtschaftliche Flächen von Überschwemmungen betroffen waren. Neben den direkten Betroffenheiten in Folge von Oberflächenwasser kam es aufgrund des starken Grundwasseranstiegs zu Schäden an Gebäuden. Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes wurden im Rahmen des Hochwasserschutzkonzeptes für die Issel erstellt (ProAqua, 2017), die Auswirkungen auf das Grundwasser wurden vereinbarungsgemäß nicht detailliert betrachtet.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden nun die Grundwasserverhältnisse genauer analysiert.

Aufbauend auf einer Datenrecherche und Systemanalyse wurde das Projektgebiet abgegrenzt und auf Grundlage umfangreicher Daten zu Bodenbeschaffenheit, Wasserstands- und Niederschlagsdaten, Grundwassermessstellen, Landnutzung, Wassergewinnungen etc. ein 3-dimensionales instationäres Grundwassermodell für den Istzustand aufgebaut.

Zur Berücksichtigung von Grundwasserneubildung sowie der Wechselwirkungen mit der Issel einschließlich ihrer Nebengewässer und Überschwemmungen wurde das Grundwassermodell mit zwei weiteren Modellen, einem hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modell sowie einem hydraulischen 2D-Modell, gekoppelt.

Die Kalibrierung des Grundwassermodells erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde eine Berechnung über zwei zusammenhängende Jahre durchgeführt, hierdurch konnte der generelle Verlauf und die jahreszeitlichen Schwankungen gut nachvollzogen werden. Zur detaillierten Abbildung der Hochwasserverhältnisse wurden die zwei Hochwasserereignisse im Juni 2016 mit allen Modellen berechnet. Letztendlich konnte durch Anpassung der Durchlässigkeiten und Leakage-Raten eine sehr gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Daten erreicht werden. Das Modell reagiert somit wie die Natur und konnte daher sowohl für Analysen des Istzustands als auch zur Auswirkungsprognose von Maßnahmen verwendet werden.

Auf Grundlage des kalibrierten Grundwassermodells für den Istzustand wurden verschiedene Szenarien / Planzustände berechnet. Neben den Auswirkungen des Hochwasserschutzkonzeptes (die Maßnahmen wurden sowohl im hydraulischen Modell als auch dem Grundwassermodell abgebildet) wurden auch Untersuchungen zur Ursache der bestehenden Grundhochwasserproblematik durchgeführt. Hierbei wurde auf die Wünsche der Akteure vor Ort bzw. auf Kritik und Anregungen von Betroffenen eingegangen, um so auch die Diskussion zu Ursachen und etwaigen Maßnahmen zu versachlichen und die Wirkzusammenhänge verständlich darzulegen.

Die Untersuchungen zu Auswirkungen des Hochwasserschutzkonzeptes (HWSK) auf das Grundwasser verdeutlichen, dass die Auswirkungen gering und lokal begrenzt sind und dass sie zeitlich nur auf Hochwasserereignisse und kurz danach beschränkt sind. Bei mittleren Wasserständen haben die Maßnahmen keine Auswirkungen auf die Grundwasserstände im Projektgebiet. Grundwasserseitige Nachteile durch das HWSK sind nicht zu erwarten.

Um Probleme mit Grundhochwasser im Projektgebiet zu reduzieren, wurden unterschiedliche Maßnahmen betrachtet, die Grundwasseränderungen berechnet und die Ergebnisse textlich und grafisch aufbereitet.

Hierbei wurde bspw. untersucht, wie sich eine Anpassung der Steuerung der Rheinpolder auf den Grundwasserstand auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass durch diese Maßnahme keine nennenswerten Verbesserungen für

die betroffenen Ortslagen erreicht werden können. Auch die Auswirkungen der heutigen Dichtschürzen der im Rheinvorland gelegenen Abgrabungsseen wurden untersucht. Gerade im Nahbereich des Rheins haben diese einen positiven, dämpfenden Effekt auf eindringendes Grundwasser bei Rheinhochwasser. Auf der dem Rhein abgewandten Seite hingegen entsteht durch die Abdichtungen ein anderer Effekt. Das Grundwasser staut sich im Nahbereich auf, diese Beeinflussung kann je nach geologischen und topografischen Verhältnissen über mehrere hundert Meter in das Hinterland reichen. Nachteilige Effekte für die von Grundhochwasser betroffene Ortslage Mehrhoog sind nicht gegeben.

Neben Untersuchungen zur Grundhochwasserproblematik wurden auch die Auswirkungen geänderter Grundwasserstände auf die Landwirtschaft analysiert und auf Grundlage der Untersuchung Handlungsempfehlungen abgeleitet. Interviews mit Landwirten im Projektgebiet ergaben, dass Probleme mit Hochwasser bestehen, in der Vergangenheit jedoch Dürreperioden deutlich stärkere Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Nutzung hatten und dies auch für die Zukunft befürchtet wird.

2 Einleitung

Hochwasserereignisse sind natürliche Prozesse, die zu erheblichen Schäden führen können. Hochwasserereignisse bedingen in der Regel auch einen temporären Anstieg des Grundwassers, das sogenannte Grundhochwasser, welches zu Vernässungen, zu nassen Kellern und / oder Schäden an Gebäuden und Infrastruktur führen kann.

Das sichtbare, oberflächige Hochwasser erfährt in der Regel viel Aufmerksamkeit, durch Hochwasserschutzmaßnahmen werden die Schäden und Beeinträchtigungen reduziert. Das Grundhochwasser wird medial kaum dargestellt, obschon dies zu erheblichen Schäden führt.

Die Zusammenhänge zwischen Hochwasser und Grundhochwasser sind Experten bekannt, den meisten Menschen sind die Prozesse und Wirkzusammenhänge im Detail jedoch nicht klar. Von Betroffenen werden daher teils unrealistische Forderungen gestellt und / oder nicht nachvollziehbare Beschuldigungen ausgesprochen.

Veranlassung

Das Projektgebiet umfasst große Bereiche des Issel-Einzugsgebiets und erstreckt sich von dort über Hamminkeln in Richtung Rhein. Hier erstreckt sich das Projektgebiet von der Lippemündung bis Rees (vgl. Abbildung 3.1). Im Juni 2016 ereigneten sich im Raum Hamminkeln in kurzer Folge zwei große Hochwasserereignisse an Rhein und Issel. Diese führten insbesondere im Bereich von Hamminkeln zu einem starken Anstieg des Grundwassers, welcher lange anhielt und für Schäden an Gebäuden, Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Nutzung und nassen Kellern führte.

Insbesondere in den Ortschaften Mehrhoog und Haffen waren viele Gebäude von eindringendem Grundwasser im Keller betroffen, darüber hinaus waren Felder teilweise tage- und wochenlang eingestaut. Diese Zustände führten zu emotionalen Reaktionen bei den betroffenen Anwohnern und Landwirten. Aus der Bevölkerung gibt es diverse Vorwürfe, wonach die (Grund)-Hochwasserproblematik auf die Kiesindustrie, den Deichverband, mangelnde Gewässerunterhaltung, den Rhein... zurückzuführen ist.

Der Bewilligungsempfänger (die ProAqua Ingenieurgesellschaft) hat in den letzten Jahren das Hochwasserschutzkonzept Issel (Issel-HWSK) erarbeitet. Die hierbei entwickelten Maßnahmen beinhalten unter anderem die Schaffung von Rückhalteräumen für Hochwasser und die gezielte Flutung von Abgrabungsseen. Da durch diese Maßnahmen eine Beeinflussung des Grundwassers zu erwarten ist, wird befürchtet, dass durch die Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen die Grundwasserproblematik im Bereich Hamminkeln verstärkt werden könnte.

Zielsetzung

Das Forschungsprojekt „Auswirkungen von Überschwemmungen, Hochwasserpoldern und Starkregen auf das Grundhochwasser“ zielt darauf ab, die Wirkzusammenhänge der verschiedenen Einflusspfade auf das Grundwasser sowie die gegenseitigen Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen darzustellen. Dies dient als Grundlage, um die kontroversen Standpunkte und Thesen, welche im Zusammenhang mit der Grundhochwasserproblematik im Untersuchungsgebiet immer wieder genannt werden, objektiv zu bewerten.

Die öffentliche Diskussion ist beim Thema Grundhochwasser von Schuldzuweisungen und Missverständnissen geprägt. Um hier wieder zu konstruktiven Diskussionen zurückzukommen, bedarf es einer objektiven und verständlichen Darstellung der Sachverhalte und Zusammenhänge. Auch eine Berücksichtigung und ggf. Beteiligung der verschiedenen Interessengruppen (Anwohner, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Betreiber der Abgrabungs-

seen, etc.) ist hier von entscheidender Bedeutung. Daher wird neben einer Beteiligung der Interessengruppen während der Projektphase auch die Öffentlichkeitsarbeit in Form von Informationsmaterialien, aber auch Öffentlichkeitsveranstaltungen in Zusammenarbeit mit der Stadt Hamminkeln eingebunden. Bedingt durch die Corona-Pandemie konnte die Einbindung der Öffentlichkeit leider nicht wie geplant erfolgen, sie wurde auf das „zulässige“ Maß reduziert.

Neben der allgemeinverständlichen Aufbereitung und Darstellung der wesentlichen Prozesse ist auch die Untersuchung verschiedener Maßnahmen, welche Einfluss auf das Grundhochwasser haben, Gegenstand der Untersuchung. Hierbei standen bspw. der Einfluss von Abgrabungsseen oder die Hinterlandentwässerung des Rheins im Fokus der Untersuchung, da diese in der Vergangenheit durch Betroffene als Verursacher der Probleme verantwortlich gemacht wurden.

Das Untersuchungsgebiet ist landwirtschaftlich stark genutzt und deutlich geprägt. Insbesondere Grünlandnutzung, aber auch Ackerbau sind im Einzugsgebiet der Issel verbreitet. Bei vielen der von Hochwasser betroffenen Flächen handelt es sich dementsprechend um landwirtschaftlich genutzte Flächen, wodurch es bei Hochwasserereignissen zu wirtschaftlichen Einbußen der betroffenen Landwirte kommt. Diese Auswirkungen werden im Rahmen des Projektes untersucht und beschrieben und es werden Anpassungsstrategien für landwirtschaftliche Flächen entwickelt, um diese nachteiligen Folgen zu minimieren. Hierbei spielt auch die Einbindung der betroffenen Landwirte u.a. im Rahmen von Interviews eine große Rolle.

Das Forschungsprojekt wurde von der ProAqua Ingenieurgesellschaft mbH in Kooperation mit der Hochschule Rhein-Waal bearbeitet. Der Schwerpunkt der ProAqua Ingenieurgesellschaft lag auf den wasserwirtschaftlichen Themen und der Projektkoordination, die Hochschule Rhein-Waal (HSRW) befasste sich primär mit den Auswirkungen auf die Landwirtschaft.

3 Beschreibung und Erläuterungen zum Untersuchungsraum

3.1 Projektgebiet

Das Projektgebiet liegt am Niederrhein, etwa 50 km unterhalb von Duisburg, es umfasst eine Fläche von ca. 220 km² und erstreckt sich entlang des Rheins von Wesel bis Rees. In Abbildung 3.1 ist die Abgrenzung des Projektgebietes durch die schwarze Linie gekennzeichnet. Das Gebiet umfasst die Städte Hamminkeln und Wesel sowie zahlreiche kleinere Ortslagen, neben dem Rhein liegt der Mittellauf der Issel mit zahlreichen Nebengewässern sowie der Unterlauf der Lippe im Projektgebiet.

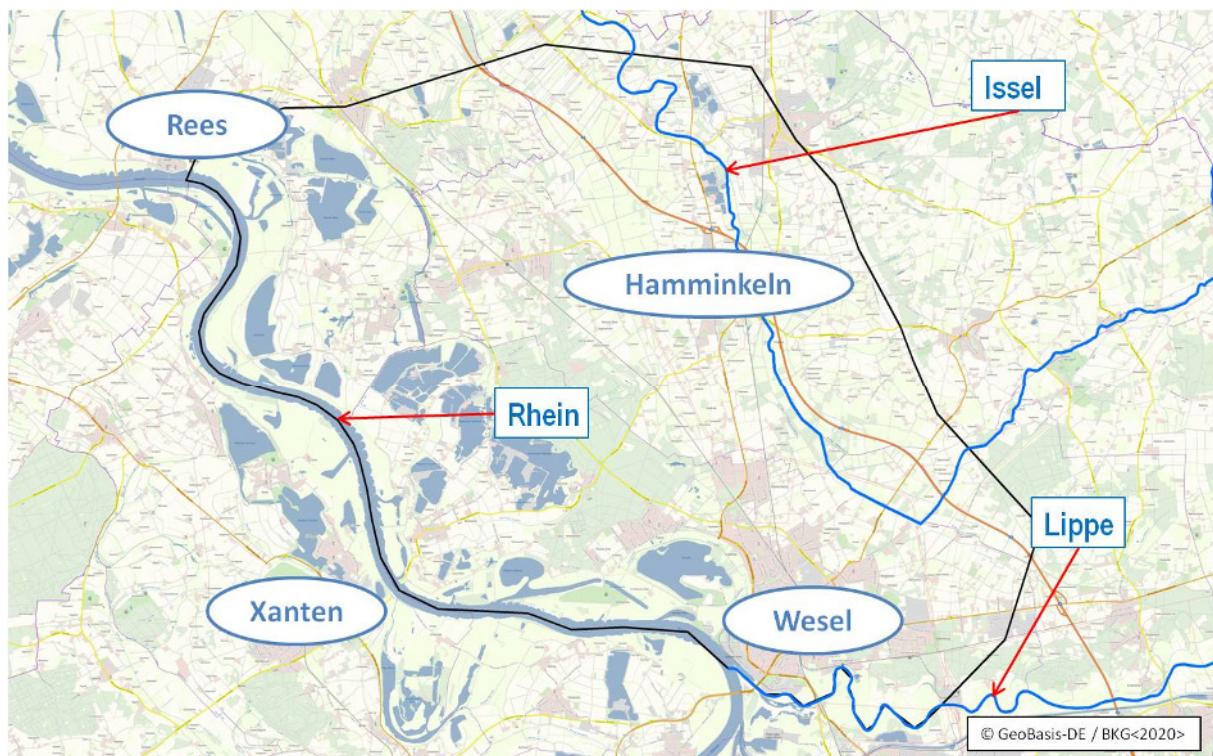


Abbildung 3.1: Darstellung des Projektgebietes (schwarze Linie) sowie der wichtigsten Gewässer und Städte innerhalb des Projektgebietes

Naturräumlich ist das Gebiet dem Niederrheinischen Tiefland zuzuordnen. Hierbei handelt es sich um ein tertiärzeitliches Senkungsgebiet, welches durch eiszeitliche Ablagerungen von Rhein und Maas geprägt ist. Diese Ablagerungen beeinflussen maßgeblich die Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet.

Topografisch zeichnet sich das Gelände durch sehr flache Verhältnisse aus. Diese bedingen bei Hochwasser großflächige Überschwemmungen, gerade im Bereich der Issel und ihrer Nebengewässer. Der höchste Punkt liegt auf einer Höhe von etwa 24,6 mNHN im Südosten des Projektgebietes bei Wittenberg, der niedrigste Punkt auf einer Höhe von ca. 17,0 mNHN im Nordwesten bei Rees.

Das Projektgebiet beinhaltet zahlreiche Oberflächengewässer, diese beeinflussen die Grundwasserverhältnisse maßgeblich. Von besonderer Bedeutung sind Rhein und Lippe. Sie beeinflussen das Grundwasser im Nahbereich und bestimmen die Hauptfließrichtung des Grundwassers im Untersuchungsraum. Im Untersuchungsraum werden die kleinräumigen Grundwasserverhältnisse maßgeblich durch die Issel mit ihren zahlreichen Nebengewässern, Stillgewässern sowie Wassergewinnungsanlagen geprägt. Im hier ebenfalls betrachteten Rheinvorland

sind auch die zahlreichen aktiven und ehemaligen Abgrabungsseen, Auskiesungen und Rheinpolder für die Grundwasserverhältnisse relevant.

3.2 Vorstellung des Hochwasserschutzkonzepts Issel

Die ProAqua Ingenieurgesellschaft wurde im Herbst 2015 mit der Erstellung eines interkommunalen Hochwasserschutzkonzeptes beauftragt. Ziel des interkommunalen Hochwasserschutzkonzeptes war die Entwicklung von Maßnahmen zur Minderung der Schadensrisiken und Hochwasserstände. Die Maßnahmenentwicklung erfolgte in den Handlungsfeldern natürlicher Wasserrückhalt, Ökologie und technischer Hochwasserschutz unter Berücksichtigung der spezifischen hydrologischen, hydraulischen und topografischen Gegebenheiten im Einzugsgebiet der Issel.

Im Rahmen der Maßnahmenentwicklung wurden 35 Maßnahmenbausteine aus den Bereichen Beibehaltung und gezielte Aktivierung von Retentionsflächen, Gewässeraufweitung, Verwallungen bzw. Deichneubau, Objektschutz und ökologische Aufwertung der Gewässer konzipiert.

Während der Projektbearbeitung gab es aufgrund des Hochwasserereignisses 2016 ein verstärktes politisches und öffentliches Interesse. Daher wurde eine Projekthomepage eingerichtet und das Projekt auf zahlreichen Informationsveranstaltungen für die breite Öffentlichkeit allgemeinverständlich vorgestellt und diskutiert.

Die konkreten Hochwasserschutzmaßnahmen und deren Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet werden in Kapitel 0 genauer beschrieben und erläutert.

3.3 Erläuterungen zu den Hochwasserereignissen im Juni 2016

Im Juni 2016 kam es an der Issel zu zwei großen Hochwasserereignissen, vom 01. – 04. Juni sowie vom 24. – 28. Juni. Ausgelöst wurden diese Ereignisse durch Starkregenniederschläge von bis zu 120 Liter pro Quadratmeter innerhalb von 24 Stunden (Deutscher Wetterdienst). Betrachtet man den langjährigen durchschnittlichen Niederschlag in diesem Monat von 74 Liter pro Quadratmeter, wird das Ausmaß dieses Ereignisses deutlich. Hierdurch bedingt stieg der Wasserstand der Issel am Pegel Dämmerwald innerhalb weniger Stunden um ca. 1,5 Meter an. Zwischenzeitlich waren Deichbrüche nicht auszuschließen, die Lage konnte jedoch, auch aufgrund von ca. 600 Helfern und unter Verwendung von 68.000 Sandsäcken, unter Kontrolle gebracht werden.

Größere Schäden innerhalb der Ortschaften konnten verhindert werden, es wurden jedoch zahlreiche landwirtschaftliche Flächen im Bereich der Issel von den Wassermassen überflutet. Diese Überschwemmungen hielten teils tage- und wochenlang an, was zu Ernteaufällen und Schäden an den betroffenen landwirtschaftlichen Flächen führte. Ende Juni wiederholten sich die Ereignisse, wobei wieder große Flächen entlang der Issel überschwemmt wurden. Die nachfolgenden Fotos sollen einen Eindruck der Hochwassersituation im Juni 2016 vermitteln.



Abbildung 3.2: Eindrücke zum Hochwasserereignis 2016 (© Planungsbüro Koenzen, 2016)

Im Nachgang der zuvor beschriebenen Hochwasserereignisse im Juni 2016 kam es im Bereich Hamminkeln und hier insbesondere in den Gemeinden Mehrhoog und Haffen zu einem starken Anstieg der Grundwasserstände, welche ungewöhnlich lange anhielten. Der zeitliche Zusammenhang zwischen den hohen Pegelwasserständen an der Issel und einer Grundwassermessstelle im Bereich Mehrhoog verdeutlichen die dargelegte Problematik (vgl. Abbildung 3.3).

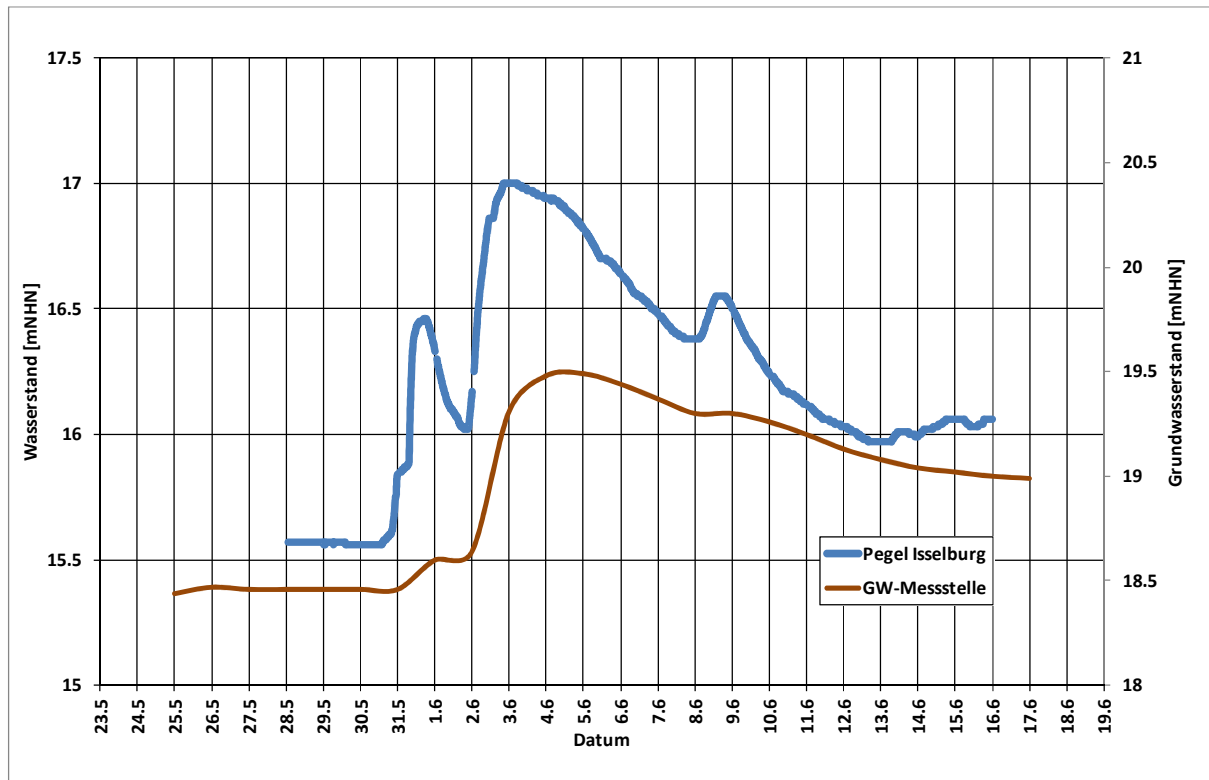


Abbildung 3.3: Vergleich der Wasserstände am Pegel Isselburg mit den Grundwasserständen bei Loikum

In blau dargestellt ist der Wasserstand am Pegel Isselburg im Juni 2016, gut zu erkennen ist die Hochwasserwelle und der zeitlich versetzt ansteigende Grundwasserstand (in braun dargestellt).

Es wird deutlich, dass mit dem Anstieg des Wasserstandes in der Issel der Grundwasserstand zunimmt. Dieser Anstieg setzt sich über mehrere Tage fort und fällt, nachdem der Höhepunkt der Hochwasserwelle überschritten ist, erst langsam wieder ab.

Dieser Umstand führte vielerorts zu sehr geringen Flurabständen, aufgrund der zeitlichen Verzögerung der Grundhochwasserwelle traten die Betroffenheiten durch Grundhochwasser zeitlich versetzt zu den Hochwasserproblemen auf. Aufgrund des zweiten Hochwasserereignisses Ende Juni wurde die Situation noch weiter verschärft und aufgrund der ohnehin schon erhöhten Grundwasserstände führte dies zu einer weiteren Verschärfung der Grundhochwasserproblematik.

Die Verteilung der Grundwasserverhältnisse vor, während und nach den Hochwasserereignissen im Juni 2016 werden im Kapitel 6 näher erläutert und dargestellt.

3.4 Beschreibung der landwirtschaftlichen Verhältnisse

Der hydraulische Istzustand der Issel und deren Einzugsgebietes ist im HWSK detailliert beschrieben. Die landwirtschaftliche Situation hingegen wird vorher kaum thematisiert. Wie im Folgenden dargestellt, ist die Flächennutzung im Einzugsgebiet der Issel divers. Die Hälfte der Fläche wird als Dauergrünland zur Beweidung und Grund- und Raufuttererzeugung genutzt, die andere Hälfte als Ackerland. Im Projektgebiet werden eine ganze Reihe von Ackerkulturen, vor allem Zuckerrüben, Kartoffeln, Futterrüben, eine Vielzahl von Getreidearten und Mais angebaut. Das Anbauspektrum hat sich in der Region seit den starken Überschwemmungen in den Jahren 1998 und 2016 nicht wesentlich verändert. Die Herstellung von Grund- und Raufutter für Milchvieh für die Direkt-

fütterung und die Verarbeitung zu Silage steht mit ca. 75 - 80% im Fokus der Landwirte. Diese Angaben der Landwirte spiegeln sich auch in den neuesten Daten (2019) der Landwirtschaftskammer NRW (79,5%) wider.

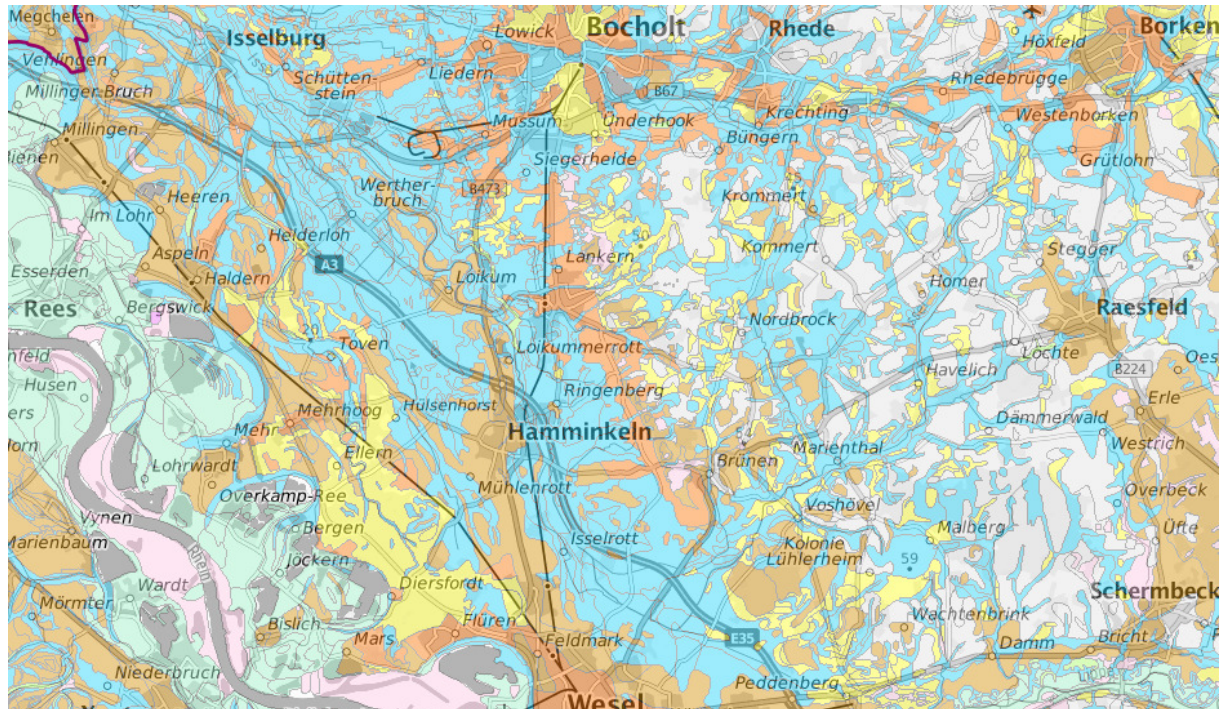


Abbildung 3.4: Auszugskarte der Bodenhauptarten im HSRW Projektgebiet, blau: Gley, orange: Plaggenesch, gelb: Braunerde-Podsol, rosa: Auftrags-Regosol, dunkel braun: Gley Humusparabraunerde, grün: Gley-Vega, Quelle: Geologischer Dienst NRW (2019)

Die Daten des Geologischen Dienstes NRW (2019) aus dem Projektgebiet, Gespräche mit der Landwirtschaftskammer NRW und ansässigen Landwirten haben gezeigt, dass die bewirtschafteten Flächen auf dem breiten Band einer alten Niederterrasse aus Sand und Kies (Niederrheinischen Sandplatten) aufgelagert und lokal von Hochflutablagerungen aus Gley, Braunerde oder Schluff bis zu einer Dicke von zwei Metern überlagert sind (Abbildung 2). In den relevanten Flächen steht das Grundwasser laut Geologischem Dienst NRW zwischen 80 cm und 130 cm unter Flur, wobei kleine bis mittlere Staunässe (40 - 80 cm unter Flur) auftreten kann. Das direkte Umfeld der Issel im Umkreis Hamminkeln ist dennoch laut Daten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) kaum staunässegefährdet. Ein Staunässerisiko tritt laut Kartierung nur am Oberlauf der Issel im Bereich Marienthal bis Raesfeld in geringem Maße (S.1 bis S.3, siehe Tabelle 3.1) auf. LWK Niedersachsen (2018) stellt heraus, dass bei Gleyen (Grundwasserböden) die Eignung eines Bodens für die landwirtschaftliche Nutzung am mittleren Grundwasserniedrigstand bemessen wird. Hierbei werden Einstufungen in Staunässestufen und bodenkundliche Feuchtestufen (BKF) berücksichtigt. Generell gilt: Beim Auftreten von Staunässe von weniger als 40 cm unter Flur wird die Fläche als absolutes Grünland bewertet. Bei Werten über 40 cm werden BKF Klassen herbeigezogen ($BKF \geq 8 \rightarrow$ absolutes Grünland).

Böden im Umfeld der Issel können also als Ackerfläche genutzt werden, wobei es dafür im Frühjahr an vielen Stellen oft sehr feucht sein kann. Hier müssen Landwirte selbst entscheiden, welche Bewirtschaftungsform für die individuellen Felder am vorteilhaftesten ist.

Sachverständige der Landwirtschaftskammer NRW wiesen dazu noch aus, dass der Großteil der Flächen im Einzugsgebiet der Issel durch die Issel künstlich bewässert wird, um eine Bewirtschaftung zu ermöglichen. Wo die tiefer liegenden Schichten aufgrund des hohen Sandgehalts im Boden eine hohe Wasserdurchlässigkeit aufweisen und somit sehr gut drainieren, weist der Oberboden oft eine weitaus feinere Bodentextur mit höheren

Anteilen an organischen Stoffen auf. Diese oberen Schichten weisen günstige Feldkapazitäten zur Verwendung im Landbau auf.

Die aktive Bewirtschaftung durch die Landwirte ist bisher gut auf die bisherige Wassersituation angepasst. Jedoch ist die Issel und somit umliegendes Land speziell in den letzten 3 Jahren durch länger anhaltende Trockenperioden im Frühjahr und Sommer trockengefallen. In Flächen, die für gewöhnlich besonders nass waren, konnten dann vergleichsweise bessere Erträge verbucht werden, in eher trockenen Flächen fiel die Ernte vergleichsweise schlechter aus.

Tabelle 3.1: Vernässungsgrad des Bodens und dessen Eignung für die landwirtschaftliche Nutzung (Quelle: AD-HOC-AG BODEN (2005), LWK-Niedersachsen (2019))

Eignung für landwirtschaftliche Nutzung unter den derzeitigen Wasserverhältnissen	Grundnässestufe n. KA3 (Tab. 55)	Stau-nässestufe n. KA3 (Tab. 56)	Vernässungsgrad (VERNAS) n. KA5 (Tab. 61)	nFKWe-Stufe n. KA5 (Tab. 80)	Bezeichnung	Bodenkundliche Feuchte-stufe (BKF)
meist offenes Wasser (Großseggenriede)	G.6	S.6	Vn6			11
für landwirtschaftliche Nutzung zu nass (Kleinseggenriede)	G.5	S.5	Vn5		nass	10
für Wiese bedingt geeignet, da häufig zu feucht (Streuwiese)	G.4	S.4	Vn4		stark feucht	9
für Wiese geeignet, für Weide bedingt geeignet, für Intensivweide und Acker zu feucht	G.3	S.3	Vn3		mittel feucht	8
für Wiese und Weide geeignet, für Intensivweide und Acker bedingt geeignet (im Frühjahr zu feucht)	G.2	S.2	Vn2		schwach feucht	7
für Grünland und Acker geeignet, für intensive Ackernutzung im Frühjahr gelegentlich zu feucht	G.1	S.1	Vn1		stark frisch	6
für Grünland und Acker geeignet				n5	mittel frisch	5
für Grünland und Acker geeignet, für intensive Grünlandnutzung im Sommer gelegentlich zu trocken				n4	schwach frisch	4
für Acker geeignet, für intensive Ackernutzung im Sommer zu trocken, für intensive Grünlandnutzung zu trocken				n3	schwach trocken	3
für Acker und extensive Grünlandnutzung häufig zu trocken				n2	mittel trocken	2
für landwirtschaftliche Nutzung zu trocken (Trockenrasen)				n1	stark trocken	1
Steppenrasen und Felsbandgesellschaften					dürr	0

4 Beschreibung von Grundwasser und Grundwasserströmungsprozessen

Grundwasser ist „unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich durch die Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird“ (DIN 4049). Grundwasser fließt somit nur, wenn ein Energiegefälle im Grundwasser vorhanden ist. Die Strömungsrichtung entspricht in der Regel der Richtung des Energiegefälles.

Natürlicherweise speist Niederschlag in Form von Versickerung das Grundwasser, was eine Erhöhung des Grundwasserspiegels bedingt. Der Wasserspiegel in offenen Gewässern liegt in der Regel unter dem Niveau des Grundwasserspiegels, das Energiegefälle ist somit zum Gewässer gerichtet. Das Grundwasser strömt als Folge dessen von der Fläche in Richtung offenen Gewässers. Dieser Prozess ist schematisch in Abbildung 4.1 dargestellt.

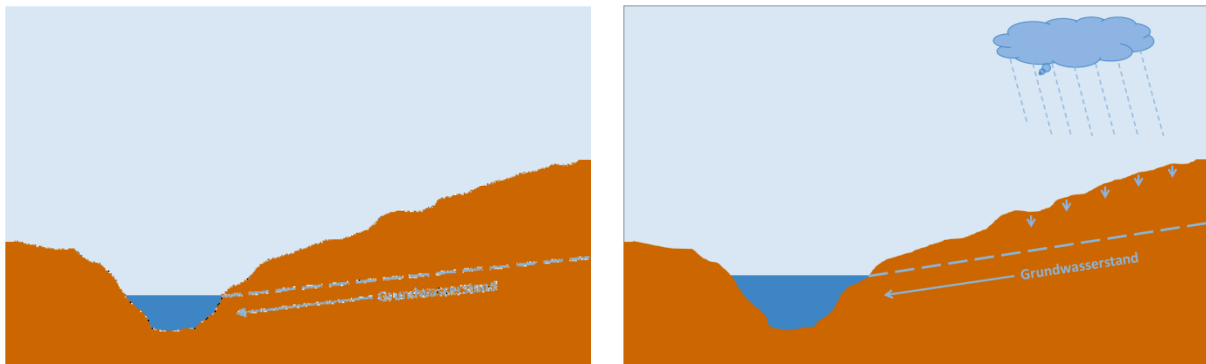


Abbildung 4.1: Grundwasserströmung, links: ohne Niederschlag, rechts: mit Niederschlag

Wenn der Wasserspiegel im Gewässer - beispielsweise als Folge eines Hochwassers - über den Grundwasserspiegel ansteigt, strömt Wasser aus dem Gewässer in das Grundwasser.

Im Gegensatz zu Fließgewässern erfolgt die Grundwasserströmung im Porenraum des Bodens, die Fließgeschwindigkeiten sind in der Regel sehr gering. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Rheinvorland beträgt etwa 90 Meter pro Tag, die Strömungsgeschwindigkeit des Niederrheins hingegen liegt bei ca. 150 Kilometern pro Tag, was in etwa dem 1700-fachen Wert der Grundwasserströmung entspricht.

4.1 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung ist eine der treibenden Kräfte für die Grundwasserströmung und wird natürlicherweise durch Niederschläge bzw. die Versickerung des Niederschlags bedingt. Der Anteil des Niederschlags, welcher zur Grundwasserneubildung beiträgt, ist sehr unterschiedlich verteilt und von vielen Faktoren abhängig. Um diese Prozesse und Zusammenhänge besser zu verstehen, muss der gesamte Wasserkreislauf betrachtet werden. Dieser ist schematisch in der folgenden Abbildung 4.2 dargestellt.

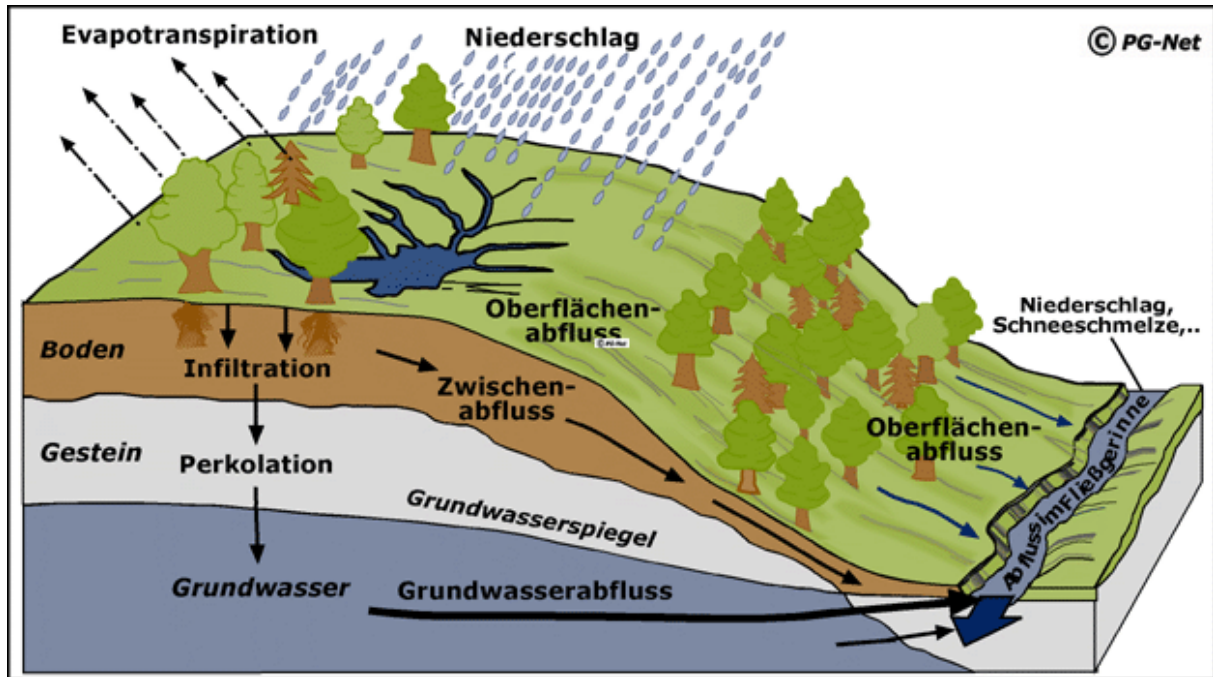


Abbildung 4.2: Wasserkreislauf (© Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften)

Der in einem Gebiet fallende Niederschlag teilt sich in verschiedene Komponenten auf. Ein großer Teil dieses Wassers verdunstet, wobei der Anteil der Verdunstung sehr stark abhängig davon ist, ob der Niederschlag auf Wasserflächen, Wäldern oder Wiesen und Feldern nieder geht. In der Wasserwirtschaft unterscheidet man daher in Evaporation (Verdunstung von Land- und Wasserflächen) und Transpiration (Verdunstung von und durch Pflanzen). Das in den Boden infiltrierende Wasser teilt sich wiederum in zwei Komponenten auf, den Zwischenabfluss und den Grundwasserzufluss. Der Zwischenabfluss bewegt sich in den oberen Bodenschichten und strömt dem nächsten Oberflächengewässer zu, der Grundwasserzufluss versickert weiter im Boden und trägt zur Grundwasserneubildung bei.

Wie groß die einzelnen Komponenten des Niederschlags sind, ist bspw. abhängig von der Vegetation, der Bodenbeschaffenheit, der Geologie und nicht zuletzt vom Niederschlagsangebot im betrachteten Gebiet. Bodenbeschaffenheit und Geologie bestimmen maßgeblich, wie schnell Wasser in den Bodenkörper versickern kann und auch, welcher Anteil des versickerten Wassers tatsächlich weiter in die tieferen Bodenschichten bzw. den Grundwasserleiter kommt.

Die obigen Ausführungen verdeutlichen, dass die Grundwasserneubildung von vielen Faktoren abhängt.

4.2 Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern

Die Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern sind komplex und bestimmen maßgeblich die Wasserstände und Strömungsverhältnisse im Grundwasser, aber auch das örtliche Dargebot der Oberflächengewässer.

Hierbei wird zunächst der Fokus auf Fließgewässer gelegt, im Anschluss werden die Zusammenhänge und Prozesse im Hinblick auf Stillgewässer und Überschwemmungsgebiete betrachtet.

4.2.1 Wechselwirkung zwischen Fließgewässern und Grundwasser

Bei der Beschreibung der Strömungsprozesse zwischen Grundwasser und Fließgewässern unterscheidet man in der Hydrogeologie zwischen influenten und effluenten Verhältnissen. Influyente Verhältnisse bedeuten, dass Wasser vom Fließgewässer in den Grundwasserkörper strömt, effluente Verhältnisse bezeichnen die entgegengesetzte Strömungsrichtung, vom Grundwasserkörper in das Fließgewässer.

Im Normalfall herrschen in den meisten Gewässern effluente Verhältnisse, diese sind schematisch in Abbildung 4.3 – A dargestellt. Mit steigendem Wasserstand im Fließgewässer verringert sich der Zustrom des Grundwassers, da sich die Wasserstände in Fließgewässer und Grundwasser angleichen (vgl. Abbildung 4.3 – B und C).

Während Hochwasserereignissen kann jedoch auch der Fall eintreten, dass der Wasserstand im Gewässer höher ansteigt als das umgebende Grundwasser, sodass dieses nicht mehr in Richtung des Gewässers strömen kann. Dies führt dann zu einer Umkehr der Strömungsrichtung vom Fließgewässer in Richtung Grundwasser und zu einem Anstieg des Grundwassers in Gewässernähe. Dieser Fall ist schematisch in Abbildung 4.3 – D abgebildet.

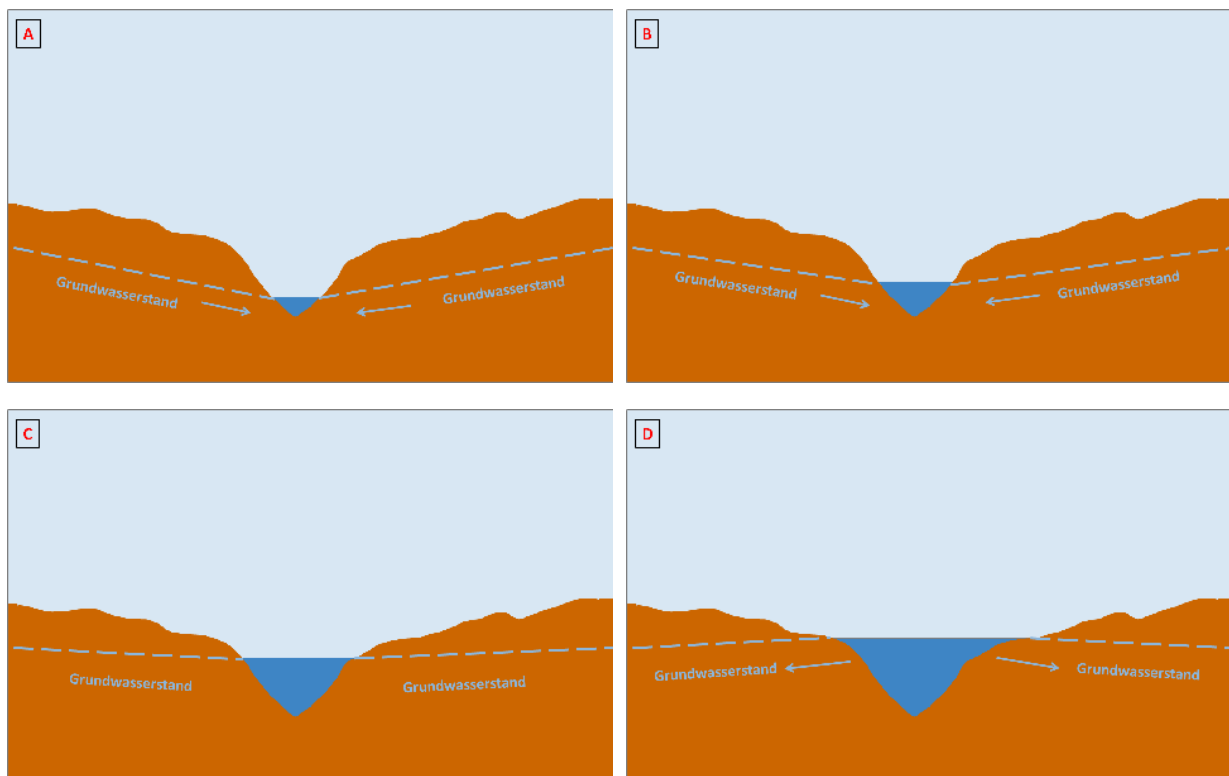


Abbildung 4.3: Darstellung der Entwicklung der Grundwasserströmungsrichtung bei steigendem Hochwasser

4.2.2 Wechselwirkung zwischen Stillgewässern und Grundwasser

Viele natürliche Stillgewässer verfügen über einen Zu- und einen Ablauf, die Wasserstandsdynamik ist in der Regel durch den Zufluss geprägt, sie ist meist geringer als bei Fließgewässern. Ungeachtet dessen interagieren sie mit dem Grundwasser ähnlich wie ein Fließgewässer.

In Stillgewässern ohne Zu- und Ablauf, hierzu gehören in der Regel auch Baggerseen, wird der Wasserstand nur durch Niederschlag und Verdunstung sowie den Zu- / Abstrom von Grundwasser geprägt. Die Wechselwirkung mit dem Grundwasser hängt vom Untergrund und einer ggf. vorhandenen Abdichtung des Stillgewässers an Ufer und/oder Sohle ab. Bei einem sehr durchlässigen Untergrund und ohne eine Abdichtung entspricht der Wasser-

stand des Stillgewässers in der Regel dem angrenzenden Grundwasserstand, lediglich als Folge starker Niederschläge liegt der Stillgewässerwasserstand kurzfristig (typischerweise wenige Stunden) über dem Grundwasserspiegel. Der Wasserspiegel in vollständig abgedichteten Stillgewässern ist praktisch unabhängig vom umgebenden Grundwasserstand, derart abgedichtete Stillgewässer liegen im Untersuchungsraum nicht vor und werden daher nicht weiter betrachtet.

Aufgrund der Durchlässigkeit des Bodens (gemeint ist hier der Untergrund im Nahbereich des Stillgewässers einschließlich einer ggf. vorhandenen Abdichtung) nähern sich die Wasserspiegel im Stillgewässer und dem Grundwasser auch nach „Störungen“ (z. B. starke Niederschläge) immer wieder an. Da sich der Wasserstand im See horizontal auspiegelt, führt das zu einer Erhöhung des Grundwasserstandes in Richtung der Grundwasserströmung und zu einer Absenkung des Grundwasserstandes entgegen der Grundwasserströmung (vergleiche Bild D in Abbildung 4.4).

Die Entwicklung des Grundwasserstandes nach einer Auskiesung ist in Abbildung 4.4 schematisch dargestellt. Die Grundwasserströmung erfolgt von links nach rechts, dem natürlichen Geländeprofil folgend, Bild A stellt die Situation zu Beginn der Auskiesung dar. Um die Strömungsprozesse zu verdeutlichen, wird davon ausgegangen, dass zu Beginn auch der Wasserstand innerhalb der Auskiesung abgesenkt wird. Im Laufe der Zeit nimmt der Wasserstand innerhalb der Auskiesung zu und nähert sich langsam dem Grundwasserstand an (vgl. Abbildung 4.4 Bild B und C). Nach einiger Zeit stellen sich ausgeglichene Verhältnisse ein. Diese sind in Bild D dargestellt und zeichnen sich durch eine Erhöhung des Grundwasserstandes entgegen der Grundwasserströmung und eine etwas größere Erhöhung in Richtung der Grundwasserströmung aus.

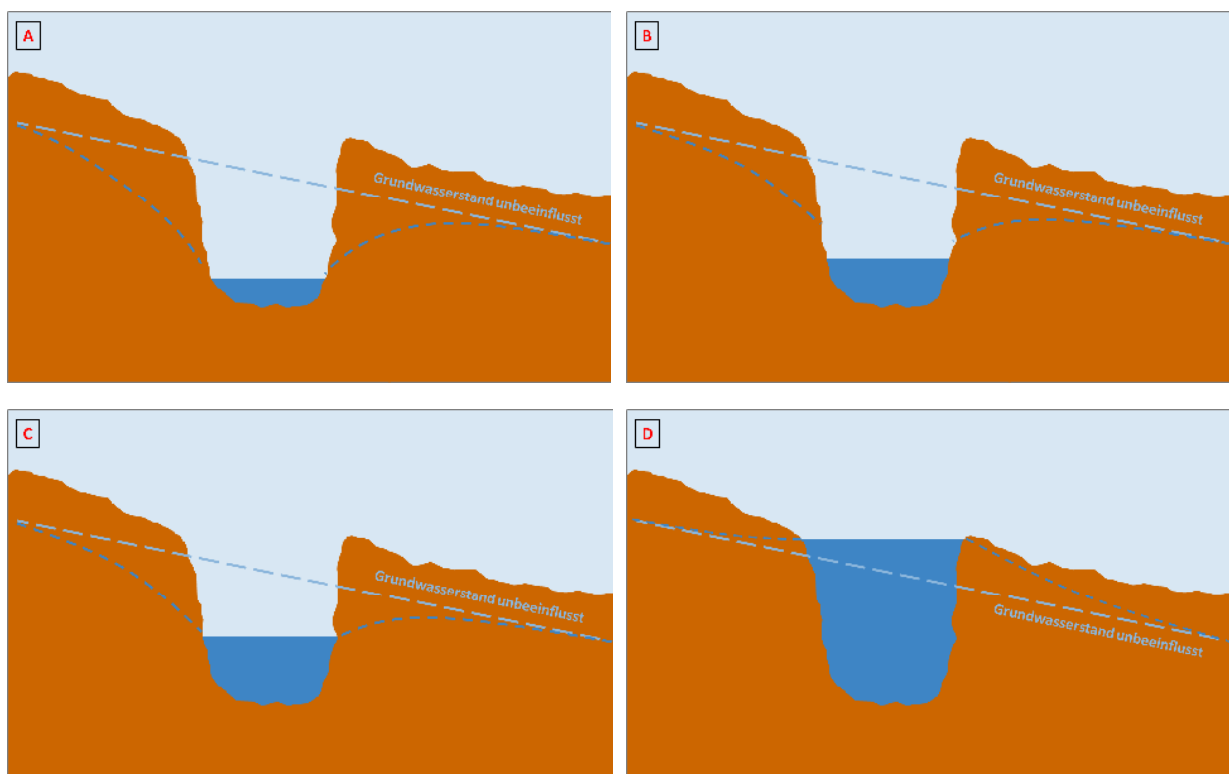


Abbildung 4.4: Schematische Darstellung der Grundwasserstandsentwicklung nach einer Auskiesung

4.2.3 Wechselwirkung zwischen Poldern, Überschwemmungsgebieten und dem Grundwasser

Hochwasserereignisse in Fließgewässern gehen in der Regel mit stark ansteigenden Wasserständen einher. Nachdem der Hochwasserstand erreicht ist, fällt der Wasserspiegel wieder ab. Vom Anstieg bis zum Abklingen der Hochwasserwelle vergehen bei kleineren Fließgewässern meist wenige Stunden, bei etwas größeren Fließgewässern, wie z. B. der Isse, kann dies auch ein oder auch mehrere Tage dauern.

Ein Hochwasserpolder entspricht in der Regel einer Fläche im Nahbereich eines Gewässers, welche bei einem Hochwasserereignis geflutet werden kann, um den Hochwasserabfluss unterhalb zu mindern. Bei Poldern kann zwischen gesteuerten und ungesteuerten Poldern unterschieden werden. Ungesteuerte Polder werden ab einer durch den Damm oder das Einlaufbauwerk bestimmten Wasserspiegellage automatisch geflutet, die Flutung von gesteuerten Poldern kann auf die Spitze der Hochwasserganglinie abgestimmt werden. Überschwemmungsgebiete werden ähnlich wie Hochwasserpolder bei großen Hochwasserereignissen überflutet. Dies geschieht in der Regel bei Überlastung des Gewässers bzw. beim Überströmen von Hochwasserschutzeinrichtungen an Gewässern.

Im Verlauf eines Hochwasserereignisses steigt der Wasserstand in einem Fließgewässer an und beeinflusst dadurch den Grundwasserstand im Nahbereich (vgl. Abbildung 4.5 Bild B). Durch den Einstau von Polderbereichen nimmt die Fläche, über die Wasser in den Grundwasserkörper eintreten kann, deutlich zu, der Anstieg des Grundwasserstandes erhöht sich weiter. Dies ist in Bild C dargestellt. Bei einer zusätzlichen Überflutung von Überschwemmungsgebieten vergrößert sich die Fläche, über die Wasser in den Grundwasserkörper eindringen kann, weiter. Erschwerend wirkt in diesem Fall, dass Überschwemmungsgebiete im Normalfall nicht über einen geregelten Abfluss verfügen und das Wasser somit lange auf den Flächen verweilen und zum Grundwasseranstieg beitragen kann (vgl. Abbildung 4.5 Bild D).

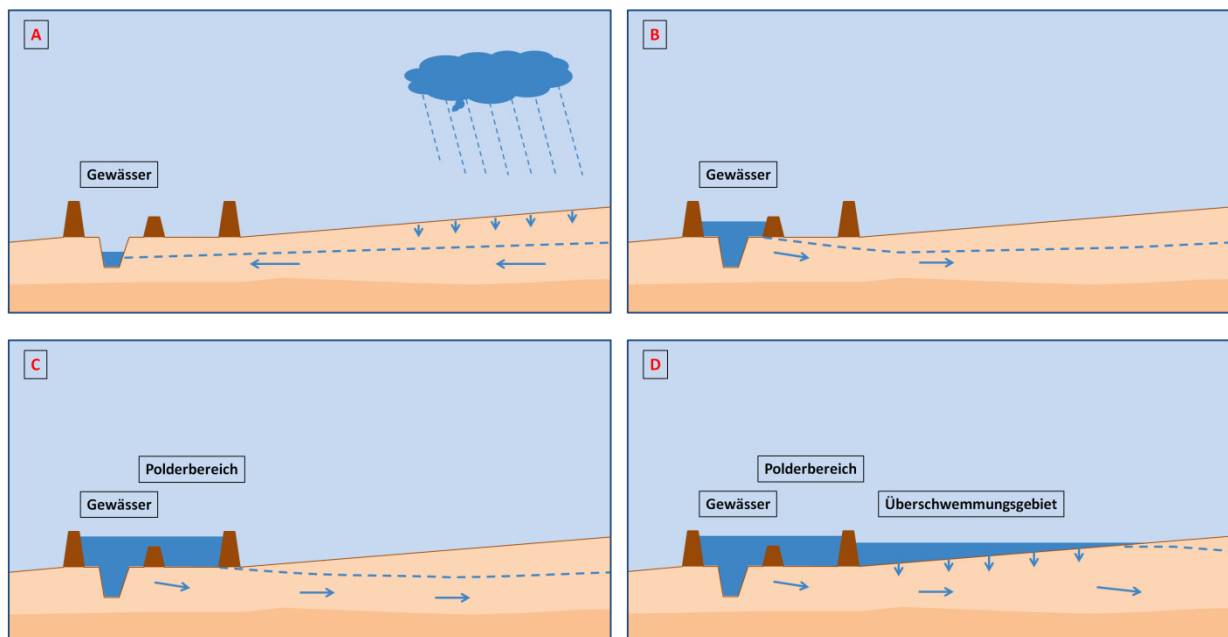


Abbildung 4.5: Auswirkungen von Hochwasser und Wasserrückhalt und Überschwemmung auf den Grundwasserstand

4.3 Grundwasserströmungsmodelle

Unter einem Modell versteht man eine vereinfachte Abbildung der Realität, welche die relevanten natürlichen Verhältnisse möglichst genau beschreibt. Zahlreiche Fragestellungen im Bereich der Hydrogeologie lassen sich nur mit Hilfe von Modellen hinreichend genau beantworten. Hierfür wurden im Laufe der Zeit verschiedene Verfahren und Modelle entwickelt. Diese lassen sich grob einteilen in physikalische und numerische Modelle, wobei mit den physikalischen Modellen der tatsächliche Nachbau des zu betrachtenden Gebietes (oder eines repräsentativen Teils) beschrieben wird, mit numerischen Modellen hingegen werden die relevanten Eigenschaften und Vorgänge mit Hilfe mathematischer Gleichungssysteme beschrieben und gelöst.

Numerische Grundwasserströmungsmodelle dienen der Berechnung der Grundwasserströmung in definierten Bereichen. Im Rahmen der Modellerstellung wird dabei der geologische Aufbau des Untergrundes möglichst genau nachgebildet. Neben der Geologie können auch viele weitere den Grundwasserstand beeinflussende Faktoren bzw. Randbedingungen innerhalb eines numerischen Grundwasserströmungsmodells berücksichtigt werden (bspw. Gewässer, Grundwasserneubildung, Wasserentnahmen etc.). Hierbei sind immer der Detaillierungsgrad und die zu betrachtende bzw. beantwortende Fragestellung zu berücksichtigen.

Generell kann zwischen 2D - und 3D - Grundwassermodellen unterschieden werden, wobei die 2D - Modelle in der Regel nur die Strömung innerhalb eines Grundwasserleiters abbilden und dabei die Strömung in horizontaler Richtung berücksichtigen. Bei einem 3D - Grundwassermodell wird darüber hinaus noch die Grundwasserströmung in vertikale Richtung, also zwischen den Bodenschichten bzw. auch die Interaktion zwischen verschiedenen Grundwasserleitern, simuliert. Ein weiteres wichtiges Kriterium bei der Erstellung eines GW - Modells ist die Festlegung, ob ein stationäres oder instationäres Modell erstellt werden soll. Stationäre Modelle bilden nur eine Momentaufnahme ab, beschreiben also den Zustand zu einem definierten Zeitpunkt, nicht aber die Änderung über die Zeit. Instationäre Modelle hingegen werden für einen definierten Zeitraum erstellt und bilden die Entwicklung des Grundwasserstandes innerhalb dieses Zeitraumes nach.

Die Wahl der Modellform hat einen maßgeblichen Einfluss auf die späteren Anwendungsmöglichkeiten des Modells. Beispielsweise ist für Aussagen zur zeitlichen Entwicklung der Grundwasserstände oder zur Berücksichtigung von variierenden Wasserständen in Fließgewässern eine instationäre Modellierung erforderlich. Da generell die meisten Prozesse in der Natur, die Auswirkungen auf den Grundwasserstand haben, zeitlichen Schwankungen unterliegen sind, sind die Anwendungsbereiche von stationären Grundwassermodellen sehr begrenzt.

5 Erstellung des Grundwassermodells

Mit Hilfe des Grundwassermodells werden alle relevanten Prozesse in den Grundwasserleitern modelliert. Zum Modellaufbau wurde eine Vielzahl von Daten benötigt, zur Ermittlung der Grundwasserneubildung wurde auf ein vorliegendes hydrologisches Modell zurückgegriffen. Die Fließverhältnisse in der Issel und in den Nebengewässern einschließlich der Überschwemmungen wurden mit einem ebenfalls bereits vorliegenden hydraulischen Modell berechnet.

Nachfolgend werden die Modellerstellung, die Kopplung der Modelle und die Modellkalibrierung beschrieben.

5.1 Datengrundlage

Grundlage für die Erstellung und Bearbeitung des Grundwassermodells sind zahlreiche Daten aus den Bereichen Hydrologie, Geologie und Bodendaten, Trinkwasserversorgung, Hochwasserschutz sowie Modellergebnisse dieser Untersuchung vorangegangenen Projekten der ProAqua Ingenieurgesellschaft. Im Rahmen der Modellerstellung wurde das Grundwassermodell mit einem hydraulischen sowie einem hydrologischen Modell gekoppelt. Auf die Datengrundlage dieser Modelle wird hier nicht näher eingegangen, da diese schon in den entsprechenden Projektberichten detailliert beschrieben sind (vgl. ProAqua, 2017).

5.1.1 Oberflächengewässer

Für den Rhein wurden durch das Wasser- und Schifffahrtsamt Duisburg-Rhein die Wasserstandsganglinien der Pegel Wesel und Rees zur Verfügung gestellt. Durch die EGLV (Emschergenossenschaft Lippeverband) wurden darüber hinaus die Ganglinien des Lippepegels Fusternberg bereitgestellt.

Die Lage der verwendeten Pegel ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Die Pegelstammdaten sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Tabelle 5.1: Pegelstammdaten der verwendeten Pegel an Rhein und Lippe

Pegelname	Rees	Wesel	Fusternberg
Pegelnummer	2790010	2770040	20001
Gewässer	Rhein	Rhein	Lippe
Flusskilometer	837,40	814,00	179,30
Pegelnulldatum (PNP)	8,74	11,22	14,13
Betreiber	WSA-Duisburg-Rhein	WSA-Duisburg-Rhein	EGLV

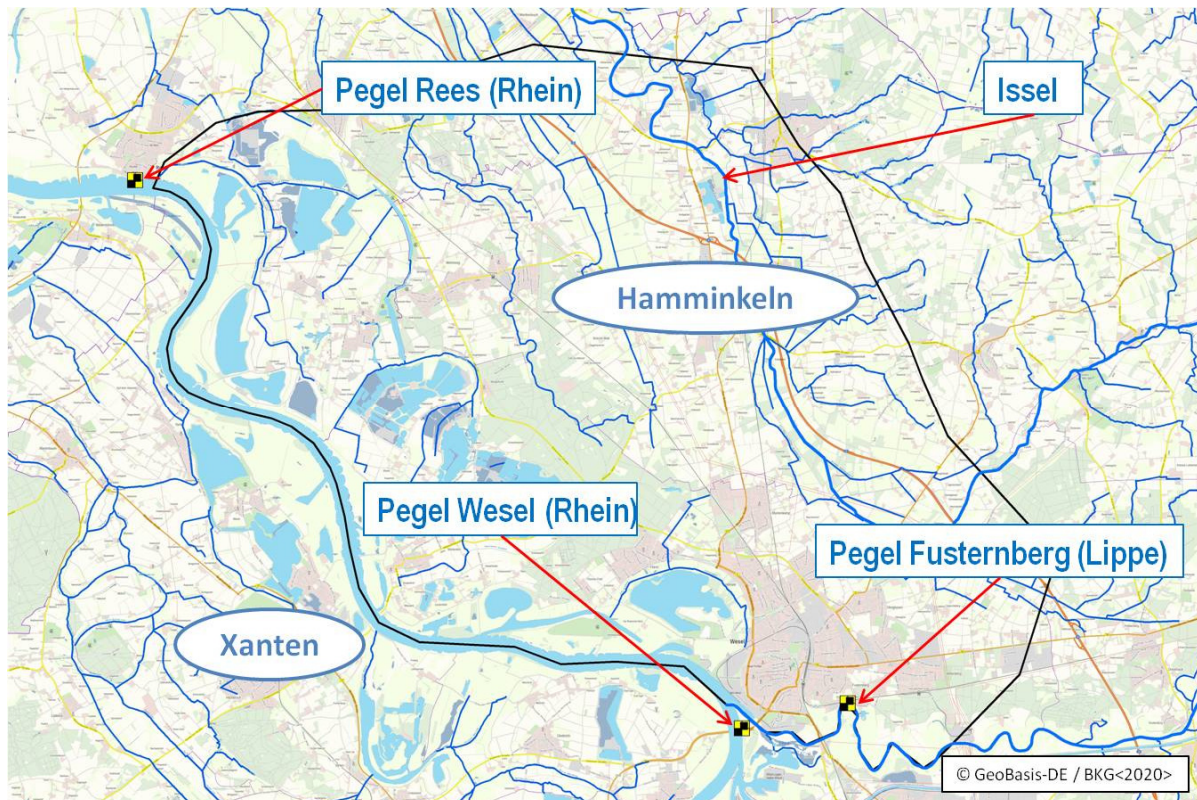


Abbildung 5.1: Übersicht der verwendeten Pegel an Rhein und Lippe

Neben Rhein und Lippe wird das Projektgebiet durch die Issel mit ihren zahlreichen Nebengewässern geprägt. An diesen Gewässern sind im Projektgebiet keine Pegel vorhanden, die einzigen Issel-Pegel (Dämmerwald und Isselburg) liegen oberhalb bzw. unterhalb des Projektgebietes. Um dennoch die Wasserstände der Issel und Nebengewässer im Grundwassermodell berücksichtigen zu können, wurden die entsprechenden Wasserstände mit Hilfe eines hydraulischen 2D - Modells berechnet. Die im 2D-Hydraulikmodell berücksichtigten Gewässer sind in der nachfolgenden Abbildung (vgl. Abbildung 5.2) dargestellt.

Im Nahbereich des Rheins liegen diverse Abgrabungen und Altarme, die Lage kann Abbildung 5.2 entnommen werden.

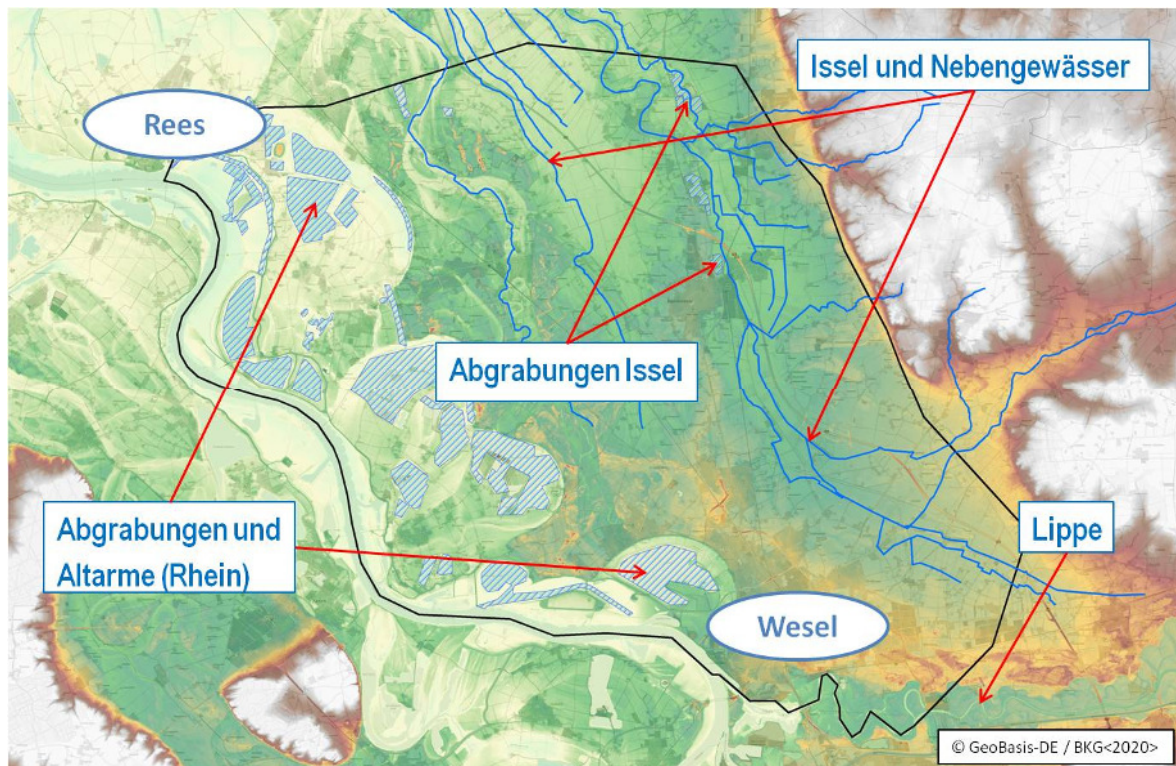


Abbildung 5.2: Gewässer im Issel 2D-Hydraulikmodell und Abgrabungen / Altarme am Rhein

5.1.2 Geologische Verhältnisse

Für die Fließverhältnisse ist eine gute Kenntnis zum Aufbau des Untergrundes wichtig. Für das Projektgebiet wurden durch den Geologischen Dienst NRW Hydrologische Karten zur Verfügung gestellt. In diesen enthalten sind Profilkarten, die den Aufbau des Untergrundes, abgeleitet aus Bohrprofilen, für das gesamte Projektgebiet beschreiben. Neben der geologischen Schichtgliederung können die Mächtigkeit der grundwasserführenden Schichten, aber auch die Durchlässigkeit des Gesteins aus diesen Karten abgelesen werden. In Tabelle 5.2 Tabelle 5.2 sind die verwendeten Kartenblätter der HyK25 aufgeführt.

Tabelle 5.2: Übersicht der HyK25-Karten

Bezeichnung	Herausgeber	Datum
4104 Anholt	Landesanstalt f. Wasser und Abfall	1977
4204 Rees	Landesanstalt f. Wasser und Abfall	1968
4205 Dingden	Landesanstalt f. Wasser und Abfall	1966
4206 Brünen	Landesanstalt f. Wasser und Abfall	1968
4304 Xanten	Landesanstalt f. Wasser und Abfall	1966
4305 Wesel	Landesanstalt f. Wasser und Abfall	1965

Die kf-Wert-Bestimmung bzw. die Festlegung der Bereiche, in welchen die entsprechenden Werte modelltechnisch variiert werden können, basiert im Wesentlichen auf der Einteilung der Gesteinsarten in der HyK25. Aufbauend auf dieser Klassifizierung wurden für die vorherrschenden Gesteinsarten der einzelnen Layer nach Häufigkeit der Vorkommen und über die Bodenart entsprechende Kf-Wertbereiche bestimmt.

Die Einteilung der Korngrößenklassen und Durchlässigkeitsstufen der HyK25 ist nachfolgend dargestellt.

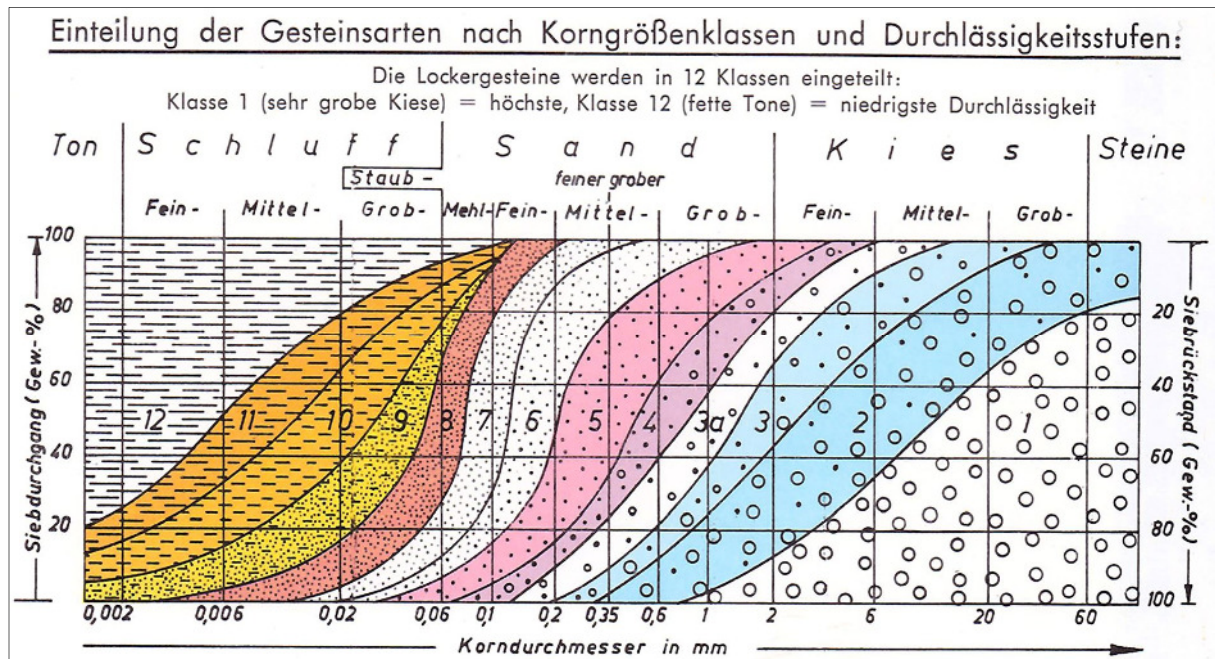


Abbildung 5.3: Einteilung der Gesteinsarten nach Korngrößenklassen und Durchlässigkeitsstufen (© Geologischer Dienst 2019)

Nach der Zuteilung der Modellschichten bzw. Modellgrundwasserleitern zu den entsprechenden Korngrößenklassen und Durchlässigkeitsstufen wurden anschließend mit Hilfe einer Übertragungstabelle die Bereiche für die kf-Werte festgelegt. Die verwendeten Zuordnungen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 5.3: kf-Wertbereiche verschiedener Bodenarten (© Arbeitshilfen Abwasser, 2006)

Bodenart	Kf-Wert (obere Grenze)	Kf-Wert (untere Grenze)
[-]	[m/s]	[m/s]
Grobkies	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Fein-/Mittelkies	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Sandiger Kies	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Grobsand	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Mittelsand	$1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Feinsand	$5 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6}$
Schluffiger Sand, sandiger Schluff	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-8}$
Schluff	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-9}$
Toniger Schluff	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-10}$
Schluffiger Ton, Ton	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-11}$

5.1.3 Wassergewinnungen im Projektgebiet

Innerhalb des Projektgebietes befinden sich 4 Wassergewinnungsgebiete mit insgesamt 24 Fassungen. Die Lage der Fassungen sowie die Entnahmemengen der letzten Jahre wurden durch die Betreiber zur Verfügung gestellt. Die Entnahmemengen der Jahre 2015 und 2016 können der Tabelle 5.4 entnommen werden, die Lage der Fassungen und Bezeichnung der Gewinnungsgebiete ist in Abbildung 5.4 abgebildet.

Tabelle 5.4: Jahresentnahmemengen der Wassergewinnungen im Projektgebiet

Gewinnungsgebiet	Jahresentnahme 2015 [m³/a]	Jahresentnahme 2015 [m³/d]	Jahresentnahme 2016 [m³/a]	Jahresentnahme 2016 [m³/d]
Wittenhorst	2.323.304	6.365	2.277.847	6.241
Blumenkamp	1.334.375	3.656	1.401.383	3.839
Stadtwerke Wesel	3.708.701	10.160	3.616.169	9.907
Haus Aap	1.424.562	3.903	1.590.989	4.359
Gesamtentnahme	8.790.942	24.084	8.886.388	24.364

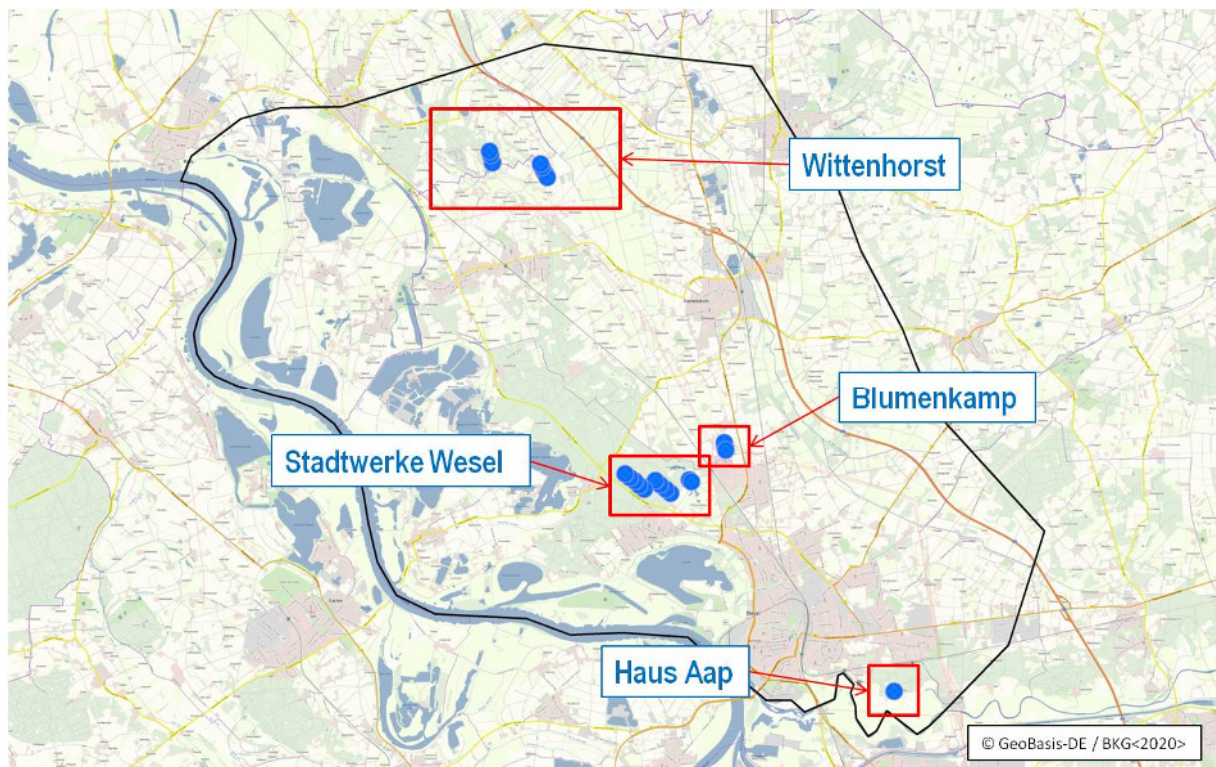


Abbildung 5.4: Bezeichnung und Lage der Wassergewinnungsgebiete im Projektgebiet

5.1.4 Grundwassermessstellen

Im Projektgebiet sind zahlreiche Grundwassermessstellen vorhanden. Die Wasserstandszeitreihen dieser Messstellen wurden für das vorliegende Projekt durch die Bezirksregierung Düsseldorf sowie das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen des Projekts steht die Veränderung des Grundwasserstands während und nach Hochwasserereignissen im Fokus der Betrachtung. Aufgrund dessen sind vor allem Grundwassermessstellen mit einer hohen zeitlichen Auflösung (Wochen- oder Tagesmessungen) von Interesse. Alle Grundwassermessstellen, die diesen Anforderungen zumindest zeitweise erfüllen, sind in der Abbildung 5.5 sowie Tabelle 5.5 aufgeführt.

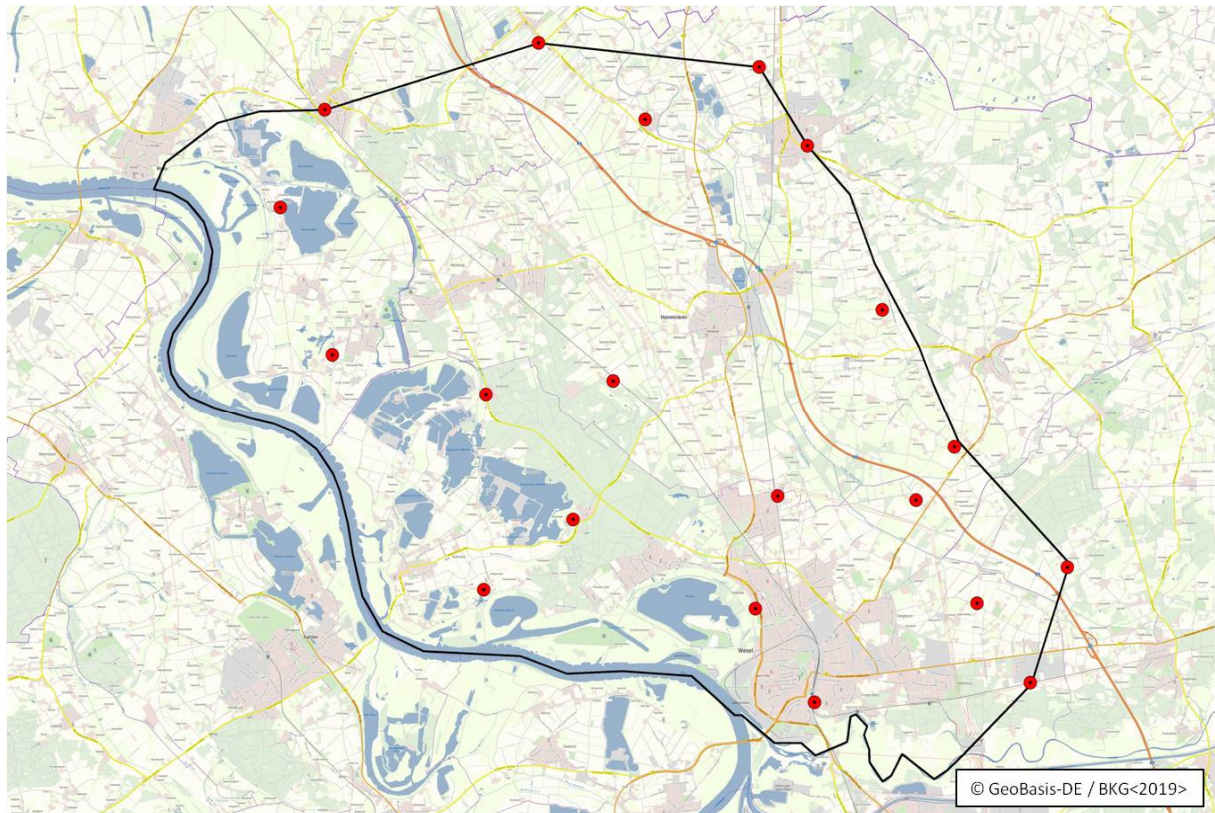


Abbildung 5.5: Lage der verwendeten Grundwassermessstellen im Projektgebiet

Dargestellt sind alle Grundwassermessstellen, an denen in den letzten 15 Jahren ganz oder zeitweise im Wochen-Rhythmus oder häufiger der Grundwasserstand erfasst wurde. Es sind jedoch auch einige Messstellen enthalten, die im oben genannten Zeitraum nur für kurze Zeitabschnitte eine hohe zeitliche Auflösung aufweisen, in anderen Zeiträumen jedoch gar nicht oder nur in sehr großen zeitlichen Abständen erfasst wurden.

Tabelle 5.5: Verwendete Grundwassermessstellen im Projektgebiet

Messstellenbezeichnung	Messstellennummer	ProAqua ID
OBRIGH BAW NR 45	040100297	GW_1001
1 06 050 - HS 104	040060500	GW_1002
BRUENEN 133	040100492	GW_1003
Telgerhuck	040205034	GW_1004
Hasselmannsfeld	040205022	GW_1005
DINGDEN 59	040201491	GW_1006
WERTHERBRUCH 21	040100169	GW_1007
HALDERN Nr 22	080100170	GW_1008
BISLICHER WALD 42	040100261	GW_1011
BLUMENKAMP NR 43	040100273	GW_1012

Messstellenbezeichnung	Messstellennummer	ProAqua ID
OBRIGHOVEN NR 137	040200607	GW_1016
LACKHAUSEN 176	040200899	GW_1018
BERGEN 177	040200905	GW_1019
DIERSFORDT 178	040200917	GW_1020
WESTERHEIDE 179	040200929	GW_1021
ELSHOLTWEG	040205010	GW_1022
FRIEDENSSTR	040305016	GW_1023
Freybergweg	040305030	GW_1025
HAF DECKERSH Nr 40	080100247	GW_1026
HAFFEN MEHR Nr 26	080200059	GW_1028

5.2 Modellaufbau

Die Modellabgrenzung orientiert sich zunächst an den zu untersuchenden Gebieten. Diese sollten sich innerhalb des Modells mit einem ausreichenden Abstand zum Modellrand befinden. Darüber hinaus orientiert sich die Modellabgrenzung an den vorherrschenden Grundwasserströmungen, den Oberflächengewässern (Rhein, Issel, Lippe) sowie den vorhandenen geologischen Verhältnissen.

Die untere Begrenzung des Grundwasserleiters wird gebildet aus bindigen tertiären Ablagerungen mit sehr geringen Durchlässigkeiten. Im Untersuchungsgebiet setzen sich diese zu großen Teilen aus Dingdener Glimmerton (Di), Weseler Sande (We) und Lintforter Mehlsand (Li) zusammen.

Oberhalb dieser Schicht befindet sich der Hauptgrundwasserleiter. Der Boden in diesen Schichten setzt sich zu großen Teilen aus Sand und Kies in unterschiedlichen Abstufungen zusammen. Um die variierenden Bodenschichten im Modell besser berücksichtigen zu können, wird dieser im Modell aus 3 Schichten mit unterschiedlichen Durchlässigkeitsbeiwerten abgebildet.

Der Grundwasserleiter wird in den meisten Bereichen durch bindige Deckschichten überlagert. Diese entstanden durch Flugsand-Ablagerungen sowie Hochwasserablagerungen des Rheins. Diese Ablagerungen verfügen über Mächtigkeiten von ca. 0,5 -2,0 m und haben i. d. R. geringe Durchlässigkeiten. Hauptvertreter dieser Deckschichten im Untersuchungsgebiet sind Flugsand (FS), Talsand (TS) und lehmiger Talsand (LTS).

Die vorherrschende regionale Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet ist durch den Rhein geprägt und dementsprechend südwestlich gerichtet. Neben diesem Gewässer spielen auch die Abgrabungsseen entlang des Rheins sowie die kleineren Gewässer (Lippe, Issel und Nebengewässer) eine Rolle bei der Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet.

Die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten werden auf Grundlage der HyK25-Karten ermittelt. Mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) können diese Informationen aus den analogen Karten extrahiert und digital aufbereitet werden. Der im Untersuchungsgebiet übliche Bodenaufbau ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

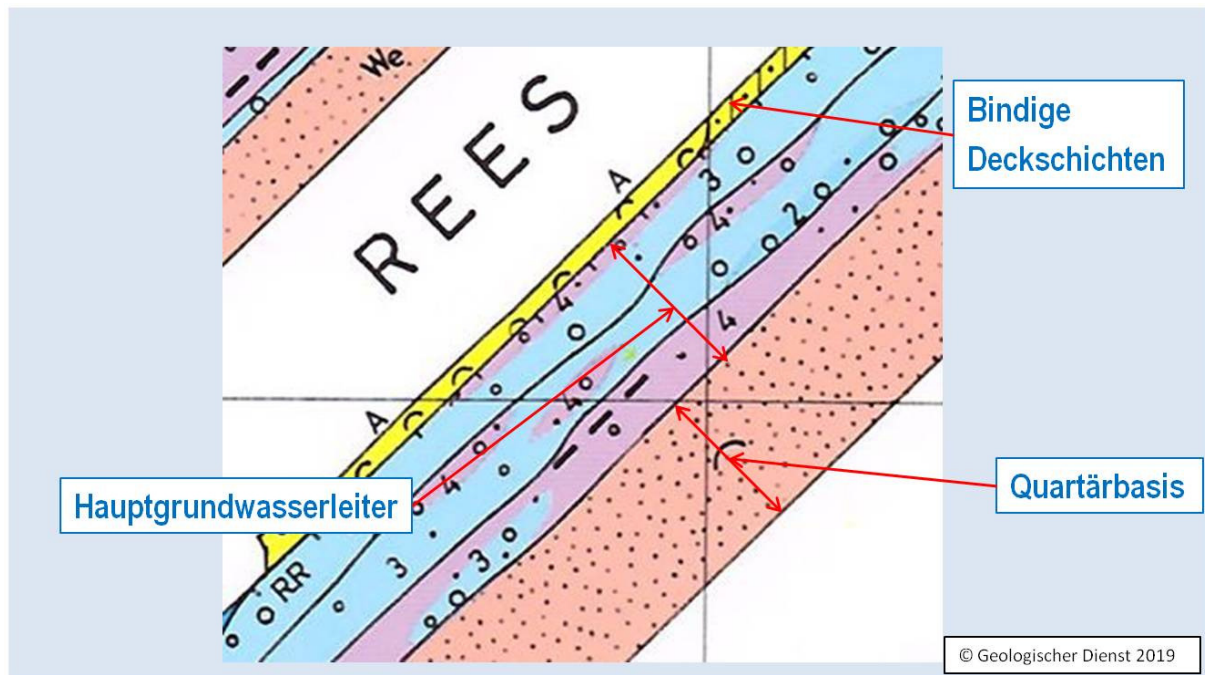


Abbildung 5.6: Hydrogeologische Schichten, Ausschnitt aus HyK25-Karte des Geologischen Dienstes NRW

5.2.1 Horizontale und vertikale Diskretisierung

Das numerische Finite-Elemente-Gitter wurde mit dem in FEFLOW enthaltenen Netzgenerator mit dem Triangle-Verfahren erstellt. Durch das Verfahren werden für jede Netzebene Netzgitter aus Dreieckselementen erstellt. Die einzelnen horizontalen Ebenen wurden im Anschluss vertikal miteinander verbunden und bilden so zwischen den Ebenen Prismen, welche auch als Netzelemente bezeichnet werden.

Die Geländeoberkante wird auf Basis des Digitalen Geländemodells NRW (DGM1) erstellt.

Die Modellränder, die Wasserefassungen sowie alle im Hydraulik-Modell enthaltenen Gewässer wurden bei der Netzgenerierung berücksichtigt, sodass einerseits in diesen Bereichen eine Zuordnung von Netzknoten des Grundwassermodells zu Netzknoten des Hydraulikmodells möglich ist. Andererseits hat dies den Vorteil, dass in den entsprechenden Bereichen das Netz deutlich feiner aufgelöst wird.

Das so erstellte Netz weist für jede Modellebene die folgenden Eigenschaften auf:

- 223 km²
- 135.249 Netzknoten
- 269.988 Netzelemente

Der hydrogeologische Aufbau des Modells basiert auf den Bodenprofilen der HyK25-Karten. Hieraus wurden insgesamt 5 Modellgrundwasserleiter bzw. Modellebenen (Layer) abgeleitet. Jede Modellebene wird durch eine Grenzschicht (in FEFLOW = Slice) abgegrenzt. Dadurch ergeben sich insgesamt 6 Schichtgrenzen im Modell. Die sich daraus ergebende vertikale Diskretisierung des Modells wird durch die folgende Abbildung 5.7 verdeutlicht.

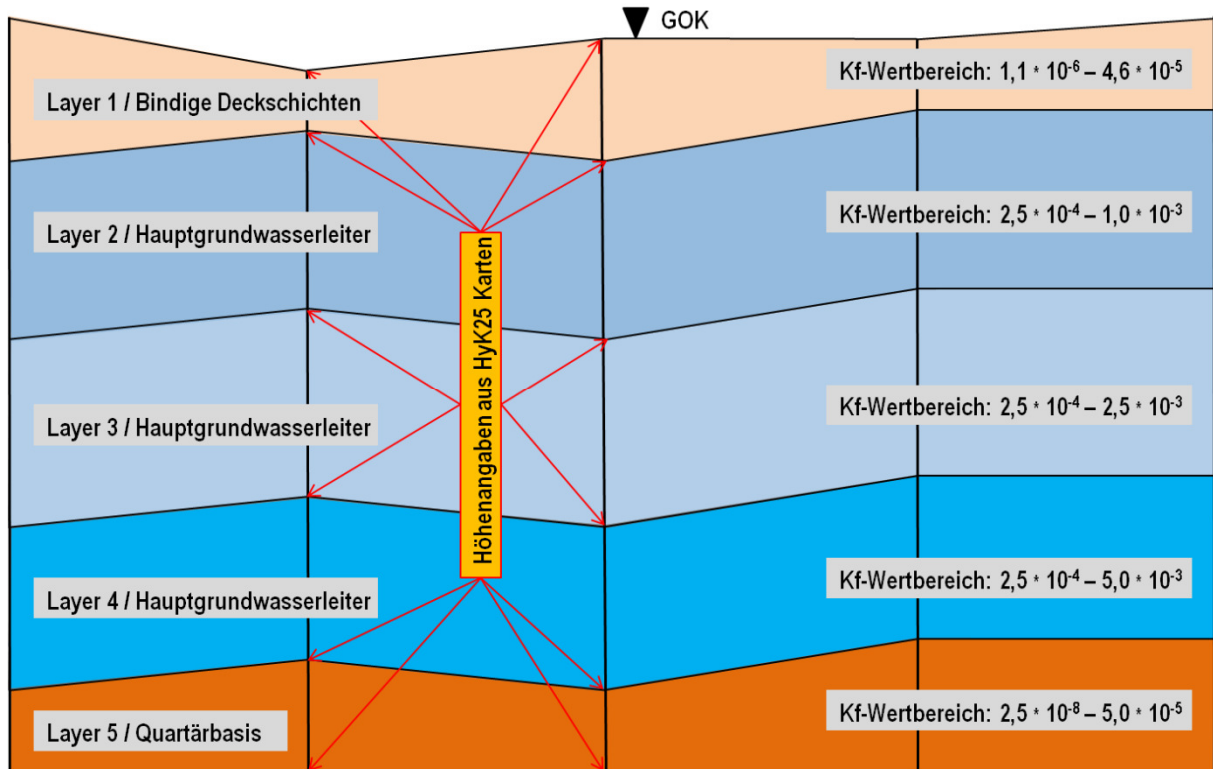


Abbildung 5.7: Vertikaler Aufbau des GW-Modells, Übersicht der Layer und Kf- Wertbereiche

5.2.2 Randbedingungen

Die Lösung der Strömungsgleichungen im Grundwassermodell ist nur möglich, wenn für die Modellränder eindeutige Bedingungen definiert werden können. Diese Randbedingungen müssen den Grundwasserstand im betrachteten Bereich direkt oder indirekt beschreiben. Direkt heißt, dass der Grundwasserstand direkt vorgegeben wird (in der Regel sind dies gemessene Grundwasserstände). Bei einer indirekten Randbedingung wird die Wasserspiegellage entlang eines mit dem Grundwasser in Verbindung stehenden Oberflächengewässers vorgegeben.

Im vorliegenden Fall wurden die Modellränder im südwestlichen bis südlichen Bereich durch die Wasserspiegel-lagen der Gewässer Rhein und Lippe abgebildet. Der nördliche und nordöstliche Bereich wurde mit Hilfe von gemessenen Grundwasserständen und daraus abgeleiteten interpolierten Grundwasserständen definiert.

Neben den äußeren Randbedingungen wurden auch innerhalb des Modells Randbedingungen definiert. Dies betrifft die Wasserstandsganglinien von Issel und Nebengewässern sowie die Wassergewinnungen.

Die Implementierung kann über vier verschiedene Arten von Randbedingungen erfolgen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 5.6 aufgeführt und erläutert.

Tabelle 5.6: Erläuterung der Randbedingungen in FEFLOW

Art	Bezeichnung	Beschreibung	Modellelement	Beispiel
1. Art	Dirichlet	Die Piezometerhöhe wird vorgegeben	Knoten	Grundwassermessstelle
2. Art	Neumann	Der Zu- / Abfluss entlang einer Linie / Fläche wird vorgegeben	Linie / Fläche	Bekannter Grundwasserzu- / -abstrom

Art	Bezeichnung	Beschreibung	Modellelement	Beispiel
3. Art	Cauchy	Es wird ein Wasserstand / eine Piezometerhöhe in Kombination mit einer Leakage-Rate vorgegeben	Fläche / Knoten	Gewässer mit Kolmations-schicht
4. Art	Brunnen	Definierte Entnahme oder Zugabe an einem Knoten	Knoten	Wasserentnahme / Injektionsbrunnen

Neben den zuvor erwähnten Randbedingungen an den Modellrändern wurden bei dem vorliegenden Modell die in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Gewässer, welche im 2D-Modell Issel enthalten sind, als Randbedingungen angesetzt. Darüber hinaus sind innerhalb des Modellgebiets Wassergewinnungsgebiete vorhanden. Diese werden als Randbedingungen 4. Art im Modell implementiert.

Eine Übersicht der im Modell angesetzten äußeren und inneren Randbedingungen sind in Abbildung 5.8 dargestellt.

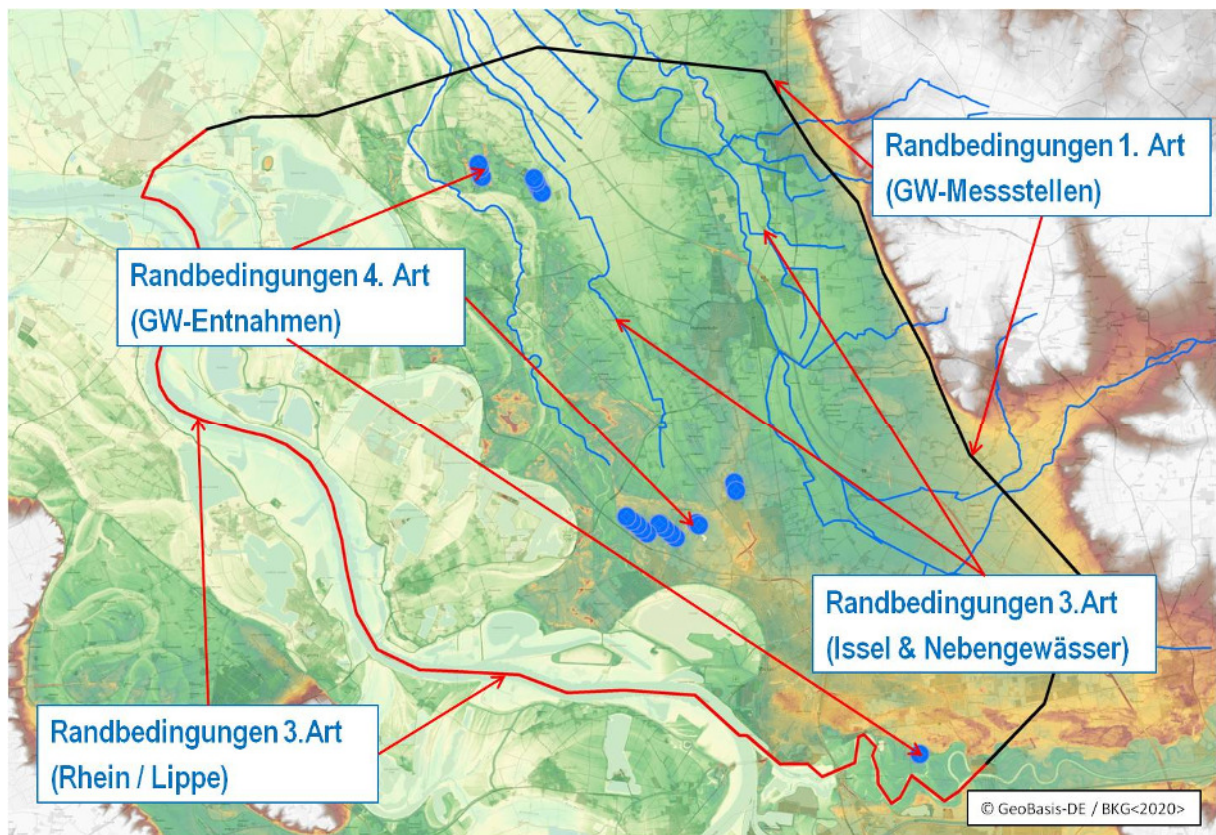


Abbildung 5.8: Lage und Art der im Grundwassermodell angesetzten Randbedingungen

5.2.3 Einbindung der Abgrabungsseen

Die in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Abgrabungsseen entlang des Rheins haben Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse. Da im Vorfeld der Untersuchung eine belastbare Abschätzung der Auswirkungen auf das Grundwasser im Projektgebiet nicht möglich war, wurde dieser Bereich im Grundwassermodell detailliert abgebildet. Die hierfür notwendigen Unterlagen / Informationen wurden von den Betreibern der Abgrabungen zur Verfügung gestellt.

Der Aufbau der Abgrabungen folgt einem einheitlichen Muster. Im Verlauf der Kies- und Sandgewinnung werden zunächst die bindigen Deckschichten entfernt und als Abraum zwischengelagert. Im Anschluss erfolgt die Kies- und Sandförderung, bis zum Erreichen der Quartärbasis. In den Bereichen, in denen die Förderung abgeschlos-

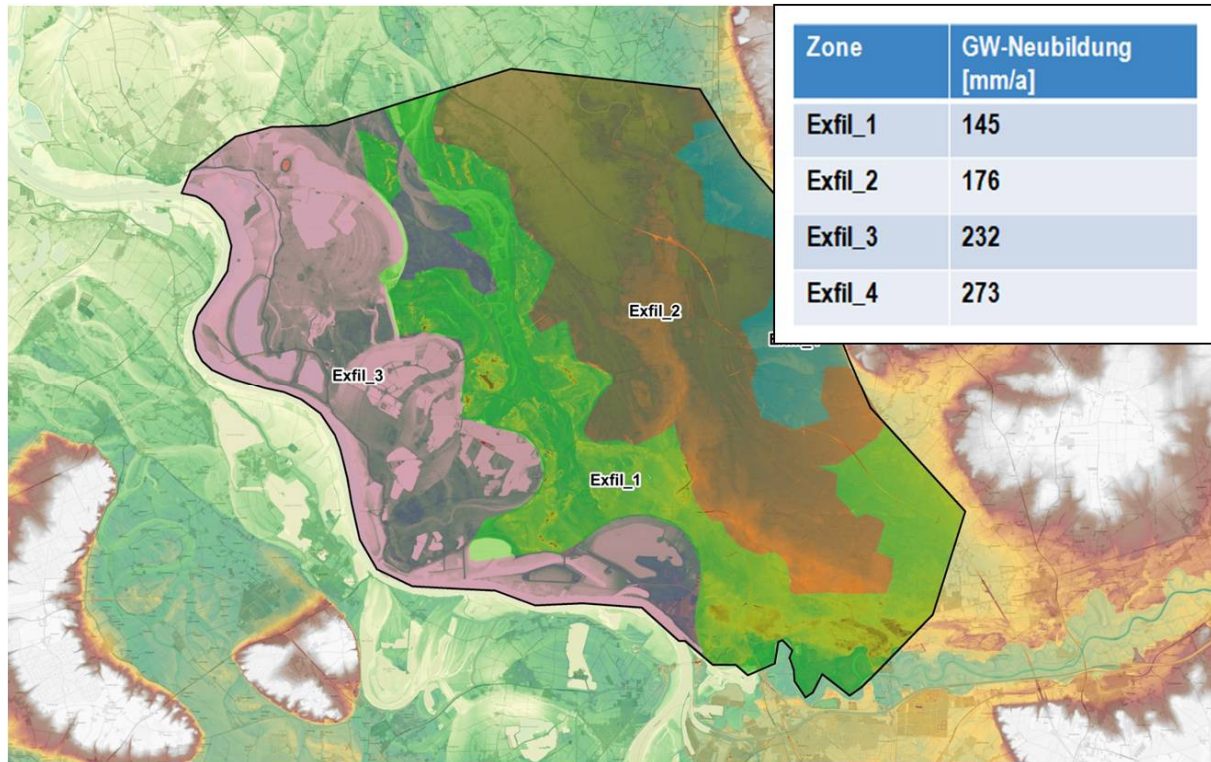


Abbildung 5.10: Aufteilung der Grundwasserneubildung im Projektgebiet

Hydraulik-Modell

Wie beschrieben, hat die Issel und Ihre Nebengewässer maßgeblichen Einfluss auf die lokalen Grundwasserstände. Im Falle von Hochwasser sind neben den Gewässern insbesondere die Überschwemmungsflächen und aktivierte Polder bedeutend. In dem bereits vorliegenden hydraulischen 2D-Modell sind die wesentlichen Gewässer und Abgrabungsseen im Einzugsgebiet der Issel enthalten (siehe auch Abbildung 5.2). Das hydraulische 2D-Modell wurde zur Berechnung der Wasserstände verwendet und diese im Grundwassermodell als Randbedingungen angesetzt. Da die hydraulischen Berechnungen sehr zeitintensiv sind, konnte dieser Ansatz nur für die Hochwasserereignisse im Juni 2016 verwendet werden.

Da die Netzknoten des hochaufgelösten 2D-Hydraulik-Modells nicht mit den Netzknoten in FEFLOW übereinstimmen, wurde bei ProAqua ein Tool entwickelt, mit dem die Zuordnung der Zeitreihen zu den Netzknoten vereinfacht wird und eine Umwandlung in das Zeitreihenformat von FEFLOW erfolgt.

5.3 Kalibrierung des Grundwassermodells

Wie oben beschrieben, basiert das Grundwassermodell auf vielen Daten. Da nicht alle zur Modellierung erforderlichen Modellparameter aus den Grundlagen direkt abgeleitet werden konnten und die Daten nicht alle Details beinhalten, ist eine Kalibrierung des Modells erforderlich. Im Rahmen der Kalibrierung werden rückliegende Ereignisse unter Ansatz der gemessenen Niederschläge, Rheinwasserstände etc. nachgerechnet. Die Berechnungsergebnisse werden mit gemessenen Grundwasserständen verglichen. Sofern die berechneten Werte von den gemessenen signifikant abweichen, werden Modellparameter geändert und erneut simuliert. Dieser iterative Vorgang wird solange wiederholt, bis dass die berechneten und gemessenen Werte eine gute Übereinstimmung aufweisen.

Bzgl. der Modellparameter lag der Fokus primär auf der Modifikation der kf-Werte innerhalb der in Kapitel 5.1.2 definierten Bereiche. Ergänzend wurden die Durchlässigkeiten (Transferraten) an den Gewässersohlen modifiziert.

Der Prozess der Kalibrierung wurde für verschiedene Modellbereiche und Zeiträume durchgeführt. Diese werden in den nachfolgenden Kapiteln eingehender beschrieben.

Langzeitkalibrierung

Aufgrund der verfügbaren Messwerte und Zeitreihen wurde ein Zeitraum von 2 Jahren (01.01.2015 – 31.12.2016) zur Langzeitkalibrierung gewählt. Da für die Issel und die Nebengewässer keine Messwerte vorlagen, wurde für diese Gewässer ein konstanter Wasserstand (ca. Median) angesetzt.

Zur Veranschaulichung der Kalibrierungsergebnisse werden die gemessenen sowie modelltechnisch ermittelten Grundwasserstandsganglinien für ausgewählte Grundwassermessstellen nachfolgend dargestellt (vgl. Abbildung 5.11).

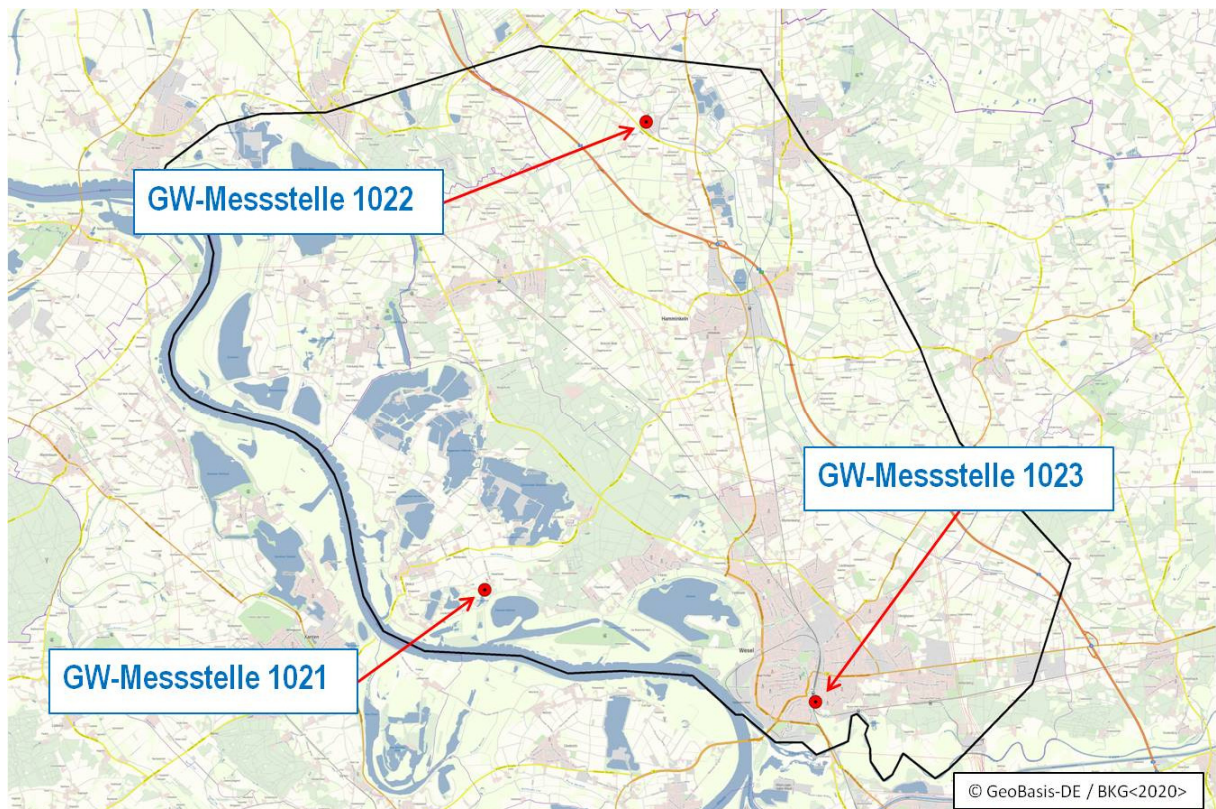


Abbildung 5.11: Lage und Bezeichnung der für die Darstellung der Kalibrierungsergebnisse verwendeten Messstellen

In Abbildung 5.12 sind rheinnahe Grundwasserstände dargestellt. Neben den an der Grundwassermessstelle GW 1021 gemessenen Grundwasserständen (grüne Ganglinie) sind auch die für die gleiche Stelle berechneten Grundwasserstände (rote Ganglinie) dargestellt. Ergänzend sind die Wasserstände im Rhein abgebildet.

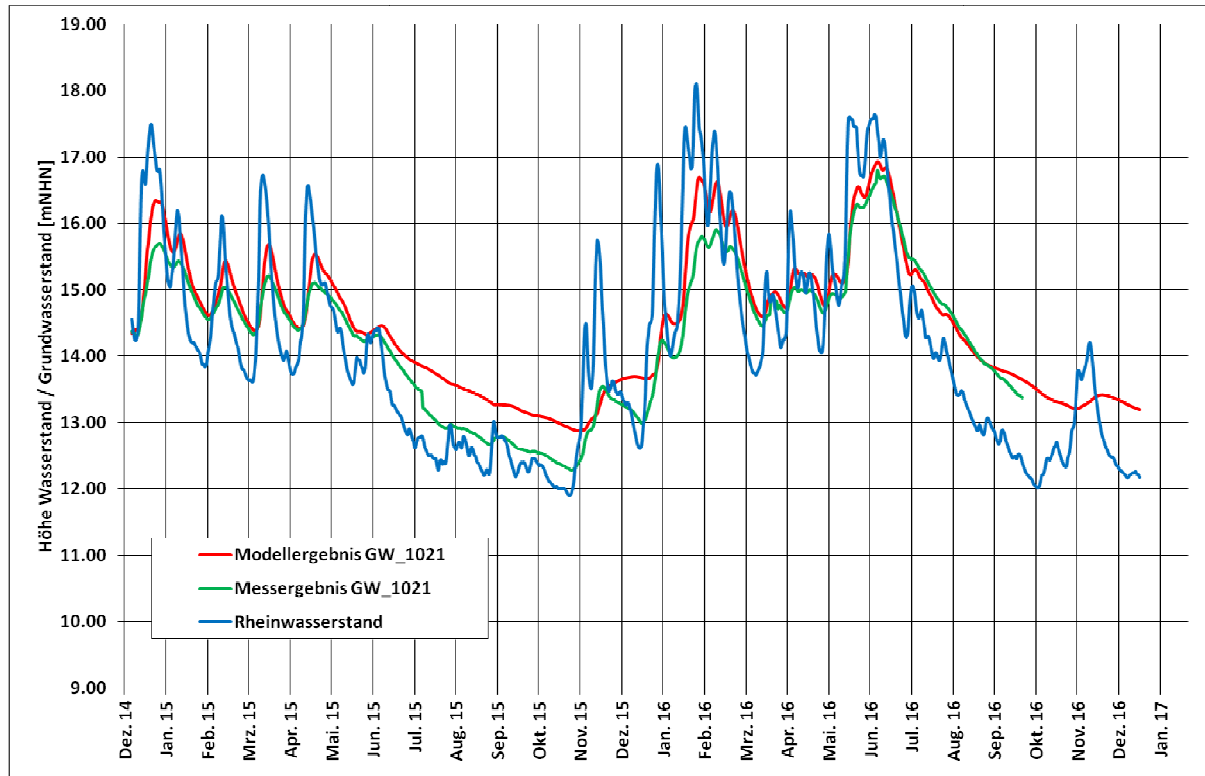


Abbildung 5.12: Gemessene und berechnete Grundwasserstände für die Messstelle GW_1021 sowie der Rheinwasserstand im Nahbereich der Messstelle

Abbildung 5.12 zeigt, dass die Grundwasserstände im Nahbereich des Rheins dem Rheinwasserstand folgen, jedoch ist der Verlauf zeitlich verzögert und gedämpft. Die Abbildung zeigt auch, dass die berechneten Grundwasserstände sehr gut mit den gemessenen übereinstimmen, die Grundwasserhöchststände als Reaktion auf die Hochwasserspitzen im Rhein werden modellseitig jedoch leicht überschätzt.

In Abbildung 5.13 sind ebenfalls Grundwasserganglinien (berechnet=rot und gemessen=grün) für die Grundwassermessstelle 1023 (im Nahbereich der Lippe) dargestellt. Neben diesen ist auch der Lippe-Wasserstand abgebildet. Es wird deutlich, dass die Grundwasserstände in diesem Bereich weniger variieren (knapp ein Meter, zum Vergleich: im Nahbereich vom Rhein schwanken die Grundwasserstände eher im Bereich von bis zu drei Metern), auch die Wasserstände der Lippe sind deutlich ausgeglichener. Generell korrespondieren die Grundwasserstände im Nahbereich der Lippe ebenfalls deutlich mit den Wasserständen der Lippe, die Grundwasserstände an Station GW_1023 reagieren jedoch langsamer als bei Station GW_1021.

Die Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Grundwasserstände ist auch hier als gut zu bewerten.

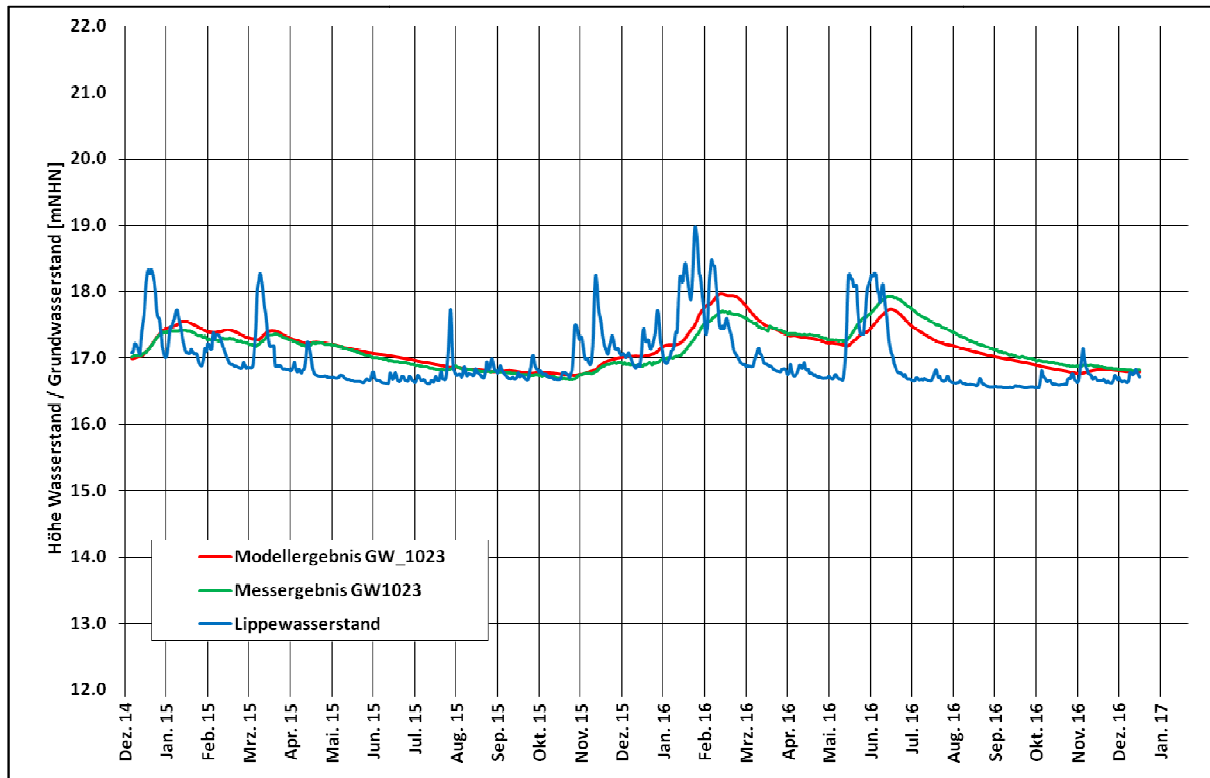


Abbildung 5.13: Gemessene und berechnete Grundwasserstände für die Messstelle GW_1023 sowie der Lippewasserstand im Nahbereich der Messstelle

Kalibrierung auf Grundlage der Hochwasserereignisse 2016

Die zweite Phase der Kalibrierung setzt auf den Ergebnissen der ersten Phase auf. Im Gegensatz zur ersten Phase stehen in der zweiten Phase auch dynamische Wasserstandsdaten nicht nur für Rhein und Lippe, sondern auch für das gesamte Issel-System mit Nebengewässern zur Verfügung.

Daher lag ein Schwerpunkt in der zweiten Phase der Kalibrierung auf der Bestimmung der Transfer-Raten im Bereich von Issel und Nebengewässern sowie auf dem Einfluss der Überschwemmungsgebiete entlang der Issel und Nebengewässern.

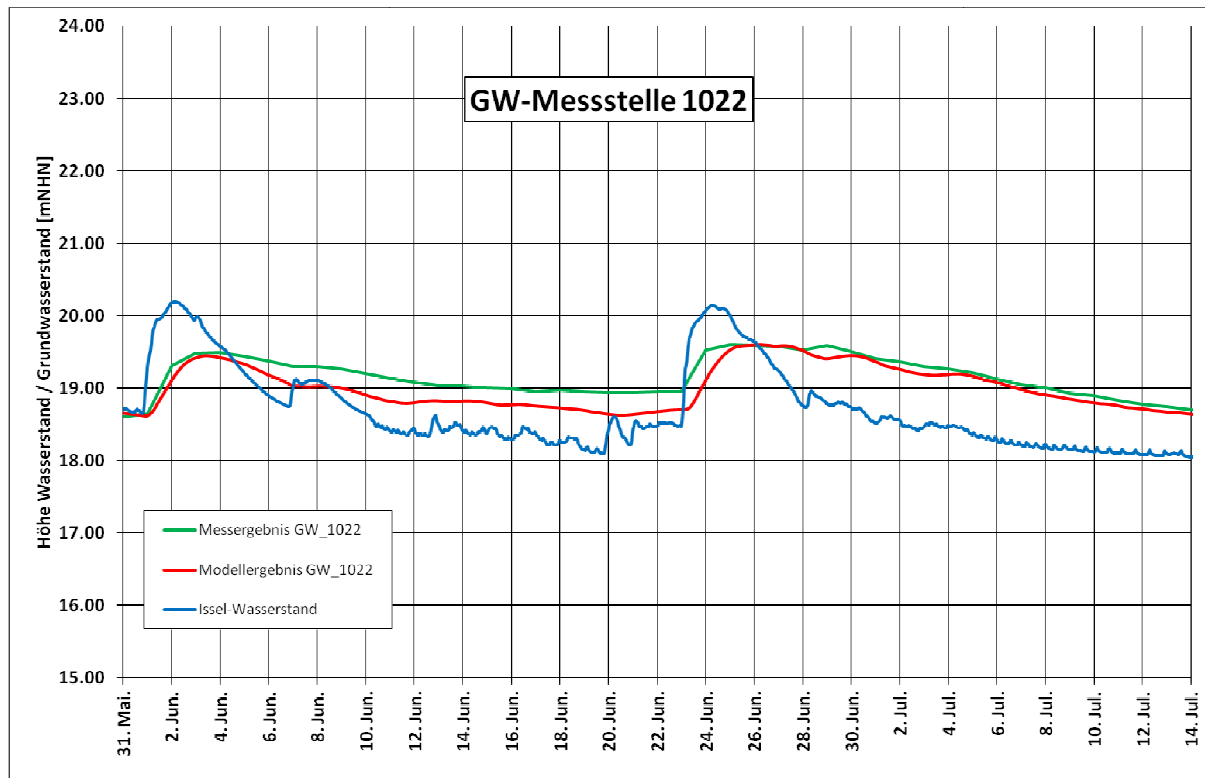


Abbildung 5.14: Gemessene und berechnete Grundwasserstände für die Messstelle GW_1022 sowie der IJssel-Wasserstand im Nahbereich der Messstelle

6 Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet

Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, bildet das Grundwassermodell die Grundwasserverhältnisse im Untersuchungsgebiet gut ab. Das Modell reagiert somit auf Niederschläge und / oder sonstige Randbedingungen ähnlich wie das reale Grundwasser. Auf Basis der Modellergebnisse können daher Erkenntnisse zu den Grundwasserständen, Wechselwirkungen zwischen Fließgewässern und Grundwasser, Fließrichtungen und -geschwindigkeiten etc. „abgelesen“ werden.

Die nachfolgenden Beschreibungen basieren auf den Modellergebnissen.

6.1 Allgemeine Beschreibung

Die großräumige Grundwassersituation im Projektgebiet wird durch den Rhein und die Lippe geprägt. Durch diese Fließgewässer wird die Hauptströmungsrichtung des Grundwassers von Nordosten nach Südwesten bestimmt. Lokal werden die großräumigen Grundwasserverhältnisse durch die Issel und die zahlreichen kleinen Nebengewässer, Abgrabungsseen und Altarme des Rheins überprägt.

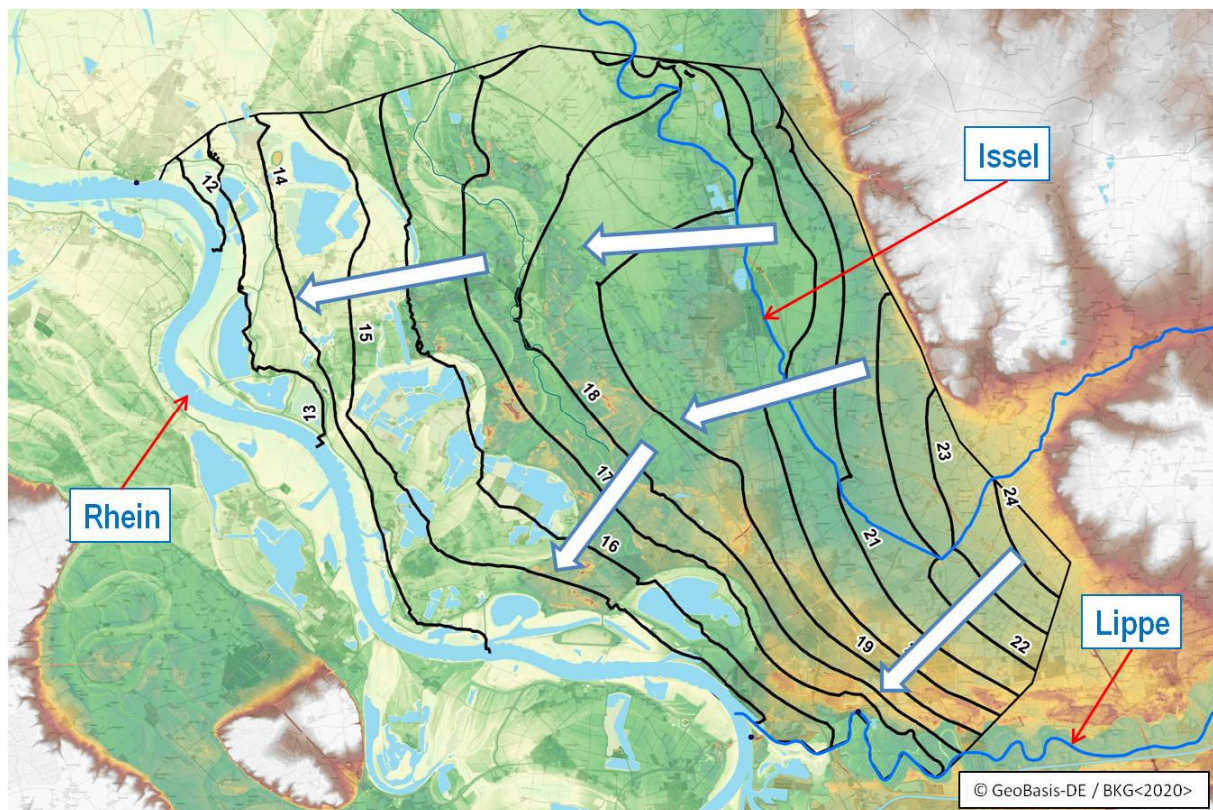


Abbildung 6.1: Grundwassergleichen und Hauptströmungsrichtung des Grundwassers im Januar 2015

In Abbildung 6.1 sind die Grundwasserverhältnisse im Projektgebiet im Januar 2015 dargestellt. Die Grundwassergleichen (schwarze Linien) stellen Höhen gleicher Grundwasserstände dar, die Grundwasserströmungsrichtung verläuft rechtwinklig zu diesen Linien. Die Hauptströmungsrichtung des Grundwassers (blau-weiße Pfeile) verläuft im Norden des Projektgebietes von Ost nach West, im Süden des Projektgebietes knickt sie weiter nach Süden in Richtung Lippe ab.

Die Nutzung und Topografie im Nahbereich des Rheins sind maßgeblich durch die Kies- und Sandindustrie und die damit einhergehende Entstehung von Abgrabungsseen beeinflusst. Der Abbau der Rohstoffe erfolgt in der

Regel bis auf die Quartärbasis, die dadurch entstehenden Stillgewässer durchschneiden somit den Grundwasserleiter über die gesamte Tiefe. Die in die stillgelegten Abgrabungsseen eingebrachten Dichtschürzen (vergleiche Kapitel 5.2.3) behindern einen Austausch zwischen dem Grundwasser und dem jeweiligen Abgrabungssee, unterbinden ihn aber nicht. Die mit Dichtschürzen versehenen Abgrabungsseen wirken hydraulisch wie ein teildurchlässiges lokales Hindernis im Grundwasserstrom und bedingen somit eine Änderung der Grundwasserströmungsprozesse, Details zu den Auswirkungen sind in Kapitel 8.3 beschrieben.

Das Deichhinterland im Projektgebiet ist geprägt durch die zuvor beschriebenen Abgrabungsseen und Altarme des Rheins. Diese sind durch ein weit verzweigtes System aus Entwässerungs- und Verbindungsgräben vernetzt und dienen der Entwässerung des Deichhinterlandes (vgl. Abbildung 6.2). Aufgrund der flachen topografischen Verhältnisse ist eine Entwässerung dieser Flächen nur bei Rhein-Niedrigwasser möglich, in Hochwassersituationen muss das anfallende Wasser entweder im Deichhinterland zurückgehalten oder über eine Pumpstation in den Rhein geleitet werden. Dieses Entwässerungssystem bestimmt in Kombination mit dem Rheinwasserstand maßgeblich die Grundwasserstände im Deichhinterland. Die Auswirkungen der Hinterlandentwässerung auf den Grundwasserstand wurden im Rahmen dieser Studie untersucht (vgl. Kapitel 8.1).

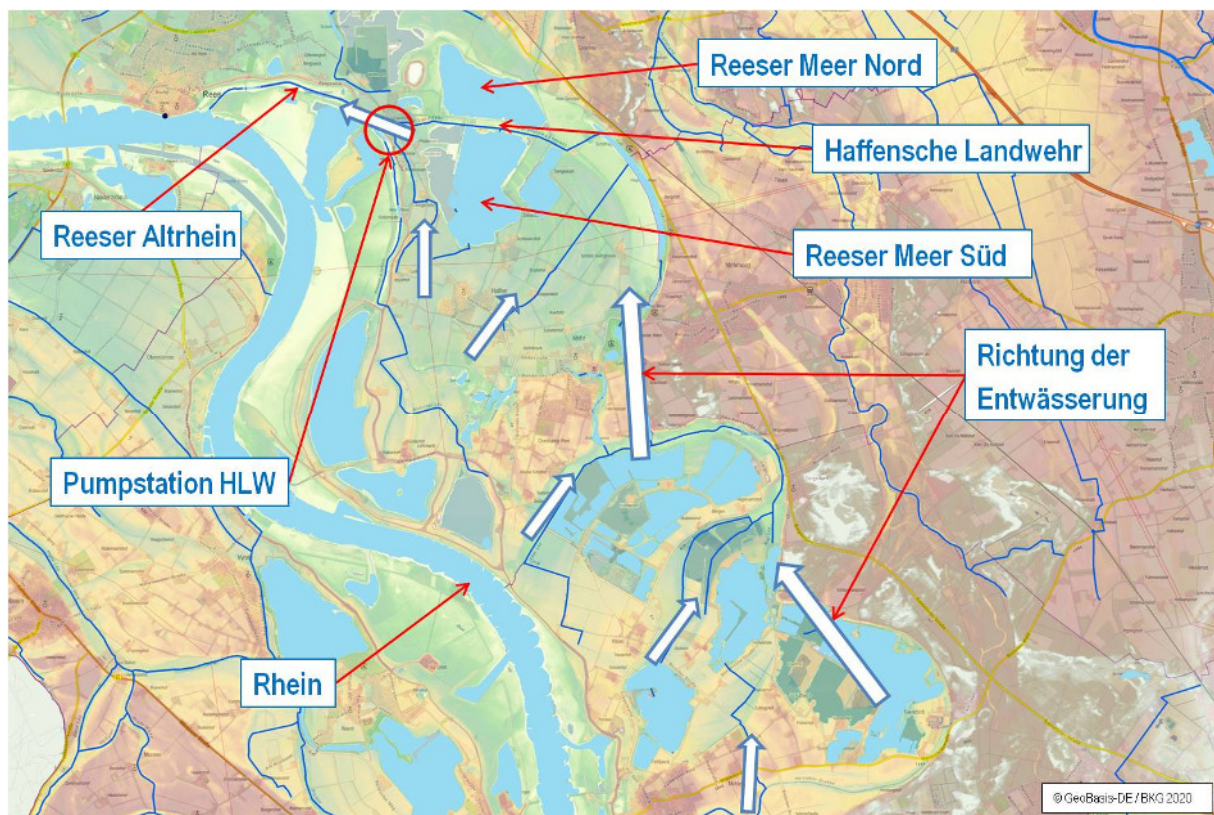


Abbildung 6.2: Schematische Darstellung der Hinterlandentwässerung über die Haffensche Landwehr (blauweiße Pfeile stellen die Fließrichtung dar)

Die Issel und ihre Nebengewässer sind unter „normalen“ Bedingungen von Grundwasser gespeiste Gewässer, d. h. es liegen die meiste Zeit effluente Verhältnisse vor und die Gewässer bewirken lokal eine Absenkung der Grundwasserstände. In Hochwassersituationen ändert sich dieser Zustand zu influenten Verhältnissen, das Wasser der Issel steigt je nach Hochwassersituation auf das Niveau des Grundwassers oder darüber hinaus und bewirkt dadurch ein Ansteigen des Grundwasserstandes. Aufgrund der geringen Größe des Gewässers und der kurzen Dauer von Hochwasserereignissen hat dies jedoch nur lokal begrenzten Einfluss auf den Grundwasserstand. In längeren Trockenperioden kam es in der Vergangenheit aufgrund großer Flurabstände zu einem zeitweisen Trockenfallen der Issel.

Die Grundwasserflurabstände im Projektgebiet sind starken Schwankungen unterworfen. Dies liegt an den sehr hohen Durchlässigkeiten des zumeist aus Sand und Kies bestehenden Grundwasserleiters. Durch die damit einhergehenden hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten werden bspw. Wasserstandsänderungen des Rheins innerhalb kurzer Zeit auch im Grundwasser bemerkbar. Um die Auswirkungen der Rheinwasserstände auf das Grundwasser zu verdeutlichen, ist in Abbildung 6.4 ein schematischer Längsschnitt zur Veranschaulichung der Grundwasserstandsänderungen abgebildet. Die Lage des Längsschnitts kann der Abbildung 6.3 entnommen werden. Im Längsschnitt sind die Geländeoberkante sowie die Grundwasserstände zu verschiedenen Zeitpunkten entlang dieser Linie dargestellt. Die Wasserstandsganglinie des Rheinpegels Rees zeigt die korrespondierenden Rheinwasserstände zu den eingetragenen Grundwasserständen.

Auf der linken Seite des Längsschnitts wird der Einfluss des Rheins besonders deutlich. Im Nahbereich schwanken die Grundwasserstände im dargestellten Zeitraum um ca. fünf Meter, dieser Einfluss und die stark schwankenden Grundwasserstände verringern sich zunehmend mit wachsendem Abstand zum Rhein. Nach etwa 2,5 – 3,0 km ist der Einfluss der Rheinwasserstände auf das Grundwasser nicht mehr erkennbar. Die leichten Erhöhungen der Grundwasserstände sind auf die durch Niederschläge induzierte Grundwasserneubildung und kleinere Gewässer im Projektgebiet zurückzuführen.

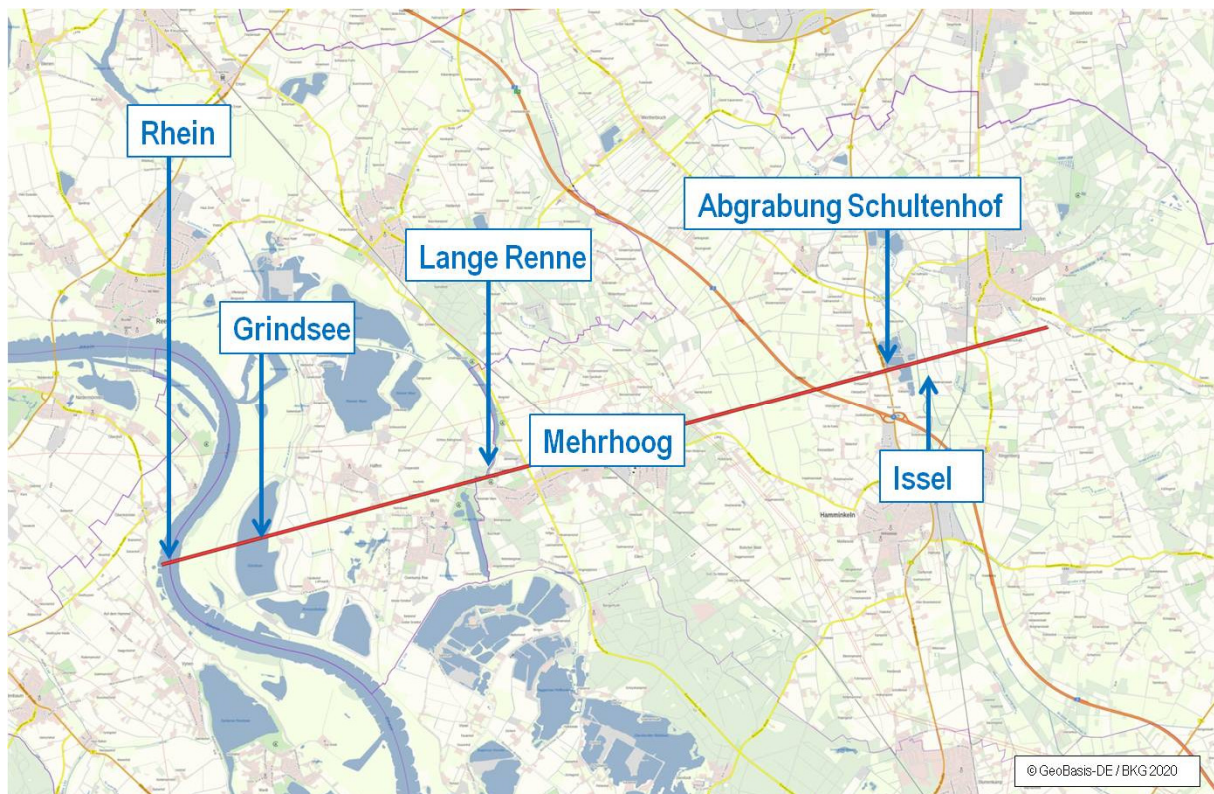


Abbildung 6.3: Lage und Verlauf des Längsschnitts und Zuordnung von Gewässern und Ortschaften

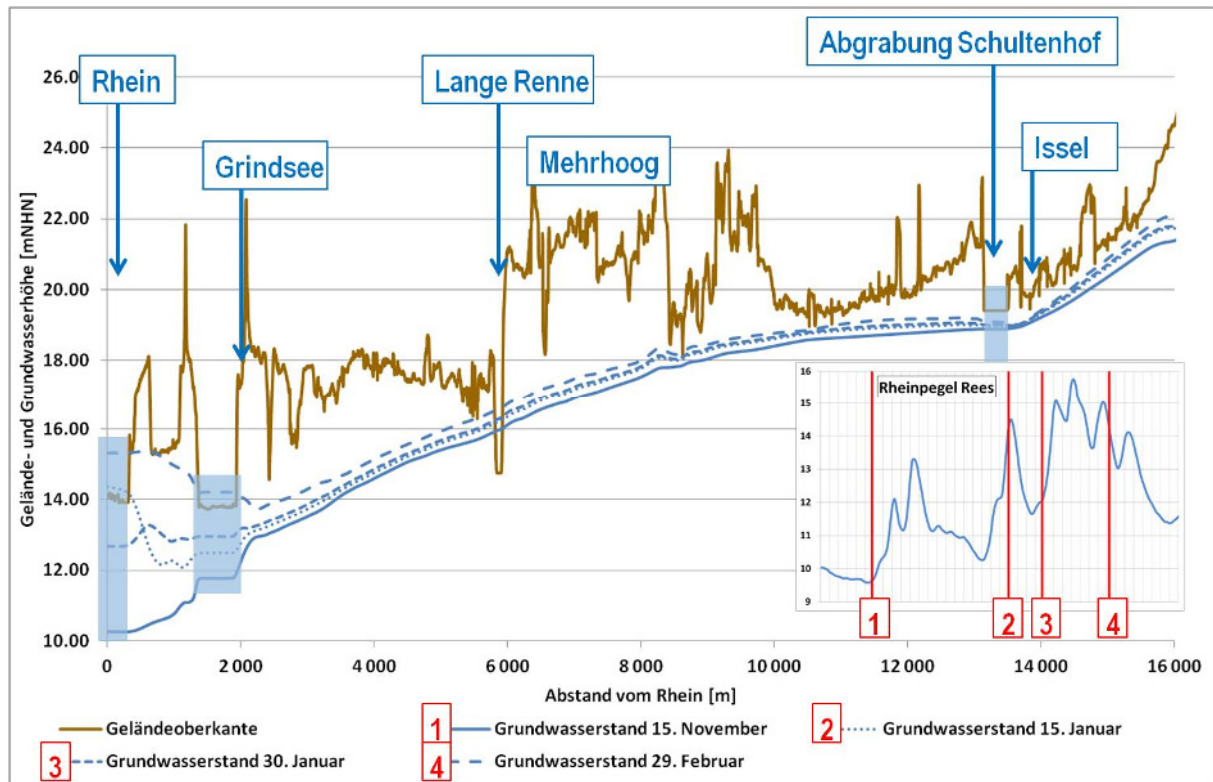


Abbildung 6.4: Schematischer Längsschnitt zur Darstellung der Grundwasserverhältnisse von November 2015 bis Februar 2016

6.2 Grundwasserverhältnisse während der Hochwasserereignisse 2016

Die Ereignisse im Juni 2016 stellen sowohl in Bezug auf Hochwasser als auch auf die Grundwasserverhältnisse eine besondere Situation dar. Wie in Kapitel 3.3 näher erläutert, kam es innerhalb eines Monats zu zwei sehr großen Ereignissen. Für die betroffenen Anwohner und Landwirte hatte dies zur Folge, dass Sie zweimal innerhalb kurzer Zeit mit einer außergewöhnlichen Hochwassersituation konfrontiert wurden und im Nachgang der Ereignisse auch noch mit einem starken Anstieg der Grundwasserstände zu kämpfen hatten.

Der Anstieg der Wasserstände in Oberflächengewässern verläuft deutlich langsamer als der Grundwasseranstieg. Durch das erste Hochwasserereignis Anfang Juni stiegen die Grundwasserstände im Nahbereich der Issel deutlich an, durch die großflächigen und langanhaltenden Überschwemmungen landwirtschaftlicher Flächen wurde dieser Anstieg weiter vergrößert. Die hier zugrundeliegenden Prozesse sind in Kapitel 4.2.3 genauer erläutert. Aufgrund der langsameren Fließgeschwindigkeiten im Grundwasserkörper verblieben die Grundwasserstände auch nach dem ersten Hochwasserereignis auf einem für den Sommer ungewöhnlich hohen Niveau. Das Hochwasserereignis Ende Juni in Kombination mit den schon erhöhten Grundwasserständen verschärfte die Situation in einigen Bereichen im Projektgebiet weiter.

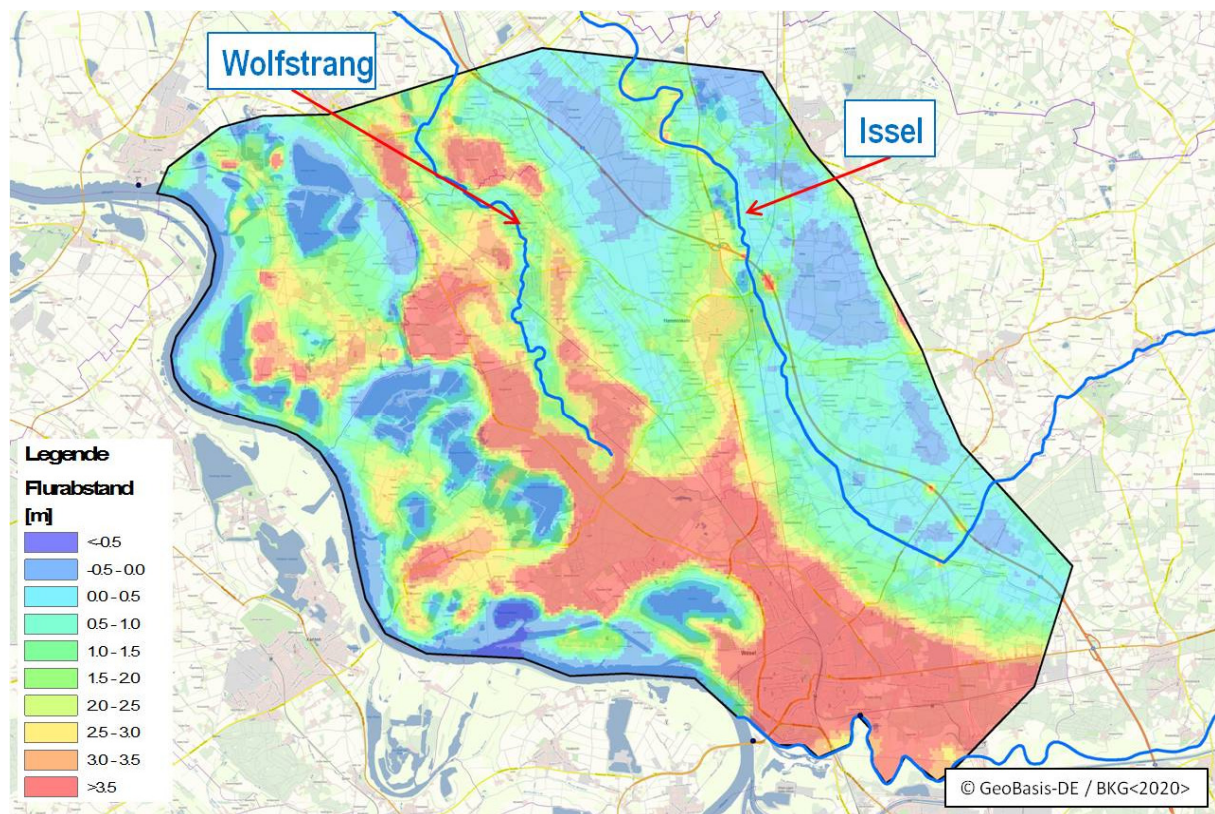


Abbildung 6.5: Darstellung der Flurabstände im Projektgebiet am 05.06.2016

Um die Grundwassersituation nach den Hochwasserereignissen darzustellen, sind in der nachfolgenden Abbildung 6.5 die Flurabstände kurz nach dem zweiten Hochwasserereignis Ende Juni dargestellt. Die Flurabstände stellen die Höhe zwischen Grundwasserstand und Geländeoberkante dar. Es wird deutlich, dass gerade im Bereich der Isssel diese sehr nahe bei null liegen, teilweise ist der Grundwasserstand sogar auf Geländeniveau oder darüber. Auch im Nahbereich des Wolfstrangs gibt es einige Bereiche, in denen die Flurabstände sehr gering sind.

In Abbildung 6.6 ist die Lage von vier Grundwasser-Messpunkten an der Isssel südöstlich von Hamminkeln dargestellt. Darüber hinaus sind die Überschwemmungsgebiete der Hochwasserereignisse 2016 abgebildet.

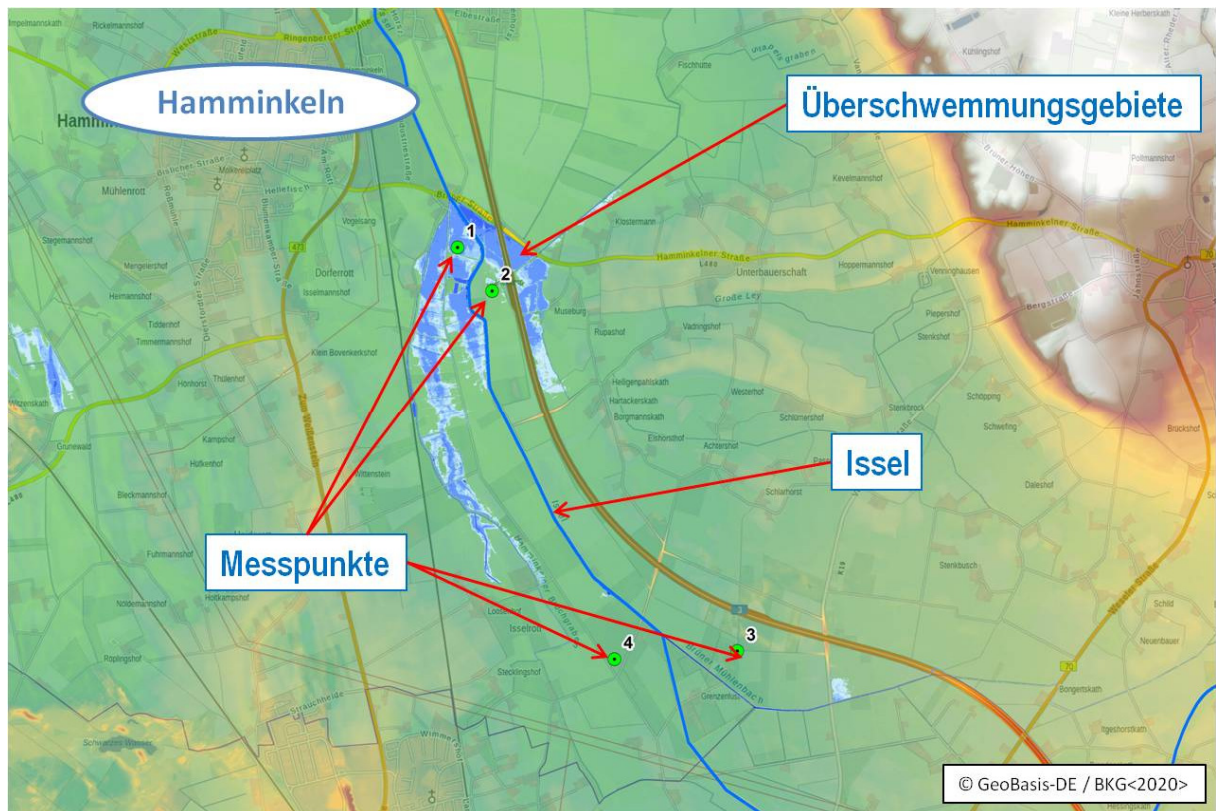


Abbildung 6.6: Überschwemmungsgebiete oberhalb von Hamminkeln und Lage der Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel

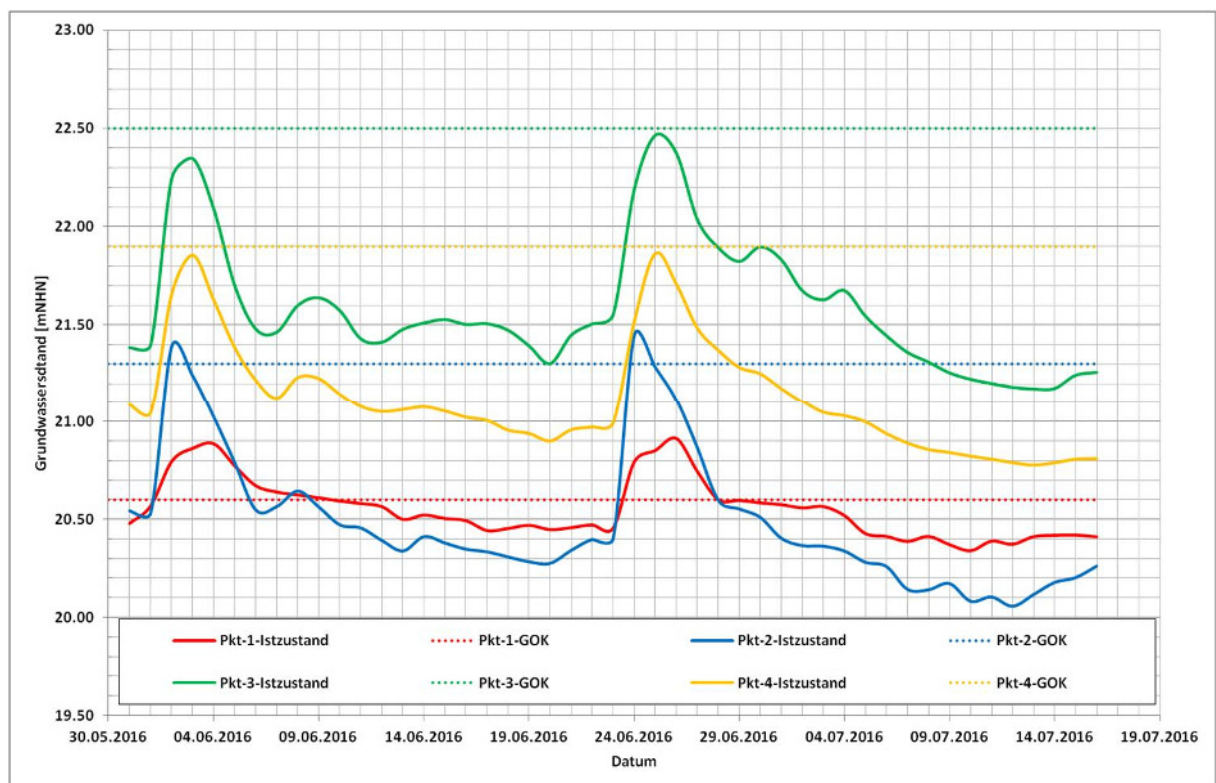


Abbildung 6.7: Grundwasserganglinien und Geländeoberkanten für die Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel

Die Abbildung 6.7 zeigt die Entwicklung der Grundwasserstände entlang der Issel während und nach den Hochwasserereignissen 2016 sowie die Geländeoberkante an den entsprechenden Punkten. Es wird deutlich, wie schnell die Grundwasserstände im Nahbereich der Issel ansteigen. Bei den Messpunkten 1 und 2 ist zu erkennen, dass diese innerhalb des Überschwemmungsgebietes liegen und auch die Grundwasserstände hier zeitweise oberhalb des Geländes liegen. Dies ist insbesondere bei Punkt 1 über einen längeren Zeitraum von ca. einer Woche der Fall und bis zum zweiten Hochwasserereignis Ende Juni verbleiben die Flurabstände auf einem sehr niedrigen Niveau, um dann erneut für einige Tage oberhalb der Geländeoberkante zu liegen.

Die hier dargestellten Messpunkte und Grundwasserganglinien betreffen überwiegend landwirtschaftliche Flächen. Welche Auswirkungen diese erhöhten Grundwasserstände auf die landwirtschaftliche Nutzung haben, wird in Kapitel 0 näher erläutert.

Die Auswirkungen auf Bebauungen sind in diesem Bereich gering. In anderen Bereichen, bspw. in der Ortslage Mehrhoog, waren die Auswirkungen der Hochwasserereignisse auf die Bebauung deutlich gravierender.

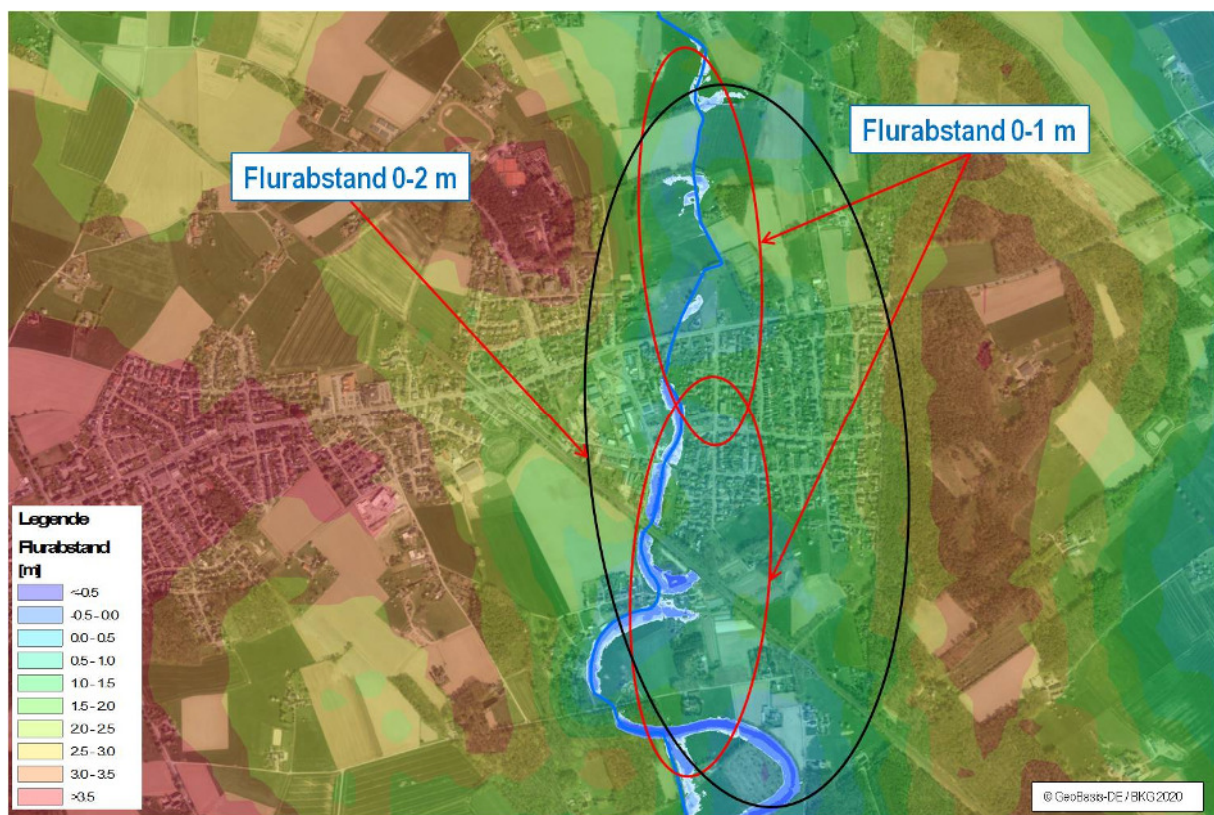


Abbildung 6.8: Flurabstände und Überschwemmungsgebiete in Mehrhoog nach den Hochwasserereignissen im Juni 2016

Die Ortslage Mehrhoog wird vom Wolfstrang durchflossen. Während der Hochwasserereignisse 2016 kam es auch innerhalb der Ortslage zu deutlich erhöhten Wasserständen. Aufgrund der Tallage der Ortschaft ist die Bebauung, insbesondere im östlichen Bereich der Ortschaft, im Verhältnis zum Wolfstrang sehr niedrig gelegen. Die hohen Wasserstände bedingten eine deutliche Abnahme der Flurabstände im Nahbereich des Gewässers. In einer Breite von ca. 300 m wurden Flurabstände von deutlich unter einem Meter festgestellt, bis zu einer Breite von ca. einem Kilometer bewegten sich die Flurabstände im Bereich zwischen 1 – 2 m (vgl. Abbildung 6.8). Dies führte zu zahlreichen Betroffenen, die teilweise auch noch Wochen nach den Hochwasserereignissen Probleme mit eindringendem Grundwasser in ihren Kellern hatten.

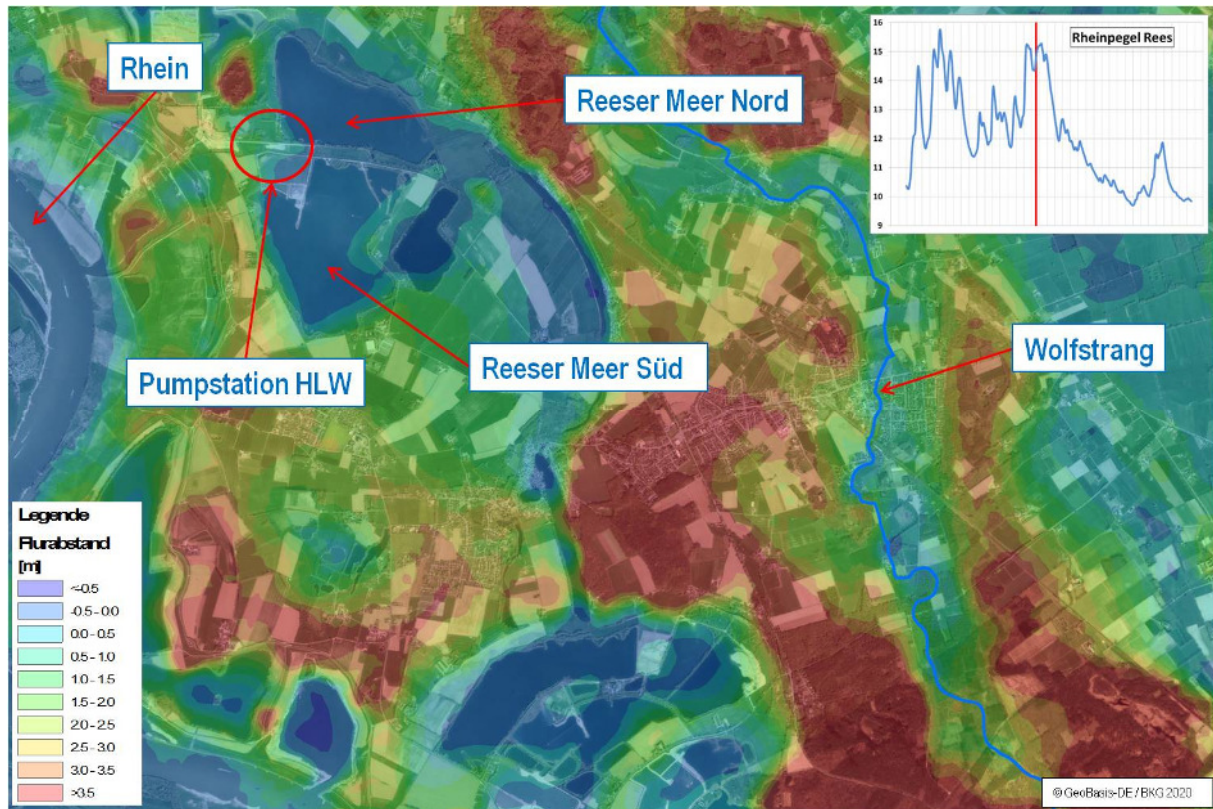


Abbildung 6.9: Flurabstände im Deichhinterland im Bereich der Haffenschen Landwehr (HLW) und Wasser-landsganglinie für den Rheinpegel Rees

Die Hinterlandentwässerung entlang der Rheindeiche verläuft im Projektgebiet entlang der Langen Renne in die Haffensche Landwehr. Bei steigendem Rheinwasserstand tritt die Situation ein, dass der Wasserstand im Rhein höher liegt als der Wasserstand in der Haffenschen Landwehr, sodass das Wasser nicht mehr frei in den Rhein abfließen kann und das Wasser entweder gepumpt oder aber im Deichhinterland zurückgehalten werden muss (vgl. Kapitel 6.1). Parallel zu den Hochwasserereignissen in Issel und Nebengewässern verzeichnete auch der Rhein deutlich erhöhte Wasserstände (vgl. Abbildung 6.9). Die Pumpstation wurde damals nicht genutzt, das anfallende Wasser wurde über die Haffensche Landwehr in das Reeser Meer (Nord- und Südsee) geleitet, da dort genug Retentionsvolumen vorhanden war. Dies führte zu steigenden Wasserständen in der Haffenschen Landwehr, der Langen Renne und dem Reeser Meer und infolgedessen zu steigenden Grundwasserständen im Deichhinterland. Im Nachgang der Hochwasserereignisse sah sich der zuständige Deichverband Bislich-Landesgrenze mit dem Vorwurf konfrontiert, dass der Wasserrückhalt im Deichhinterland ursächlich für die Grundwasserproblematik in Mehrhoog sei. Die Auswirkungen einer angepassten Pumpensteuerung wurden daher im Rahmen der vorliegenden Studie untersucht (vgl. Kapitel 8.1).

7 Einfluss von Hochwasserschutzmaßnahmen auf das Grundwasser

Im Rahmen des Issel-HWSK wurden zahlreiche Maßnahmen zur Verbesserung des Hochwasserschutzes entwickelt (ProAqua, 2017). Bei den von Grundhochwasser betroffenen Immobilienbesitzern und Landwirten wurde vielfach die Befürchtung geäußert, dass mit Umsetzung der geplanten Hochwasserschutzmaßnahmen die Probleme mit Grundhochwasser zunehmen würden. Die Auswirkungen der Hochwasserschutzmaßnahmen auf das Grundwasser wurden im Rahmen des Issel-HWSK zwar abgeschätzt, jedoch nicht modelltechnisch untersucht. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden die Auswirkungen der Schutzmaßnahmen auf das Grundwasser untersucht.

Im Hochwasserschutzkonzept sind Maßnahmen vorgesehen, deren Umsetzung die Überflutungssituation auch im Bereich Hamminkeln verändern wird. Hinsichtlich möglicher Auswirkungen auf das Grundwasser sind insbesondere Maßnahmen zur Nutzung der vorhandenen Abgrabungsseen sowie geänderte Überflutungsverhältnisse bedeutend.

7.1 Folgen der Nutzung von Abgrabungen

Zur Verbesserung der Hochwasserretention ist im HWSK die Nutzung vorhandener Abgrabungsseen vorgesehen. Um dies zu gewährleisten, muss eine Zuleitung, z. B. ein leistungsfähiges Rohr, zwischen Issel und dem jeweiligen Abgrabungssee hergestellt werden. Im Hochwasserfall wird diese Zuleitung geöffnet, sodass Isselwasser in den Abgrabungssee strömen kann. Als Folge des Zuflusses steigt der Wasserspiegel im Abgrabungssee und folgt so, stark verzögert, dem Isselwasserstand. Nach dem Erreichen des Hochwasserscheitels fällt der Wasserspiegel der Issel. Sobald er unter dem des Abgrabungssees liegt, fließt Wasser vom Abgrabungssee in die Issel zurück. Der Abgrabungssee wird somit gezielt und temporär höher eingestaut als im Istzustand.

Die Auswirkungen, die sich daraus auf das Grundwasser ergeben, wurden modelltechnisch untersucht, im Folgenden ist dies exemplarisch für die Abgrabung am Schultenhof beschrieben.

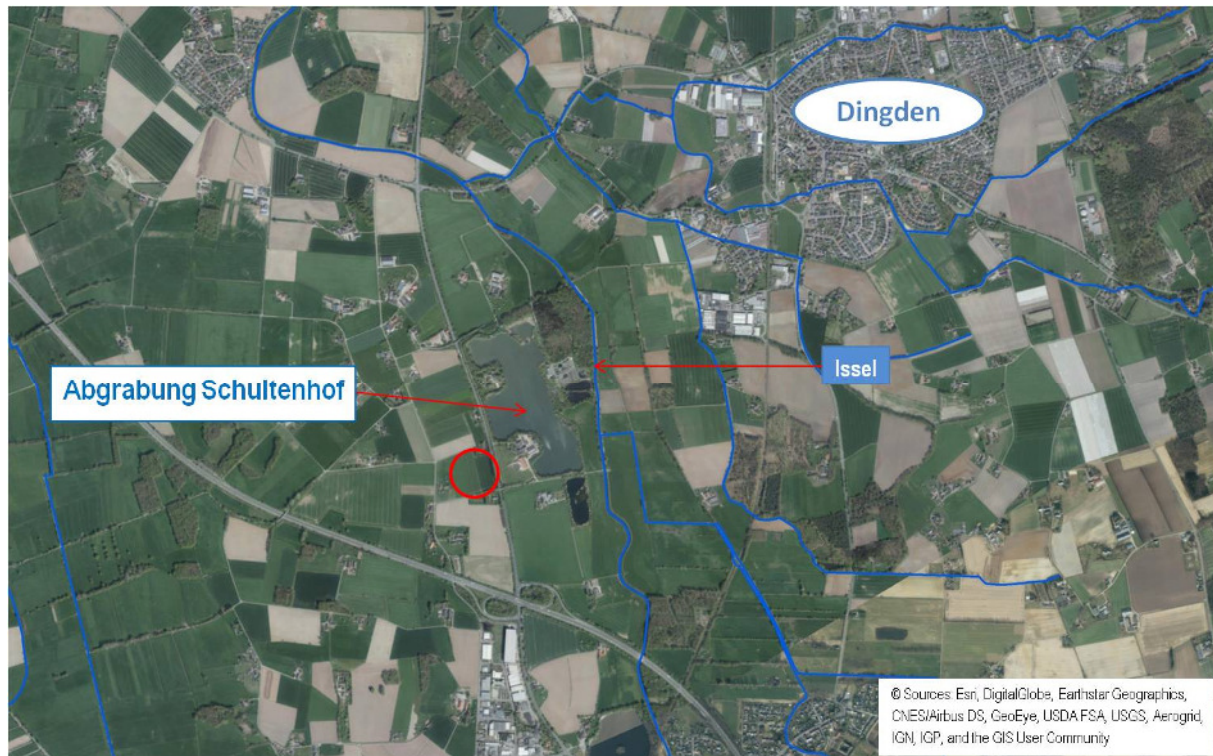


Abbildung 7.1: Lage der Abgrabung Schultenhof und eines Grundwasser-Messpunkts (roter Kreis)

Die Abgrabung am Schultenhof befindet sich linksseitig der Issele bei km 146+300, seine Lage ist in Abbildung 7.1 dargestellt. Im Hochwasserfall ist geplant, einen Teil der Hochwasserwelle über eine Zuleitung in die Abgrabung zu leiten. Der Einstau der Abgrabung erfolgt bis zu einem maximalen Wasserstand von 21,10 mNN. Nach Abklingen der Hochwasserwelle wird das Wasser zurück in die Issele geleitet (Issele-HWSK, ProAqua, 2017).

In der Abbildung 7.2 sind neben den Hochwasserganglinien der Issele die Grundwasserstände im Nahbereich der Abgrabung für den Ist- und den Planzustand (nach HWSK) dargestellt. Die blauen Linien stellen die Hochwasserganglinien der Issele dar (durchgehend = Istzustand, gestrichelt = Planzustand). Es wird deutlich, dass der Hochwasserscheitel der Issele aufgrund der Maßnahmen im HWSK um ca. 0,2 m reduziert wird.

Die lila Linie zeigt den Grundwasserstand im Istzustand am Grundwasser-Messpunkt (vgl. Abbildung 7.1). Im HWSK ist vorgesehen, dass im Hochwasserfall Wasser aus der Issele in die Abgrabung geleitet und nach dem Abklingen der Hochwasserwelle wieder in die Issele abgegeben wird. Der sich dadurch in der Abgrabung einstellende Wasserstand ist als orange Linie in Abbildung 7.2 abgebildet. Anhand der Ganglinie ist zu erkennen, dass der Einstau der Abgrabung nur temporär über einen Zeitraum von ca. fünf Tagen erfolgt.

In grün abgebildet ist der Grundwasserstand, der sich im Planzustand am Grundwasser-Messpunkt einstellt. Dieser steigt mit zunehmendem Anstieg des Wasserstandes in der Abgrabung ebenfalls an. Zum Zeitpunkt des maximalen Einstaus der Abgrabung erhöht sich der Grundwasserstand am Messpunkt im Vergleich zum Istzustand um ca. 0,3 m. Durch das Absenken des Wasserstandes nach Ablauf der Hochwasserwelle sinkt auch der Grundwasserstand relativ schnell wieder ab, nach ca. 4 – 5 Tagen befindet sich der Grundwasserstand im Planzustand wieder auf dem Niveau des Istzustandes. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass das Wasser nach Abklingen der Hochwasserwelle wieder gezielt zurück in die Issele geleitet wird und es nicht zu einem dauerhaften Einstau der Abgrabung kommt.

Beim zweiten Hochwasserereignis Ende Juni tritt der Fall ein, dass der Grundwasserstand im Planzustand unter das Niveau des Grundwasserstandes im Istzustand fällt. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass das Wasser aus der Abgrabung aktiv wieder in die Issele geleitet wird und nicht dort verbleibt. Im Istzustand steigt das Wasser in

der Abgrabung auch durch eindringendes Wasser aus der Issel. In diesem Fall verbleibt das Wasser deutlich länger in der Abgrabung, da es nicht wieder aktiv zurück in die Issel geleitet wird. Damit wird ein rasches Absinken der Grundwasserstände verhindert.

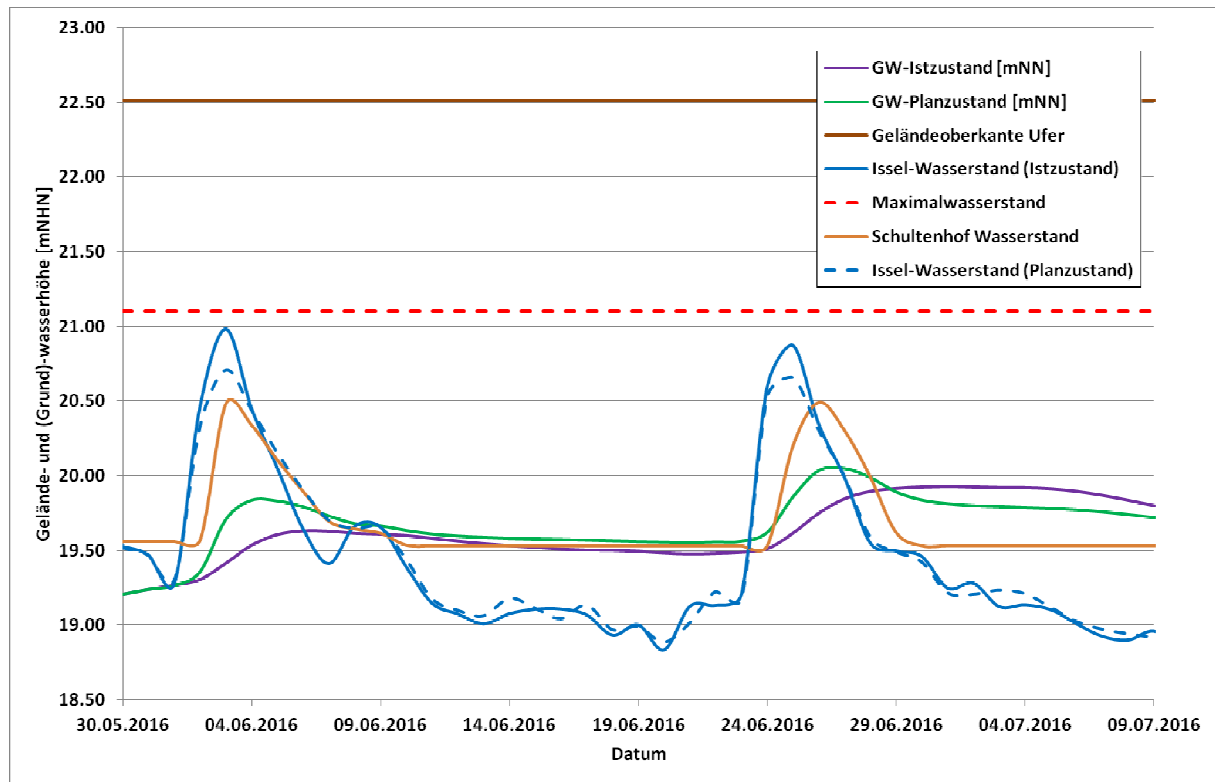


Abbildung 7.2: Grundwasserstände im Ist- und Planzustand im Nahbereich der Abgrabung Schultenhof während der Hochwasserereignisse 2016

In Abbildung 7.3 ist ein Grundwasser-Differenzenplan der Abgrabung Schultenhof dargestellt. Dieser zeigt die Änderung der Grundwasserstände zwischen Istzustand und Planzustand zum Zeitpunkt kurz nach dem zweiten Hochwasserereignis 2016 an und stellt damit die höchsten Grundwasserstände, die während der Ereignisse aufgetreten sind bzw. im Planzustand aufgetreten wären, dar.

Innerhalb der Abgrabung sind die Abweichungen der Grundwasserstände am höchsten, da diese im Planzustand aktiv mit Wasser aus der Issel geflutet wird. Westlich der Abgrabung sind die Abweichungen der Grundwasserstände am höchsten, bis zu einer Entfernung von ca. 450 – 500 m steigen die Grundwasserstände um ca. 0,2 – 0,4 m im Vergleich zum Istzustand an. Die Grenze des Wirkungsbereichs gibt die Entfernung an, bis zu der die Maßnahme Auswirkungen auf den Planzustand hat. Die maximale Ausdehnung des Wirkungsbereichs beträgt ca. 1.800 m in südwestliche Richtung. Die Änderungen des Grundwasserstandes betragen jedoch ab einer Entfernung von über 450 m nur noch 0,0 – 0,2 m.

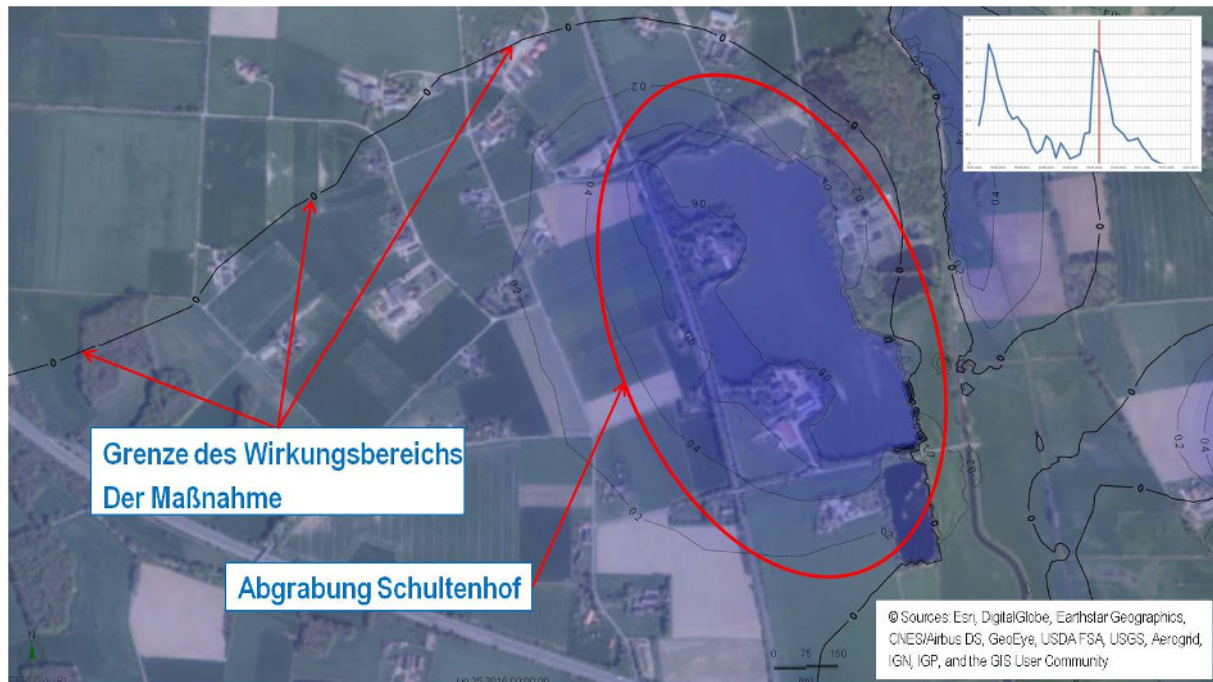


Abbildung 7.3: Grundwasserstandsänderung zwischen Ist- und Planzustand kurz nach dem zweiten Hochwasserereignis im Juni 2016

Fazit

Die Nutzung von Abgrabungen als Retentionsraum hat Auswirkungen auf die Grundwasserverhältnisse im Nahbereich der Abgrabungen. Diese Auswirkungen sind jedoch auf kurze Zeiträume während und nach einem Hochwasserereignis begrenzt, der Grundwasseranstieg aufgrund der Maßnahme im Vergleich zum Istzustand ist gering. Im betroffenen Wirkungsbereich der Maßnahme werden weiterhin Flurabstände von deutlich über 2,0 m eingehalten. Durch das schnelle Absenken des Wasserstandes der Abgrabung im Nachgang eines Hochwasserereignisses können langfristige Grundwasseränderungen verhindert werden, bei kurz hintereinander auftretenden Hochwasserereignissen hat dies sogar einen positiven Effekt auf die Entwicklung der Grundwasserstände.

7.2 Auswirkung in Folge geänderter Überschwemmungen

Durch die im Issel-HWSK entwickelten Maßnahmen ändern sich die Überschwemmungsverhältnisse. Dies führt in einigen Bereichen dazu, dass Gebiete im Hochwasserfall nicht mehr oder nur noch teilweise überschwemmt werden oder sich die Wassertiefen in den Überschwemmungsgebieten ändern. Einige Bereiche (Polderflächen) werden im Hochwasserfall gezielt geflutet, auch dies bedingt Änderungen hinsichtlich überstauter Flächen, Wassertiefen und Überstaudauern. Die Folge: Flächen und Dauern, in denen Wasser aus den Überschwemmungsflächen in das Grundwasser versickern kann, sind anders als im Istzustand.

Diese Änderungen wirken sich auch auf das Grundwasser aus. Die Auswirkungen werden nachfolgend für einen Bereich an der Issel oberhalb von Hamminkeln exemplarisch beschrieben. Die Lage der Grundwasser-Messpunkte ist der folgenden Abbildung 7.4 zu entnehmen.

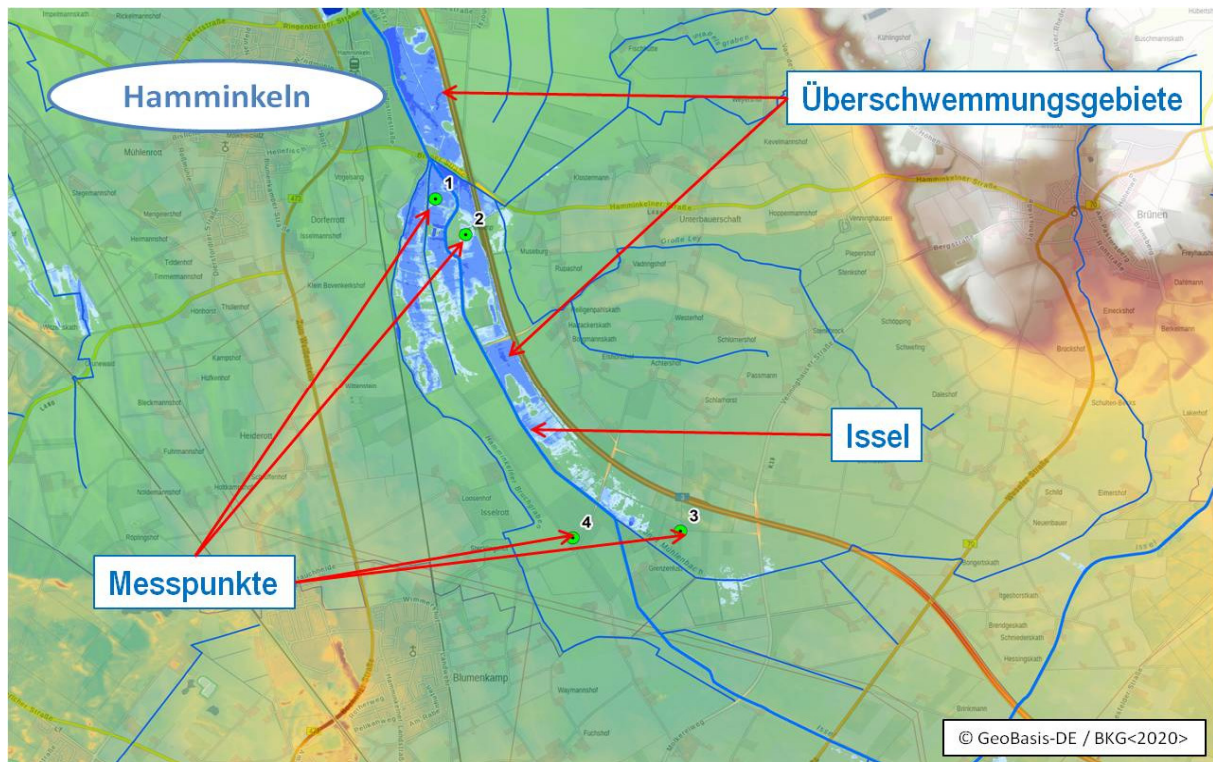


Abbildung 7.4: Überschwemmungsgebiete oberhalb von Hamminkeln im Planzustand und Lage der Grundwasser-Messpunkte entlang der Issele

Abbildung 7.4 zeigt die Überschwemmungsgebiete entlang der Issele oberhalb von Hamminkeln im Planzustand. Diese unterscheiden sich in Bezug zum Istzustand durch ihre Ausdehnung und auch die Höhe der Wasserstände (vgl. Abbildung 6.6, ProAqua, 2017). Die Umsetzung des HWSK hätte zur Folge, dass bei einem HQ₁₀₀-Ereignis die Wasserstände der Issele in diesem Bereich um ca. 0,2 m niedriger sind als im Istzustand. Die Auswirkungen dieser Änderungen auf die Grundwasserstände für die dargestellten Messpunkte ist in Abbildung 7.5 dargestellt. Die durchgezogenen Linien stellen den Istzustand, die gestrichelten Linien den Planzustand dar. Gepunktet ist die Geländeoberkante am entsprechenden Messpunkt abgebildet.

Der Vergleich der Grundwasserganglinien an den Messpunkten 2 – 4 zeigt deutlich, dass die Grundwasserstände während der beiden Hochwasserereignisse um ca. 0,1 – 0,2 m reduziert sind, was in etwa auch der Reduzierung der Hochwasserganglinie der Issele im Planzustand entspricht. Die Messpunkte 3 und 4 werden nicht überstaut, der Grundwasserstand befindet sich an diesen Punkten unterhalb der Geländeoberkante. An Messpunkt 2 übersteigen die Grundwasserstände kurzfristig während des Höhepunktes der Hochwasserereignisse die Geländeoberkante, zu diesen Zeitpunkten liegt der Messpunkt innerhalb eines Überschwemmungsgebietes.

Messpunkt 1 liegt ebenfalls innerhalb eines Überschwemmungsgebietes, dieses wird jedoch im Planzustand gezielt geflutet, was zu einer Erhöhung des Grundwasserstandes führt und darin resultiert, dass der Grundwasserstand an dieser Messstelle über einen längeren Zeitraum deutlich oberhalb der Geländeoberkante liegt.

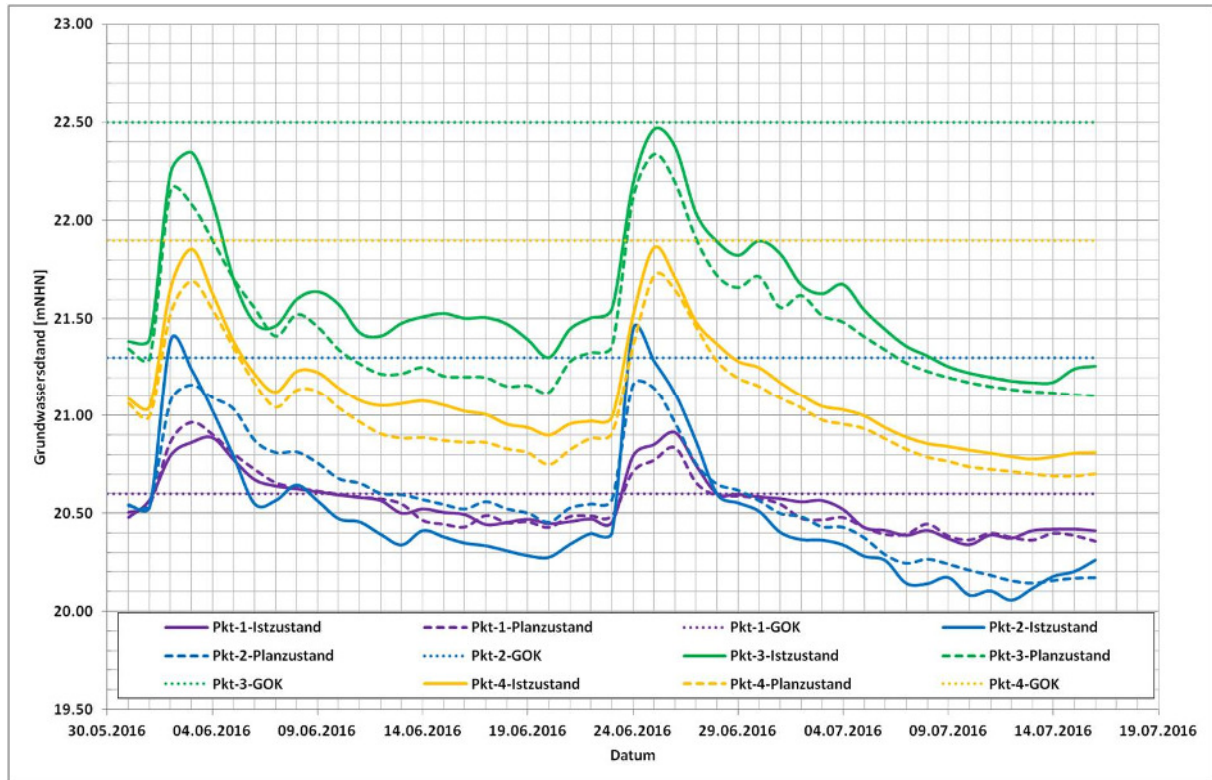


Abbildung 7.5: Grundwasserganglinien (Ist- und Planzustand) und Geländeoberkanten für die Grundwasser-Messpunkte entlang der Issele

Fazit

Die Maßnahmen des HWSK haben während Hochwasserereignissen einen deutlichen Einfluss auf die Grundwasserstände im Nahbereich der Issele und der Überschwemmungsgebiete. In den nur vom Isselehochwasser betroffenen Bereichen verringern sich die Grundwasserstände aufgrund der Verringerung der Hochwasserspitze im Planzustand. In Überschwemmungsgebieten ist der Einfluss auf das Grundwasser davon abhängig, welche Maßnahmen im HWSK geplant sind. Es gibt Bereiche, die im Planzustand gezielt geflutet werden, dies führt in der Folge zu erhöhten Grundwasserständen während und nach den Hochwasserereignissen. In anderen Bereichen, welche aufgrund der Maßnahmen des HWSK im Planzustand trocken, vorher aber überflutet waren, verringern sich die Grundwasserstände. Der Einfluss auf die Grundwasserstände in Folge der Maßnahmen ist jedoch immer auf Hochwasserereignisse beschränkt. Langfristige Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt haben die Maßnahmen nicht.

8 Entwicklung von Maßnahmen und Konzepten

Grundhochwasser führte in der Vergangenheit wiederholt zu Problemen in einigen Ortslagen im Projektgebiet. Hervorzuheben ist hier die Ortschaft Mehrhoog, die insbesondere im Nachgang der Hochwasserereignisse 2016 große Probleme mit Grundhochwasser zu verzeichnen hatte. Um zu prüfen, welche Maßnahmen ggf. zu einer Verringerung der Grundhochwasserstände beitragen können, wurden potenzielle Maßnahmen untersucht.

8.1 Aktivierung Pumpstation Haffen

Die Pumpstation (und Schleuse) Haffen dient der Entwässerung des Deichhinterlandes um die Ortschaften Haffen und Mehr. Bei mittleren und niedrigen Rheinwasserständen fließt das Wasser aus der Haffenschen Landwehr im freien Gefälle über die Haffensche Landwehr und die Schleuse Haffen ab (vgl. Abbildung 6.2). Bei hohen Rheinwasserständen wird die Schleuse geschlossen, um ein Einströmen von Rheinwasser in das Deichhinterland zu verhindern bzw. zu minimieren. In diesem Fall muss das Wasser im Deichhinterland zurückgehalten oder über die Pumpstation in den Reeser Altrhein gepumpt werden. Die Pumpstation wird jedoch nach Angaben des Deichverbandes Bislich-Landesgrenze nur noch in Ausnahmefällen genutzt, da durch die Abgrabungen Reeser Meer Nord und Süd in der Regel genug Retentionsvolumen im Deichhinterland vorhanden ist, um das anfallende Wasser im Deichhinterland so lange zurückzuhalten, bis die Rheinwasserstände wieder niedrig genug sind, um ein freies Abfließen in den Rhein zu gewährleisten.

In der Vergangenheit gab es, gerade im Nachgang der Hochwasserereignisse im Juni 2016, wiederholt Vorwürfe von Betroffenen, dass die Pumpstation nicht oder nur ungenügend die Wasserstände im Hinterland reguliert und damit die Hochwasser- und letztendlich die Grundhochwassersituation verschärfe. Nach Angaben des Deichverbandes wurde die Pumpstation auch während der Hochwasserereignisse 2016 nicht aktiviert, sondern das anfallende Wasser in die Abgrabungen geleitet. Die Wasserstandsganglinien des Rheins sowie die Wasserstände in den Abgrabungen während der Hochwasserereignisse sind in Abbildung 8.1 dargestellt.

Die blaue Linie stellt den Rheinwasserstand am Pegel Rees dar, die roten und blauen Punkte sind Wasserstandsmessungen in den Abgrabungen Nordsee und Südsee. Es wird deutlich, dass die Wasserstände in den Abgrabungen im Verlauf der Hochwasserereignisse deutlich ansteigen, auch zwischen dem ersten und dem zweiten Hochwasserereignis verringern sich die Wasserstände nicht, lediglich der Anstieg verlangsamt sich.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob durch einen geänderten Polderbetrieb und damit einhergehend niedrigere Wasserstände in der Haffenschen Landwehr die Grundwasserstände in Mehrhoog effektiv verringert werden können. Für die Berechnungen wurde vereinfachend davon ausgegangen, dass die Pumpen das gesamte anfallende Wasser in den Rhein pumpen können. Die Pumpen im Modell wurden so eingestellt, dass der Wasserstand in der Haffenschen Landwehr konstant auf 14,50 mNHN gehalten wird (vgl. Abbildung 8.1, rote Linie).

Dieser „Maßnahmenzustand“ wurde in das Grundwassermodell integriert und die Hochwasserereignisse vom Juni 2016 erneut simuliert. Änderungen der Grundwasserstände zum Istzustand sind somit allein auf die geänderte Pumpensteuerung zurückzuführen. In Abbildung 8.2 sind die Differenzen der Grundwasserspiegel (Maßnahmenzustand - Istzustand) in Form von Gleichlinien für den Zustand am 30.06.2016 dargestellt.

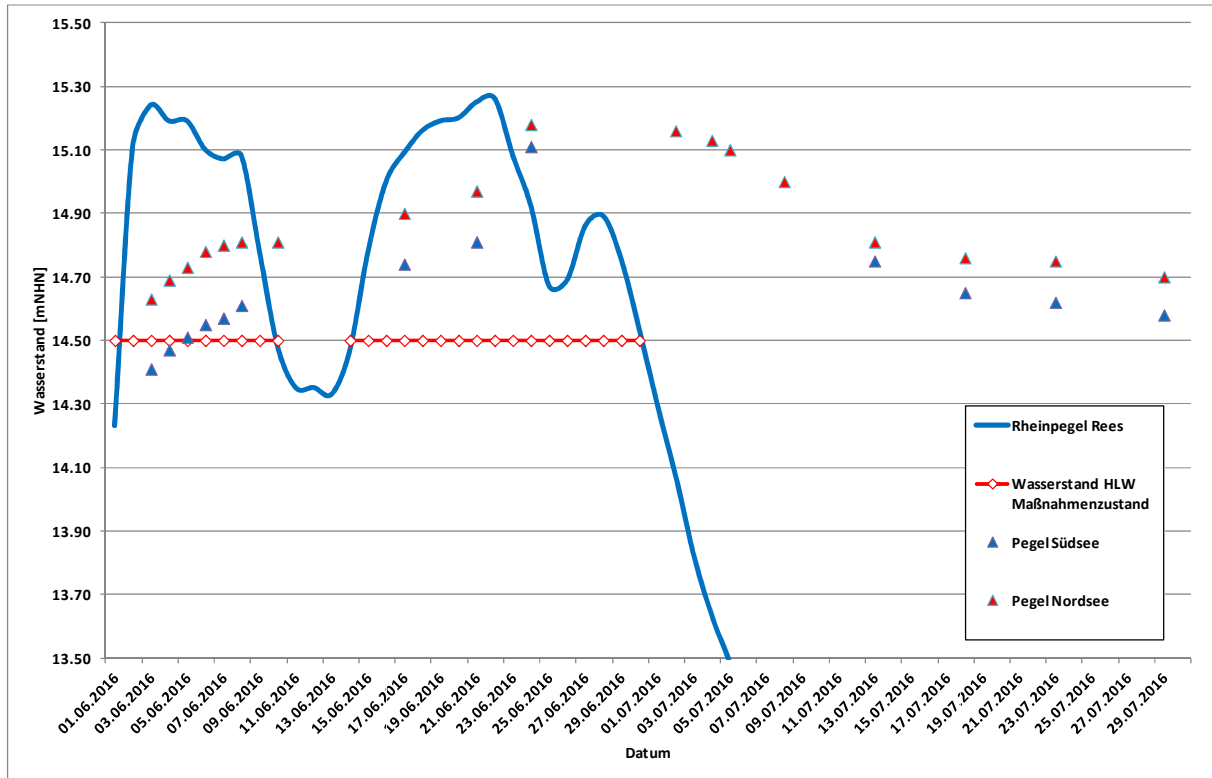


Abbildung 8.1: Wasserstandsganglinie des Rheins am Pegel Rees, Wasserstände in den Abgrabungen Reeser Meer Nord/Süd und der Wasserstand in der Haffenschen Landwehr im Planzustand

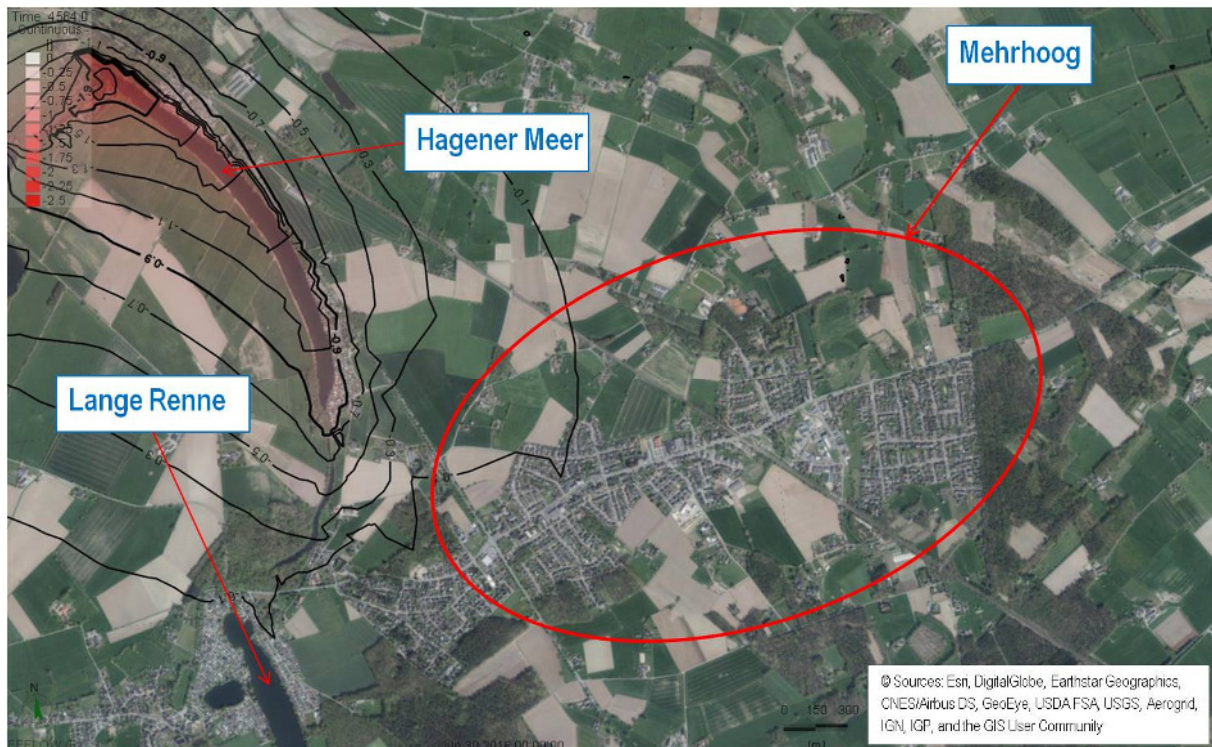


Abbildung 8.2: Änderung der Grundwasserstände (bei Vergleich von Istzustand mit Maßnahmenzustand) im Bereich des Hagener Meeres bis Mehrhoog

Die Umsetzung der Maßnahme hätte zur Folge, dass sich die Grundwasserstände im Nahbereich der Haffenschen Landwehr, des Hagener Meeres, der Langen Renne und den Abgrabungen im Vergleich zum Istzu-

stand deutlich reduzieren. Von der Haffenschen Landwehr in südliche Richtung wird noch in knapp zwei Kilometer Entfernung eine Reduzierung der Grundwasserstände von 0,2 – 0,3 m erreicht (vgl. Abbildung 8.2). Richtung Mehrhoog, östlich der Langen Renne, sind die Auswirkungen deutlich geringer. Hier wird lediglich im westlichen Bereich der Ortslage eine minimale Verringerung der Grundwasserstände erreicht und das auch lediglich im Bereich der Ortslage, die nicht von Grundhochwasser betroffen war.

Fazit

Die Untersuchungen zeigen, dass eine Änderung der Poldersteuerung deutliche Auswirkungen auf die Grundwasserstände im Hochwasserfall hätte. Diese Auswirkungen beschränken sich jedoch primär auf die Bereiche im Deichhinterland, die über die Haffensche Landwehr entwässert werden.

Das eigentliche Ziel der Untersuchung, die Reduzierung der Grundwasserstände im Hochwasserfall in Mehrhoog, kann durch die dargestellte Maßnahme nicht erreicht werden. Die Auswirkungen auf die Grundwasserstände in Mehrhoog sind zu gering (<0,1 m) und zumindest bei dem hier untersuchten Ereignis auch nur in Bereichen, die ohnehin nicht durch hohe Grundwasserstände aufgefallen sind, existent.

8.2 Maßnahmen zur Verringerung der Grundhochwasserstände in Mehrhoog

8.2.1 Vertiefung des Wolfstrangs

Um die hohen Grundwasserstände in Mehrhoog dauerhaft zu reduzieren, erscheint es zunächst naheliegend, das Hauptgewässer, den Wolfstrang, in der Ortschaft abzusenken, um somit dauerhaft niedrigere Grundwasserstände zu erreichen. Solch eine Maßnahme ist jedoch mit hohen Hürden verbunden. Ob unter Berücksichtigung der Gesamtsituation die positiven Effekte überwiegen, ist darüber hinaus fraglich und muss daher eingehend betrachtet werden. Um eine erste Einschätzung abgeben zu können, wurden für diese Maßnahme die baulich erforderlichen Abmessungen betrachtet und die positiven und negativen Aspekte einer solchen Maßnahme analysiert.

Ausgehend von den Hochwasserereignissen im Juni 2016 wäre eine Absenkung der Sohle von ca. 0,5 m erforderlich, um einen maßgeblichen Effekt für die Ortschaft zu erzielen. Um einen effektiven Schutz vor Grundhochwasser zu ermöglichen, müsste die Höhe der Absenkung ggf. sogar noch weiter erhöht werden. Für die nachstehenden Abschätzungen wurde jedoch zunächst von einer Sohlabenkung im Bereich der Ortschaft von 0,5 m ausgegangen.

Das Sohlgefälle des Wolfstrangs beträgt heute ca. 0,02 %, dies entspricht einem Höhenunterschied von 2 cm auf 100 m Fließweg. Um eine Umkehr der Fließrichtung im Wolfstrang zu verhindern, müsste die Sohlabenkung dementsprechend über einen sehr weiten Abschnitt gestreckt werden. Bei einer Reduzierung des Längsgefälles um die Hälfte ergibt sich eine von der Absenkung betroffene Gewässerstrecke von ca. 5,0 km in Fließrichtung. Nach Oberstrom müsste die Gewässersohle ebenfalls angepasst werden. Es muss daher von einem Maßnahmenbereich von ca. 8,0 – 10,0 km ausgegangen werden.

Gleichzeitig würde die Sohlabenkung durch Abnahme des Längsgefälles aber zu einer Verringerung der Fließgeschwindigkeit und somit zu einem Anstieg der Wasserstände führen. Die genauen Effekte und Wechselwirkungen können ohne hydraulische Modellierung nicht genau vorhergesagt werden, eine erste Prognose der Folgen einer solchen Maßnahme können jedoch auf Grundlage der vorhandenen Daten getroffen werden.

Positive Effekte

- Die Flurabstände in der Ortslage Mehrhoog werden dauerhaft gesenkt, ein Grundwasseranstieg während und nach Hochwasserereignissen hätte deutlich geringere Auswirkungen für die Bebauung in der Ortslage.

Negative Effekte

- Landwirtschaftliche Flächen im Nahbereich des Wolfstrangs sind dauerhaft von größeren Flurabständen betroffen.
- Eine dauerhafte Grundwasserabsenkung führt häufig zu Setzungen und / oder zu Standsicherheitsproblemen, nachteilige Auswirkungen auf die Bebauung können nicht ausgeschlossen werden.
- Zur Umsetzung wären erhebliche Eingriffe mit weitreichenden Folgen für das Gewässer und Natur verbunden.
- Eine Kosten-Nutzen-Betrachtung würde voraussichtlich gegen eine solche Maßnahme sprechen.

Die negativen Auswirkungen sind erheblich und überwiegen die Vorteile. Ungeachtet etwaiger Genehmigungsfragen erscheint eine Umsetzung der Maßnahme nicht sinnvoll.

8.2.2 Hochwasserrückhalt

Eine weitere Möglichkeit zur Verringerung der Grundwasserstände bei Hochwasser wäre das Anlegen eines Hochwasserrückhaltebeckens (HRB) oberhalb der Ortslage Mehrhoog. Hierdurch wäre die Möglichkeit gegeben, die Wasserstände bei mittleren Verhältnissen beizubehalten und damit die benötigten Flurabstände auf den landwirtschaftlichen Flächen weiterhin zu gewährleisten und gleichzeitig im Hochwasserfall die Wasserstände im Wolfstrang soweit zu reduzieren, dass der Grundwasserstand auf ein erträgliches Maß verringert werden kann.

Für eine genauere Beurteilung einer solchen Maßnahme müsste zunächst eine Machbarkeitsstudie durchgeführt werden, um bspw. die folgenden Fragestellungen zu klären:

- Für welche Abflüsse muss das Becken dimensioniert werden
- Reicht der Hochwasserrückhalt aus, um die Probleme mit Grundhochwasser zu lösen / zu reduzieren
- Wie groß sind die Auswirkungen auf das Grundwasser bei verschiedenen Abflüssen
- Flächenverfügbarkeit
- Kosten-Nutzen-Betrachtung
- Auswirkungen des HRB auf das Grundwasser

Die negativen Auswirkungen einer solchen Maßnahme wären geringer als bei einer Vertiefung des Wolfstrangs. Ungeachtet dessen muss zunächst eine umfangreiche Prüfung der Randbedingungen erfolgen, bevor eine Bewertung einer solchen Maßnahme abgegeben werden kann.

8.2.3 Gewässeraufweitung

Neben einer Vertiefung des Wolfstrangs oder einem Hochwasserrückhalt wäre es auch theoretisch denkbar, den Wolfstrang im Bereich der Ortslage aufzuweiten. Die Maßnahme müsste so umgesetzt werden, dass bei niedrigen und mittleren Verhältnissen die Wasserstände im Wolfstrang beibehalten werden (bspw. in Form einer Niedrigwasserrinne) und ab etwa Mittelwasserstand das Gewässer ausufern kann, um somit die sich einstellenden

Wasserstände zu reduzieren. Ein Vorteil wäre, ähnlich wie bei der zuvor skizzierten Maßnahme, dass die Beeinträchtigung der landwirtschaftlichen Flächen gering wäre, bei mittleren und niedrigen Wasserständen sind keine Auswirkungen auf die Grundwasserstände zu erwarten.

Ob eine solche Maßnahme ausreicht, um die Probleme zu lösen, kann ohne weitergehende Untersuchungen nicht beurteilt werden. Zunächst müssten die geometrischen Anforderungen geklärt werden, unter denen auch eine Verbesserung der Verhältnisse auftreten würde. Darüber hinaus sind zahlreiche weitergehende Fragestellungen zu klären.

- Ab welchen Abflüssen ist eine Ausuferung / Verringerung der Wasserstände notwendig
- Reicht die Gewässeraufweitung aus, um die Probleme mit Grundhochwasser zu lösen / zu reduzieren
- Wie groß sind die Auswirkungen auf das Grundwasser bei verschiedenen Abflüssen
- Flächenverfügbarkeit
- Kosten-Nutzen-Betrachtung

Die negativen Auswirkungen einer solchen Maßnahme wären geringer als bei einer Vertiefung des Wolfstrangs. Ungeachtet dessen ist nicht klar, ob eine solche Maßnahme die Grundwasserstände im Hochwasserfall ausreichend senken würde. Eine umfangreiche Prüfung der Randbedingungen ist daher unabdingbar.

8.2.4 Fazit

In den vorangegangenen Kapiteln wurden diverse Maßnahmen skizziert, welche ggf. zu einer Verbesserung der Grundwassersituation beitragen können. Alle Maßnahmen haben gemein, dass es sich um große Baumaßnahmen handelt, die mit großen baulichen Eingriffen und Kosten einhergehen. Darüber hinaus sind bei allen Maßnahmen zahlreiche Randbedingungen zu klären und die positiven wie negativen Aspekte genau zu betrachten. Eine Vertiefung des Wolfstrangs ist nach der ersten Betrachtung keine wirkliche Option. Eine Empfehlung, welche der weiteren Maßnahmen erfolgversprechender ist, kann auf Grundlage der bisherigen Überlegungen nicht ausgesprochen werden.

Neben den hier skizzierten Maßnahmen sind auch kleinräumige, objektbezogene Maßnahmen möglich. Beispiele hierfür sind in Kapitel 0 aufgeführt.

8.3 Wirkung der Dichtschürzen in Abgrabungsseen

Im Verlauf der Bewirtschaftung von Abgrabungen zur Sand- und Kiesgewinnung werden die bindigen Deckschichten in die Randbereiche der Abgrabungen verbracht und dort als sog. „Dichtschürzen“ eingebaut (vgl. Kapitel 5.2.2).

Um die großflächigen Auswirkungen der „Dichtschürzen“ in den Abgrabungen im Projektgebiet beurteilen zu können und um die Sensitivität dieser Maßnahmen auf die Grundwasserstände einzuschätzen, wurden die Auswirkungen modelltechnisch untersucht.

Im Langzeitmodell (siehe Kapitel 5.2) ist der Istzustand abgebildet, die Dichtschürzen der Abgrabungsseen sind daher enthalten. Zur Quantifizierung der Auswirkungen wurden die Dichtschürzen aus dem Istzustandsmodell entfernt. Mit dem so modifizierten Modell, nachfolgend „Planzustand“ genannt, wurde die Langzeitsimulation erneut durchgeführt. Änderungen zum Istzustand resultieren somit allein auf der Entfernung bzw. der Wirkung der Dichtschürzen. Die Abgrabungen als solche bzw. die dadurch entstandenen Stillgewässer sind weiterhin im Modell enthalten.

Zur Veranschaulichung der Modellergebnisse werden nachfolgend die maximalen Grundwasserstandsänderungen während der Langzeitsimulation (Zeitraum Januar 2015 – Dezember 2016) erörtert. Die gelben bis roten Flächen stellen Bereiche dar, in denen die Grundwasserstände niedriger sind als im Istzustand, in den blauen Bereichen hingegen nimmt der Grundwasserstand durch die Entnahme der Dichtschürzen zu (vgl. Abbildung 8.3). Wie gut zu erkennen ist, liegen die betroffenen Flächen ausnahmslos im Nahbereich des Rheins.

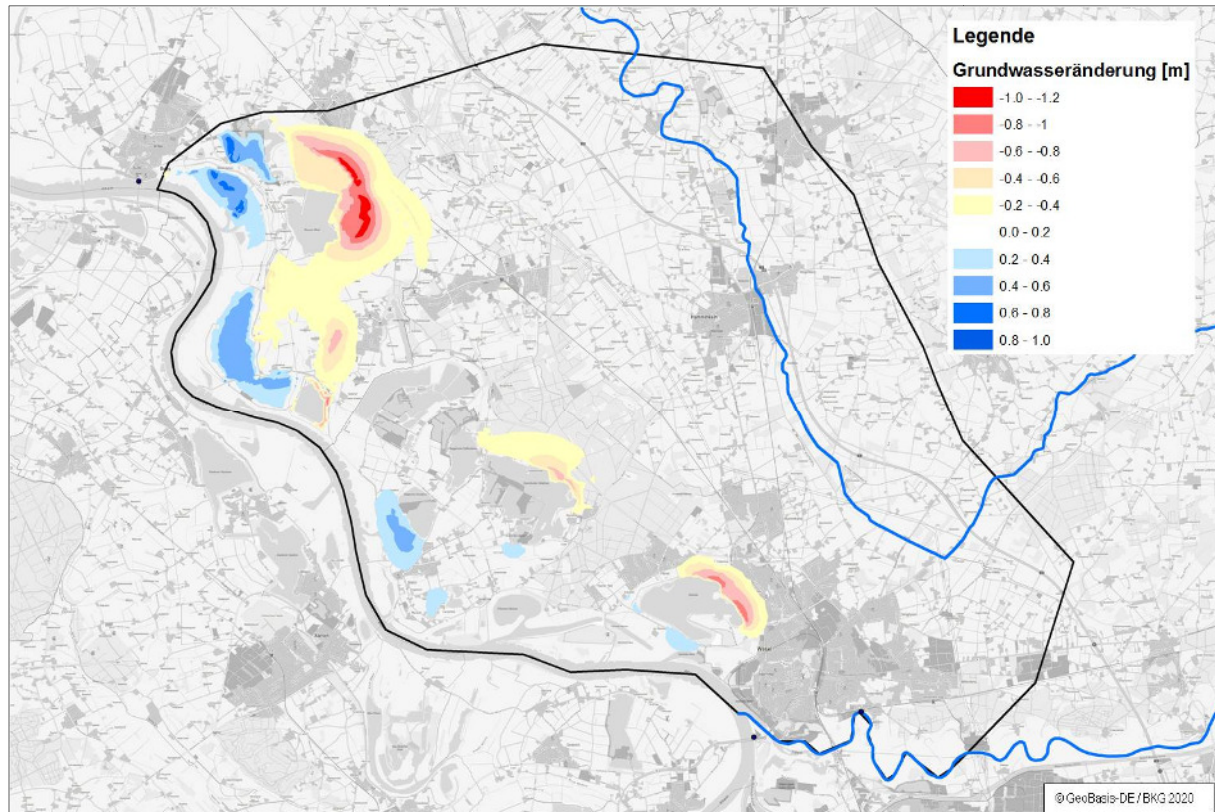


Abbildung 8.3: Auswirkungen durch Entnahme der „Dichtschürzen“ auf den Grundwasserstand

Ein Grundwasseranstieg in diesem Bereich ist darauf zurückzuführen, dass das Rheinwasser aufgrund der geringeren Abdichtung im Untergrund schneller in das Grundwasser vordringen kann, infolgedessen steigen die Wasserstände in den Abgrabungen und auch das Grundwasser im Deichhinterland.

Auf der dem Rhein abgewandten Seite der Abgrabungen ist ein gegenteiliger Effekt zu beobachten. Die Grundwasserstände sinken in diesen Bereichen deutlich ab, dies ist darauf zurückzuführen, dass die Grundwasserstände oberhalb i. d. R. höher liegen als die Wasserstände in den Abgrabungen. Durch das Entfernen der Dichtschürzen kann das Grundwasser schneller durch die Bodenpassage in die Abgrabungen strömen.

Fazit

Lokal im Bereich der Abgrabungen und auch einige hundert Meter im Umkreis haben die Dichtschürzen einen deutlichen Effekt auf die kleinräumigen Grundwasserverhältnisse. Gerade auf der dem Rhein zugewandten Seite hat dies den positiven Nebeneffekt, dass Rheinhochwasser nicht so schnell wie unter normalen Bodenverhältnissen in das Grundwasser und damit auch in das Deichhinterland eindringen kann. Auf der dem Rhein abgewandten Seite führen die Dichtschürzen zu einem Rückstau im Grundwasser. Dieser ist lokal begrenzt und dehnt sich je nach geologischen Verhältnissen, Grundwassergefälle, Geländestruktur zu einer Ausdehnung von einigen hundert Metern bis zu ca. einem Kilometer.

Der Effekt der Dichtschürzen ist, gerade in Hinblick auf den Rhein, als positiv zu bewerten, da hierdurch das Deichhinterland zusätzlich vor eindringendem Grundwasser geschützt wird.

8.4 Lokale Schutzmaßnahmen / Objektschutz

Die zuvor in Kapitel 0 beschriebenen Maßnahmen beziehen sich alle auf großflächige Grundwasserabsenkungen im Hochwasserfall. Häufig ist es aber sinnvoll oder notwendig, einzelne Gebäude vor eindringendem Grundwasser zu schützen. Hierfür gibt es unterschiedliche Maßnahmen, die auch davon abhängig sind, ob es sich um Bestandsbebauung oder einen Neubau handelt. Nachfolgend sind diverse Maßnahmen aufgeführt und skizziert:

„Weiße Wanne“:

Hierbei handelt es sich um eine wasserundurchlässige Stahlbetonkonstruktion für das Kellergeschoss. Bei dieser Variante sind zusätzliche Außenabdichtungen nicht notwendig, lediglich eine Abdichtung der Arbeits- und Dehnfugen ist erforderlich. Bei einer fachgerechten Ausführung kann durch eine solche Konstruktion das Eindringen von Grundhochwasser verhindert werden. Eine schematische Darstellung der Weißen Wanne kann Abbildung 8.4 entnommen werden.

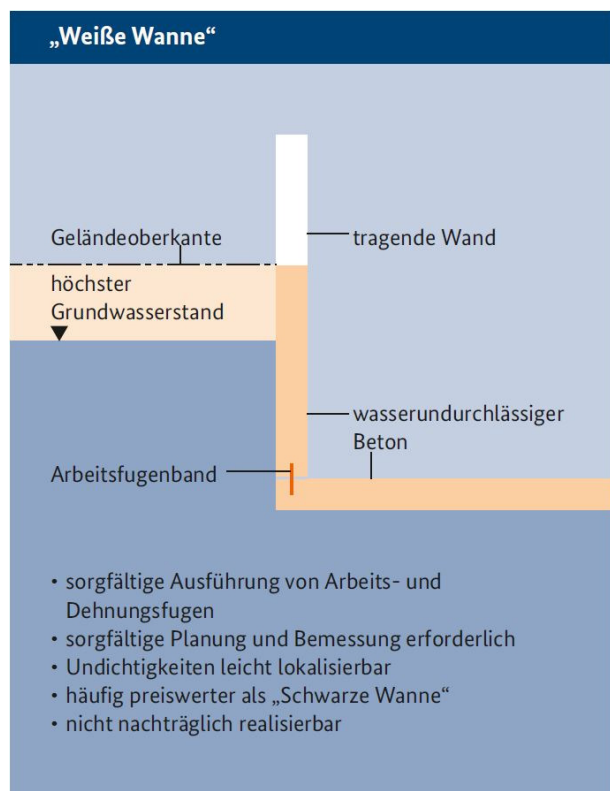


Abbildung 8.4: Schematische Zeichnungen der Weißen Wanne (Bildquelle: Hochwasserschutzfibel, 2015)

Nachteil dieser Bauweise ist, dass die Wahl schon vor Baubeginn getroffen werden muss, nachträglich kann der Einbau einer Weißen Wanne nicht mehr ausgeführt werden.

- Vorteile: Bei fachgerechter Ausführung guter Schutz gegen eindringendes Grundwasser
Keine Drainage erforderlich
Keller auch bei anstehendem Grundwasser möglich

Wartungsarm und witterungsbeständig (Lebensdauer ca. 60 - 80 Jahre)

Sanierung von innen möglich

- Nachteile: Hohe Kosten
Aufwendige Planung
Nur bei Neubau möglich

„Schwarze Wanne“:

Als Schwarze Wanne wird eine in der Regel aus Kunststoff oder Bitumen bestehende Außenabdichtung oder Innenabdichtung des Kellergeschosses bezeichnet. Die Außenabdichtung wird dabei so angebracht, dass alle Bauteile, die mit dem Erdreich in Kontakt stehen, druckwasserdicht umschlossen sind. In Abbildung 8.5 sind beispielhaft schematische Zeichnungen der beiden Ausführungsvarianten abgebildet. Diese Bauweise kann auch nachträglich bei Bestandsbauten realisiert werden, wobei die Kosten in diesem Fall deutlich höher liegen, da zuvor die kompletten Außenwände des Kellergeschosses freigelegt werden müssen.

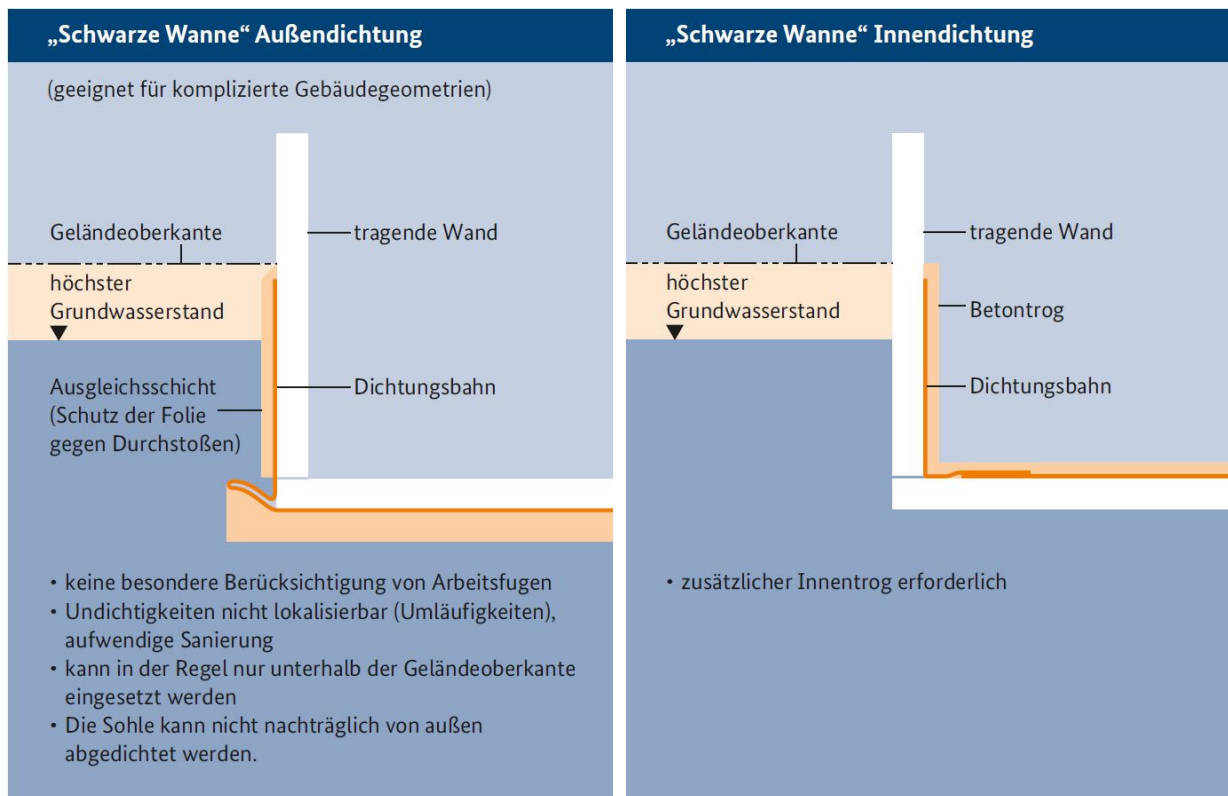


Abbildung 8.5: Schematische Zeichnungen der Schwarzen Wanne, links = Außendichtung, rechts = Innendichtung (Bildquelle: Hochwasserschutzfibel, 2015)

- Vorteile: Bei fachgerechter Ausführung guter Schutz gegen eindringendes Grundwasser
Geringere Kosten als bei der Weißen Wanne
Kann auch bei Bestandsbauten realisiert werden
Keller auch bei anstehendem Grundwasser möglich

- Nachteile: Abdichtung kann von außen beschädigt werden
Lebensdauer ca. 30 Jahre

Drainage:

Der Einbau einer Drainage um Kellergeschosse ist nur sinnvoll, wenn die Gründungssohle bei mittleren Grundwasserständen nicht innerhalb des Grundwassers steht. Gegen das kurzfristige Auftreten von Grundhochwasser hingegen kann eine Drainage sinnvoll sein. Bei dieser Maßnahme wird um das Kellergeschoss herum kurz unterhalb der Gründungssohle ein Graben gezogen. Innerhalb des Grabens werden Drainage-Rohre verlegt, der Graben anschließend mit Kies aufgefüllt. Die Rohre verlaufen unter leichtem Gefälle in Richtung eines Pumpensumpfes, um dort das anfallende Wasser abzupumpen.

- Vorteile: Kann nachträglich realisiert werden
Geringere Kosten als bei der Weißen und Schwarzen Wanne
- Nachteile: Kein zuverlässiger Schutz vor Grundhochwasser
Nur möglich bei Gründungssohle oberhalb des Grundwassers

Neben den dargestellten Maßnahmen gibt es natürlich noch weitere Möglichkeiten, sich gegen eindringendes Grundwasser zu schützen. Des Weiteren ist es sinnvoll, an Abläufen Rückschlagklappen zu installieren, um ein Eindringen von Wasser aus dem Kanalsystem zu verhindern. Darüber hinaus sollten Lichtschächte / Kellerfenster ebenfalls gegen das Eindringen von Wasser gesichert werden. Die Hochwasserschutzfibel (BMUB, 2015) gibt zahlreiche Hinweise für betroffene Bürger und Immobilienbesitzer zum hochwasserangepassten Bauen und Objektschutz.

9 Beschreibung der Auswirkungen veränderter Grundwasser- verhältnisse auf die Landwirtschaft

Angesichts der zu erwartenden Zunahme von Klimaereignissen wie Starkregen, Überschwemmungen und der damit einhergehenden hohen Grundwasserspiegel, aber auch Trockenperioden und Hitzewellen und einer Intensivierung von akuten Niederschlagsereignissen, sollten gängige Wassermanagementmaßnahmen an die neuentstehenden Situationen angepasst werden.

Die im Jahr 2007 eingeführte EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie hat den Anspruch, bestehende Hochwasserrisiken zu analysieren und Risiken für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, bestehende Infrastruktur und Eigentum zu verringern. Der Schwerpunkt dieser Verordnung liegt jedoch in erster Linie auf dem Hochwasserrisiko von Fließgewässern und lässt Starkregeneignisse weitestgehend außer Acht. Aufgrund begrenzter Kapazitäten fließender Gewässer werden landwirtschaftliche Flächen und deren Entwässerungsgräben häufig zur Wasserretention genutzt. Während es in der Hochwasserschutzplanung ausgewiesene Wasserrückhaltegebiete gibt, werden durch Überschwemmungen hervorgerufene wirtschaftliche und ökologische Schäden am betroffenen Land häufig nicht berücksichtigt. In einigen Fällen, insbesondere in ausgewiesenen Poldern zur Wasserrückhaltung, können Landwirte Schadensersatz beantragen. In Anbetracht der Tatsache, dass die Bewertung von beeinträchtigten Bodeneigenschaften und Ökosystemleistungen in einigen dieser Bereiche sehr schwierig ist, können Landwirte nur für eventuelle Ernteausfälle entschädigt werden.

Hohe Grundwasserspiegel sind häufig direkt und indirekt an hohe Wasserstände in fließenden Gewässern gekoppelt. Diese Koppelung hat zur Folge, dass es nach starken Regenfällen zu Überschwemmungen umliegender Flächen kommen kann, da das Wasser nur begrenzt in den Boden infiltrieren kann und ein unterirdischer Abfluss durch hohe Grundwasserspiegel verhindert wird. Stehendes Oberflächenwasser kann sowohl Kulturpflanzen als auch die natürliche Vegetation stark negativ beeinflussen und hohe Schäden in der Landwirtschaft, aber auch in der Natur verursachen. Fließendes Oberflächenwasser kann zu Erosion und damit verbundenem Verlust von wertvollem Mutterboden führen und Kulturen zerstören, oder hartnäckig verschmutzen, sodass eine wirtschaftliche Nutzung, z. B. als Viehfutter, stark eingeschränkt ist.

Die Landnutzung, insbesondere in unmittelbarer Nähe von Flüssen, könnte an die Zunahme intensiver klimatischer Ereignisse, sowohl bei feuchteren als auch bei trockeneren Bedingungen, angepasst werden. Mit Blick auf den Hochwasserschutz muss die Landschaft in der Lage sein, Wasser rückzuhalten und das Landnutzungssystem muss eine hohe Infiltrationsrate sicherstellen können, um das Hochwasserpotenzial zu minimieren, die Flutwelle abzuschwächen und dabei entstehende Schäden minimal zu halten. Es sind Dauergrünlandssysteme, die diese Anforderungen weitestgehend erfüllen.

Bei zu erwartender Trockenheit könnte auf Kulturen zurückgegriffen werden, die besonders gut mit Wasserstress umgehen können. Leider ist die präzise Vorhersage, besonders bei lokalen Wetterereignissen, sehr schwer umsetzbar und schon gar nicht langfristig planbar.

Die totale Umnutzung der an ein Flussbett angrenzenden Gebiete ist für die Landwirte nicht wirtschaftlich und Wasserretention auf landwirtschaftlichen Flächen ist im Allgemeinen nicht die bevorzugte Nutzungsform. Aus landwirtschaftlicher Sicht muss das Wasser in der Lage sein, die Flächen schnell zu verlassen, um Schäden an Feldern und Kulturpflanzen zu vermeiden und die Zugänglichkeit und vor allem die Befahrbarkeit der betroffenen Flächen zu wahren. Hohe Grundwasserstände und Stauwasser auf dem Feld können die Boden- und Pflanzenbewirtschaftung mit schweren Maschinen stark einschränken. Selbst auf Weiden ist, bei hohem Grundwasserstand und Staunässegefahr, der Zugang für Nutztiere begrenzt, da das hohe Gewicht der Tiere und nur punktuelle Belastungen des Bodens durch die Hufe die Weide dauerhaft beschädigen kann (FAL, 2001). Dieser beschränkte Zugang kann erhebliche Mehrkosten für die Landwirte zur Folge haben. Vieh kann nicht auf die Weide

und muss in den Stall, Raufutter kann nicht gemäht werden, um die Tiere in den Ställen zu füttern. So muss oft mit zugekauftem Kraffutter beigefüttert werden. Es besteht also ein gewisser Interessenkonflikt zwischen Interessenvertretern im Hochwasserschutz und der Landwirtschaft. Verträge zwischen Landwirten und Kommunen zur gezielten Flutung von ausgewiesenen Polderflächen zur Wasserretention und Hochwasserrückhaltung können hier Abhilfe schaffen. Eine angemessene Entschädigung für Ausfälle und Mehraufwand im Hochwasserfall muss jedoch festgeschrieben sein. Die unabhängige Bewertung der Schäden muss schnell und unbürokratisch erfolgen, sodass die Landwirte nicht lange auf den Mehrausgaben sitzen bleiben.

Bestehende technische bzw. bauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz (Wälle, Deiche, Renaturierung, etc.) entlang der Fließgewässer schützen das umliegende Land bei kleinerem, häufig auftretendem Hochwasser. Jedoch können negative Folgen von Überschwemmung besonders für die Landwirtschaft erheblich sein. Verschmutzung der Kulturen, Bodenerosion, erschwelter Zugang zu den Flächen und nicht zuletzt Ernteauffälle durch Stauwasser haben oft folgenschwere Auswirkungen für betroffene Landwirte. Es muss also ein geeigneter Ausgleich der Interessen zwischen Landwirtschaft und Hochwasserschutz gefunden werden.

Da es im Juni 2016 zu einem starkregenbedingten Jahrhunderthochwasser von Rhein und Issel kam und das Gebiet um Hamminkeln entlang der Issel besonders stark betroffen war, wird dieses Ereignis, mit vorhandenen Daten aus dem Einzugsgebiet der Mittleren Issel, zwischen der „Bärenschleuse“ und den „Loikumer Schleifen“ als Beispiel in den Fokus dieses Berichtabschnittes gesetzt. Eine Auswertung des Istzustandes im Projektgebiet und die Bewertung der Auswirkungen des Planzustandes für die Landwirtschaft stehen im Vordergrund der Untersuchungen. Durch die Hochschule Rhein-Waal (HSRW) werden hier vorwiegend die landwirtschaftlich relevanten Faktoren behandelt.

9.1 Beschreibung des Projektgebietes (HSRW)

Das Projektgebiet wird durch die Modellrechnungen von ProAqua bestimmt. Der nördliche Rand des Projektgebietes erstreckt sich von Dingden im Osten über die Loikumer Schleifen, über Haldern weiter westlich bis Rees am Rhein. Von Dingden im Norden über Brünen bis einschließlich Obrighoven weiter südlich schließt das Gebiet die Issel und umliegendes Land mit ein. Von Obrighoven über Wesel bis an den Rhein verläuft der Südrand des Gebietes. Der Westrand ist an den Verlauf des Rheins angepasst (vgl. Abbildung 9.1).

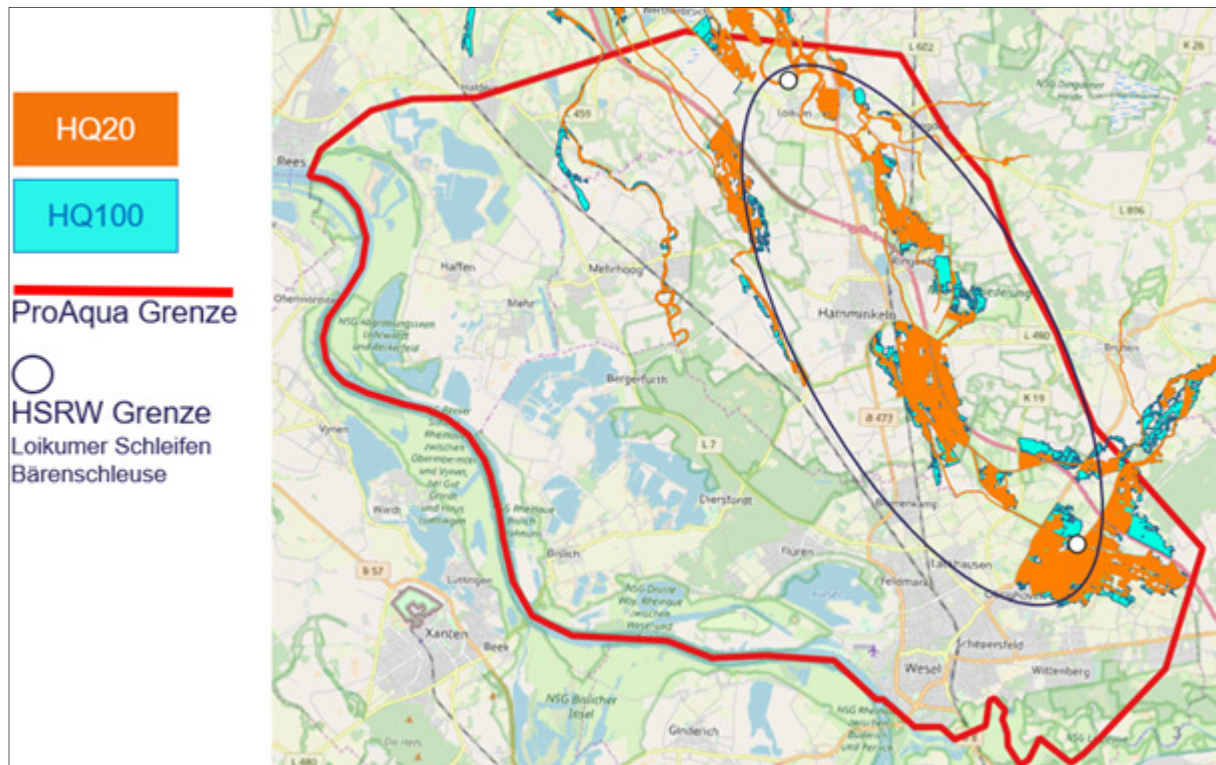


Abbildung 9.1: Gebietsgrenze Projektgebiet ProAqua in rot, Gebietsgrenze Projektgebiet HSRW im Umkreis der Mittleren Issel eingezeichnet in schwarz

Für die Bewertung der landwirtschaftlichen Situation durch die Hochschule Rhein-Waal jedoch wird der Fokus eher auf die Flächen begrenzt, die im direkten Umland der Mittleren / Unteren Issel zwischen den Loikumer Schleifen und der Bärenschleuse bei Obrighoven liegen. Es handelt sich hier um Flächen, die offiziell vom Land NRW als Überschwemmungsgebiete eingestuft sind und im Hinblick auf deren Hydrologie durch ProAqua genauer beleuchtet wurden. Nach den Starkregenereignissen 2016 waren die landwirtschaftlichen Flächen um Hamminkeln stark von den anfallenden Wassermassen betroffen. In dieser Region ist die Landwirtschaft sehr prominent und dominiert das Landschaftsbild. Der Großteil der Flächen entlang der Issel wird aktiv landwirtschaftlich bewirtschaftet.

9.2 Material und Methode zur Beschreibung der Auswirkungen auf die Landwirtschaft

Die Definition der Kriterien für die Literaturstudie wurde vor allem in der Anfangsphase der Projektperiode der HSRW durchgeführt. Kriterien wurden auf die Umstände der umliegenden Flächen entlang der Issel angepasst. Im Informationsaustausch mit der Landwirtschaftskammer NRW wurden Daten zu den Fokusflächen zur Verfügung gestellt. Eingehend auf diese Daten wurde die Literaturliste zur Kulturlandschaft in den Issel-Niederungen zusammengestellt.

Im Hinblick auf die Geschehnisse im Juni 2016 wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt (siehe Anhang), der über die Situation des jeweiligen Landwirtes während der Hochwasserereignisse Aufschluss geben sollte. Besonders die Kulturen und entstandene Schäden an Kultur und Fläche sollten hier in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt werden, aber auch die Anpassungen im Anbaumuster, die eventuell eingebracht wurden, sollten deutlich gemacht werden.

Um Interviews mit den Landwirten führen zu können, wurden einige Instanzen angesprochen, um Kontaktdetails der damals betroffenen Landwirte zu bekommen. Unter anderem wurden das Büro des Bürgermeisters der Stadt Hamminkeln sowie die Landwirtschaftskammer NRW um Hilfe gebeten, den Kontakt zu den Landwirten zu ermöglichen. Diese Vorgehensweise stellte sich aber als äußerst prekär und rechtlich schwierig dar, da laut aktuellem Datenschutzgesetz keine Daten ohne die Zustimmung der Landwirte herausgegeben werden konnten. In der Zwischenzeit konnte durch Eigeninitiative und durch spontane Besuche auf zufällig ausgewählten Höfen entlang der Issel sowie persönliche Beziehungen in der Region ein Kontakt hergestellt werden. Nach einiger Zeit sind dann auch seitens der Stadt Hamminkeln und seitens der Landwirtschaftskammer NRW unter Zustimmung der Landwirte Kontaktdaten an die HSRW weitergeleitet worden.

Mit den Landwirten wurden im Anschluss Treffen auf ihren Höfen und Flächen vereinbart, um über die Hochwassersituation, über Erfahrungen, Erlebnisse und Einschätzungen zu sprechen. In erwartungsvoller Haltung wurden dazu die entsprechenden Vorbereitungen getroffen. Oft sind diese Treffen dann aber im letzten Moment gar nicht zustande gekommen. Landwirte mussten ihrer Arbeit nachkommen oder hatten den abgemachten Termin schlechthin versäumt. Generell war es sehr viel schwieriger, an willige Gesprächspartner zu gelangen als anfangs antizipiert. Dieses Hin und Her hat sich über fast 6 Monate hingezogen. Am Ende der Bearbeitungsperiode der HSRW haben Gespräche mit sieben verschiedenen Landwirten stattgefunden, die jedoch sehr aufschlussreich über die damalige Situation waren. Die Daten aus den Gesprächen wurden auf Anfrage aller Landwirte anonymisiert und sind in den Bericht mit eingeflossen.

9.2.1 Hintergrunddaten zu Feldfrüchten im HSRW-Fokusgebiet

Die Auswertung der Daten aus dem Bereich der festgesetzten Überschwemmungsgebiete (ÜSG) entlang der Issel zeigt die Bewirtschaftungsformen im Istzustand an. Diese Daten der Landwirtschaftskammer aus 2019 zeigen auf, dass fast die Hälfte der Gesamtfläche im HQ₁₀₀-Gebiet der Issel (49,9%) als mehrjähriges Grünland bewirtschaftet wird und etwa 3,6% der Fläche dem Anbau von Ackergras zugeschrieben werden kann. Ackergras wird für die Risikobewertung mit mehrjährigem Grünland gleichgestellt. Im Risikogebiet werden mehr als ein Viertel (25,4%) der Gesamtfläche mit Futtermais bebaut, wobei auf den restlichen Flächen diverse andere Kulturen im einstelligen Prozentbereich angebaut wurden.

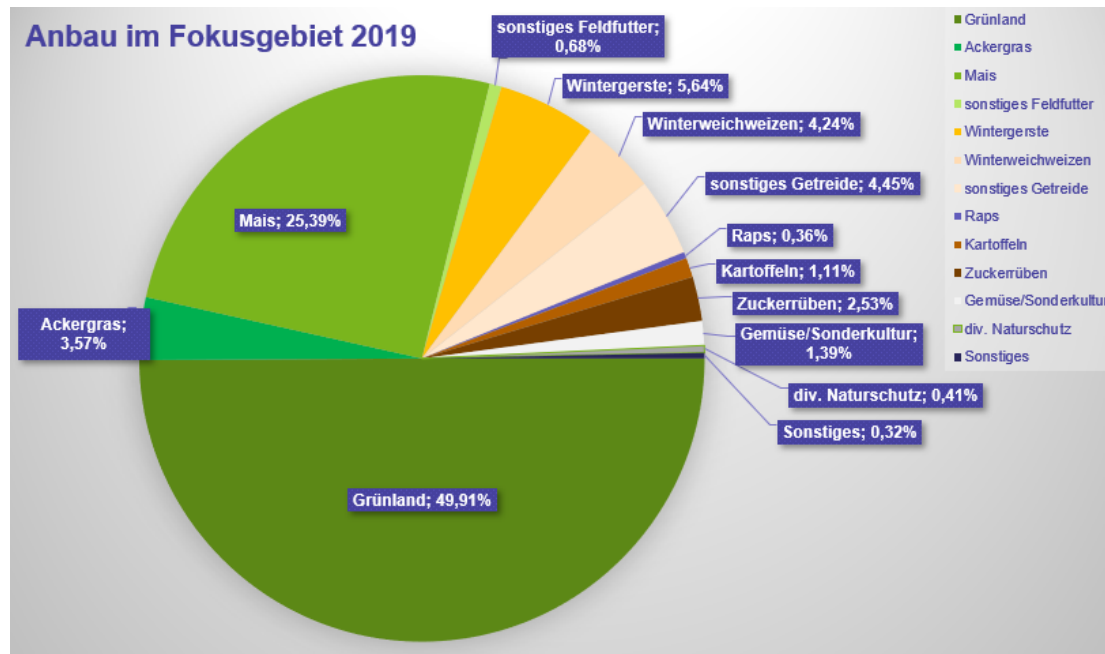


Abbildung 9.2: Prozentualer Anbau im HSRW-Fokusgebiet, Futterpflanzen gruppiert in Grüntönen, Getreide gruppiert in hellen Farben. übrige Feldfrüchte nicht gruppiert. Quelle: Landwirtschaftskammer NRW (2019)

Die großflächige Nutzung als Dauergrünland wird für die Risikobewertung im Projektgebiet als günstig eingeordnet, da es kaum Kulturen gibt, die besser mit langanhaltender Staunässe umgehen können. So wird das Ausfallrisiko für betroffene Flächen auf ein Minimum reduziert. Die andere Hälfte der Risikoflächen ist laut LWK NRW als Ackerland mit verschiedenen Fruchtfolgen genutzt. In Abhängigkeit von der Kultur ist das Ausfallrisiko bei einem Hochwasserereignis unterschiedlich hoch.

9.2.2 Staunässe und Feldfrüchte

Staunässe kann stark negative Auswirkungen auf die agronomische Leistung von Nutzpflanzen haben (Liu et al., 2010). Ausschlaggebend für Entwicklung und Ertrag der Kulturpflanzen sind einige boden- und pflanzenphysiologische Faktoren. Nach Kozłowski (1987) führt ein Überfluten des Bodens zu einer Kaskade verschiedener physikalischer, chemischer und biologischer Prozesse, die hier im Weiteren kurz aufgeführt werden. Diese Prozesse beeinflussen das Potenzial des Bodens als Wachstumsmedium für Pflanzen. Die Zusammensetzung des Bodens sowie die Dauer der Flut haben ebenfalls einen starken Einfluss.

Bodenphysikalische Effekte

Zu einer Staunässesituation oder Vernässung kommt es, wenn der Boden mit Wasser gesättigt ist. Dies kann der Fall sein, wenn es stark geregnet hat oder wenn ein Hochwasserereignis stattgefunden hat und der Grundwasserspiegel bis kurz unter oder sogar über Bodenniveau steigt. In manchen Böden, unter anderem in Auenböden, ist der Grundwasserspiegel ausschlaggebend für die Infiltration von Regen (Galusser und Schenker 1992).

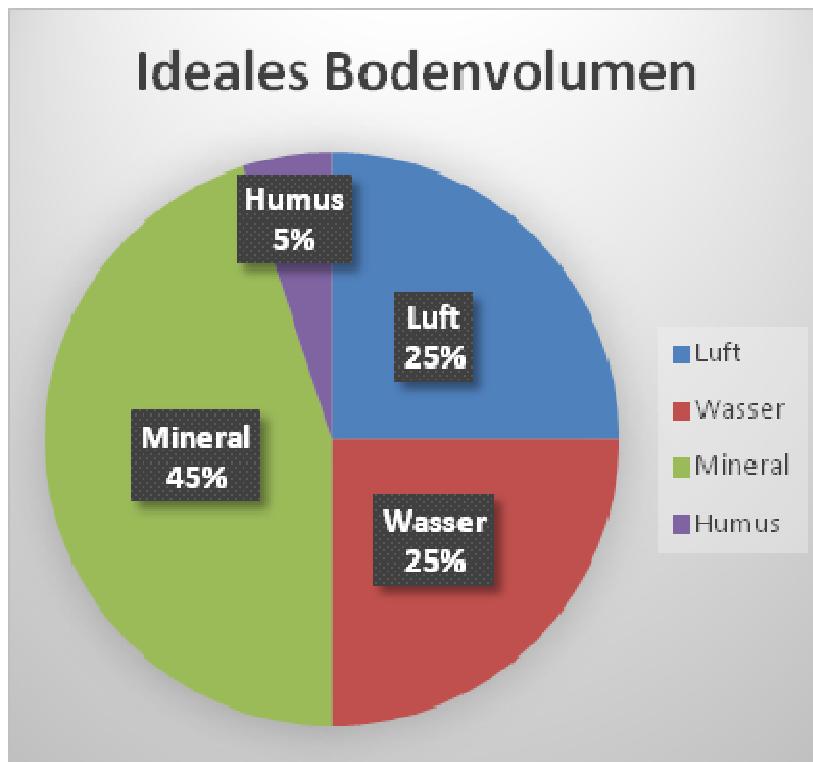


Abbildung 9.3: Das ideale Bodenvolumen nach Brady und Weil (2017) Adaptiert durch HSRW

Die Autoren Brady und Weil (2017) stellen heraus, dass, sobald Grundwasser knapp unter Bodenniveau steht, der Boden nur geringe Kapazität hat, noch weiteres Wasser aufzunehmen. Eine Sättigung entsteht dann, wenn das Porenvolumen des Bodens fast vollständig mit Wasser gefüllt ist. Weiter führen sie aus, dass Pflanzen und Mikroorganismen Bodenporen benötigen, die mit Wasser und Luft gefüllt sind, da der Sauerstoff aus der Luft unentbehrlich für deren Zellatmung ist. Im Falle von Staunässe können schnell anaerobe Bedingungen entstehen, die Sauerstoffmangel bei Pflanzen und Mikroorganismen hervorrufen können. Anschließend kann es zur Denitrifikation von Nitraten in den Böden und somit zu Verlust von Stickstoff im Boden und zu N_2O - und Methanbildung kommen. Das Resultat sind erhöhte Klimagasemissionen aus dem Boden (Augustin et al, 1998, Saarnio et al, 2009, Oertel et al, 2016). Dies sind alles natürliche Prozesse, die jedoch durch die Aktivitäten des Menschen und besonders durch die Landnutzung beeinflusst werden können. Nutzung schwerer Maschinen zum Beispiel kann zur Komprimierung des Bodens und somit zur Verkleinerung der Bodenporen und sogar zur Verdichtung des Bodens führen. Nasse Flächen sind hier besonders gefährdet. Kleine bzw. keine Bodenporen verringern die Aufnahmekapazität des Bodens stark. Das Versickern des Wassers wird erschwert und es bleibt als Oberflächenwasser stehen. Abfluss von Oberflächenwasser kann durch Bodenerosion schwere Schäden verursachen (Brady und Weil, 2017). Bei der Planung für eine passende Wassermanagementstrategie im Einzugsgebiet von Fließgewässern und in tiefliegenden, eher nassen Gebieten sollte daher darauf geachtet werden, dass eine gute Infiltration und ein guter Abtransport des Wassers sichergestellt ist. Hierzu ist neben der Landnutzungsform auch der Unterhalt von bestehenden Entwässerungsgräben ausschlaggebend.

Sauerstoffmangel und Klimagasemission

Die Gasdiffusion im Boden ist bei Staunässe und hypoxischen Bedingungen eingeschränkt. Kozłowski beschreibt, dass der Gasaustausch zum Stillstand kommt, wenn das Gasvolumen in den Bodenporen unter 10% fällt. Innerhalb weniger Stunden nach dem Hochwasser wird der Sauerstoff im verbleibenden Porenraum durch Mikroorganismen und Pflanzenwurzeln aufgebraucht. Überflutete Böden und ein geringer Anteil an gasgefüllten Poren führen zu einer anaeroben Umgebung im Boden. Klimagase wie Lachgas, Kohlendioxid und Methan rei-

chern sich in Teilen des Bodens an und bauen Druck auf, bis sie durch Blasenbildung aus dem Boden entweichen (Kozlowski, 1987).

Quellen von Bodenkolloiden

Trockener Boden, der durchnässt oder überflutet wird, nimmt je nach Tongehalt Wasser auf und quillt auf. Das Quellen des Bodens ist typischerweise innerhalb der ersten drei Tage nach dem Fluten abgeschlossen und kann das Volumen der Bodenporen drastisch verringern. Ein aufgequollener Boden weist oft verringerte Aufnahmekapazität und Infiltrationsraten auf (Kozlowski, 1987).

Bodenstruktur verändert sich

Das Ziel guter landwirtschaftlicher Praxis ist es, die Bodenstruktur zu erhalten und durch Anreicherung von organischer Substanz im Boden aufzubauen. Länger anhaltende Staunässe im Boden kann sich stark negativ auf die Bodenstruktur auswirken, indem vorhandene Bodenaggregate zerstört werden und die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht beeinträchtigt wird (Kozlowski, 1987).

Wasserbewegung

Unter normalen, nicht nassen Bedingungen verlässt Regen- oder Bewässerungswasser die Flächen durch Evapotranspiration durch Pflanzen und Gasdiffusion im Boden oder durch Perkolation und Versickerung. Alle diese Faktoren werden durch die Bodentextur (je gröber der Boden, desto besser die Drainage), die Menge der im Boden vorhandenen Gase (insbesondere Sauerstoff) und Wasser, das Vorhandensein einer Pflugpfanne und die Höhe des Grundwasserspiegels beeinflusst (Kozlowski, 1987).

In den sandigen Böden entlang der Issel haben die Perkolation, Versickerung sowie der Grundwasserstand den größten Einfluss auf die Wasserbewegung im Boden. Wasser kann ungehindert abfließen, solange der Boden nicht wassergesättigt ist.

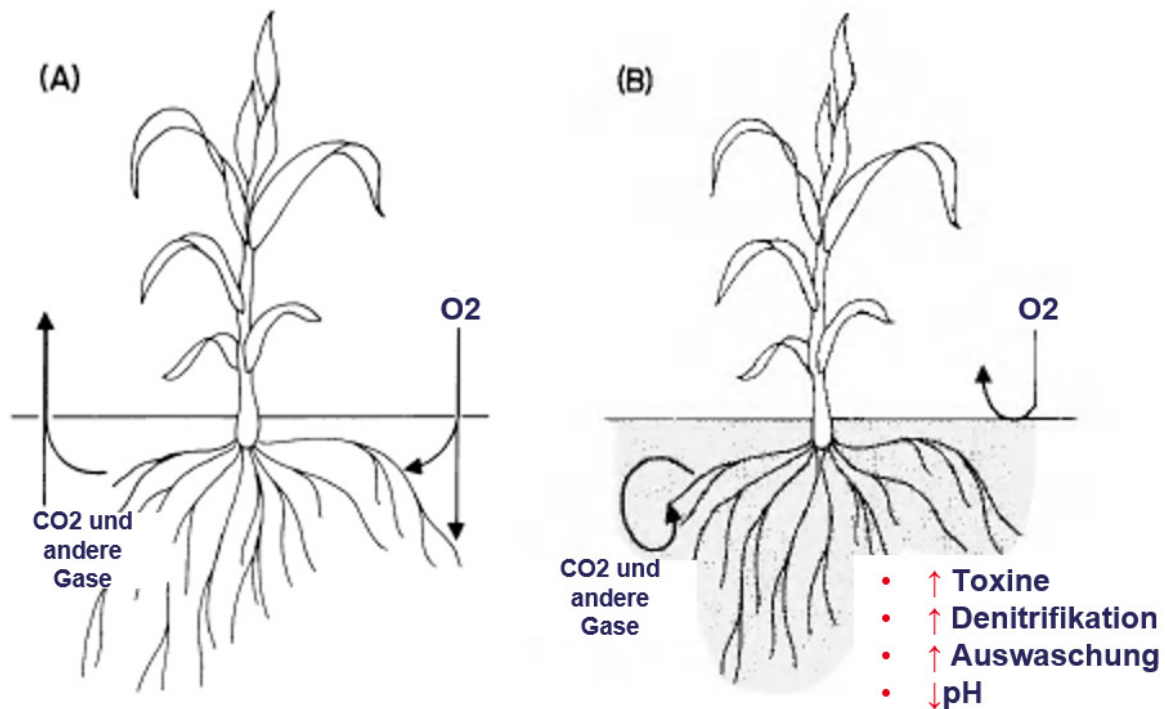


Abbildung 9.4: Gasaustausch im Boden im Normalfall (A) und im Staunässefall (B), (A) beschreibt den normalen Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Boden, Wurzeln geben CO₂ an die Atmosphäre ab und nehmen Sauerstoff auf, (B) der Staunässefall beschreibt die relative Undurchlässigkeit des wassergesättigten Bodens. CO₂ kann nicht entweichen und Sauerstoff nicht durch die Bodenporen zu den Wurzeln gelangen. Im Prozess sinkt der pH, Toxine kommen frei, Denitrifikation und Verlust von Stickstoff und anderen Nährstoffen findet statt. Quelle: Felner et al (2006) .

Evapotranspiration durch die Pflanzen ist stark abhängig von deren Zugang zu genügend Wasser, Sauerstoff und Licht. Besonders das Wurzelwachstum der meisten Feldfrüchte wird durch einen hohen Grundwasserspiegel im Frühjahr derart beeinflusst, dass sich nur flache Wurzeln ausbilden können. Dies hat dann in anschließenden trockenen Sommern, bei schnell fallendem Grundwasserspiegel, den Effekt, dass die Wurzeln nur schwer Zugang zu dem Wasser finden, das dann nur in den tieferen Bodenschichten zu finden ist. Solch ein Wasserstress kann kurzzeitig durch die Reduktion des Pflanzenstoffwechsels und die Schließung der Stomata zur Reduktion der Verdunstung von Wasser überwunden werden. Jedoch sind langfristige Trockenperioden oft mit schwerwiegenden Folgen und hohen Ausfällen verbunden (Brady und Weil, 2017).

Bei gleichbleibendem Grundhochwasser sind die Pflanzen im Hinblick auf die Wurzelbildung auf einen nur flachen Bodenhorizont beschränkt, dessen Aufnahmekapazität für Wasser bei akuten Regenfällen schnell erreicht ist. Eine kurzzeitige Sättigungssituation des Bodens ist für viele Pflanzenarten noch kein Problem. Länger anhaltende Staunässe jedoch hat den Effekt, dass die Wurzeln der Pflanzen zu lange in einer sauerstoffarmen Umgebung stehen. So kann die Zellatmung nicht stattfinden und das Wurzelgewebe stirbt langsam ab. Besonders Knollenfrüchte sollten nicht im Wasser stehen, da schnell Wurzelfäule einsetzen kann.

Chemische und biologische Faktoren

Im Folgenden werden die chemischen und biologischen Faktoren nach Kozlowski, die den vernässten Boden am meisten beeinflussen, kurz zusammengefasst.

Stauanässe hat neben der Bildung einer sauerstoffarmen Umgebung im Boden noch einige andere Effekte, die die Fruchtbarkeit des Bodens beeinflussen. Elektrochemische Veränderungen durch die Verdünnung des Bodenwassers und darin gelöster Nährstoffe bewirkt einen schnellen Anstieg des Boden-pH, der verantwortlich für die Verfügbarkeit bestimmter Nährstoffe und Schwermetalle für die Pflanzen ist. Eine sauerstoffarme Umgebung hat die Reduktion des Bodens zur Folge, die einen direkten Einfluss auf die Fähigkeit des Bodens hat, bestimmte Nährstoffe zu binden und für Pflanzen verfügbar zu machen.

Der Großteil der Bodenlebewesen braucht Sauerstoff zum Überleben. Die Verfügbarkeit von Sauerstoff beeinflusst daher direkt die Biodiversität im Bodenprofil und ist ausschlaggebend für die Bodengesundheit und, letzten Endes, den zu erwartenden Ertrag.

Pflanzen sind durch ihre Wurzeln im Boden verankert und beziehen von dort wichtige Nährstoffe. Da die Wurzeln jedoch keine Photosynthese betreiben können, ist hier die Zellatmung als einzige Alternative sehr wichtig. Die Wurzeln aller Pflanzen brauchen Sauerstoff. Bei Stauanässe ist schon nach einigen Stunden jeglicher Sauerstoff im Boden verbraucht und es treten hypoxische Zustände auf. Die Pflanzen reagieren darauf mit morphologischen Veränderungen der Wurzelstruktur, die ein besseres Überleben sicherstellt, oder mit dem Absterben der Wurzeln, die im Wasser stehen. Eine beeinträchtigte Wurzelbildung verhindert eine effiziente Nährstoffaufnahme und ist besonders in trockeneren Perioden von Nachteil.

Ein weiterer Faktor, der berücksichtigt werden sollte, sind hormonale Veränderungen der Pflanzen in vernässten Böden. Schon in 1972 beschreiben Kawase und später auch El-Beltagy und Hall (1974) und Jackson und Campbell (1975) ein erhöhtes Ethylenlevel in Pflanzen, die zu viel Wasser ausgesetzt sind. Shiono et al. (2008) haben herausgefunden, dass Ethylen eine zentrale Rolle darin spielt, wie Pflanzen mit Stauanässe umgehen. Es regt die Bildung von Adventivwurzeln zur Erschließung neuer Bodenregionen an und es verursacht besagte morphologische Veränderungen in bestehenden Wurzeln, um einen besseren Sauerstofftransport im Gewebe zu gewährleisten. Diese Mechanismen helfen jedoch bei länger anhaltenden, stark vernässten Situationen nicht viel weiter, da im Projektgebiet in 2016 manche Flächen viel zu lange unter Wasser standen, womit nur die wenigsten Pflanzen umgehen können. Des Weiteren kostet diese metabolische Umstellung und besonders die Ausbildung von Adventivwurzeln die Pflanzen viel Energie, die normalerweise in Wachstum und Ausbildung von Biomasse und Früchten investiert würde. Das Resultat ist im besten Fall ein geringerer Ertrag und im schlimmsten Fall ein Totalausfall mit starken Verschmutzungen der Fläche.

Risikoeinschätzung und Einwirkung von Stauanässe auf Kulturen im Fokusgebiet entlang der Issel

Tabelle 9.1: Einfluss von Stauanässe auf ausgewählte Ackerkulturen

Kultur	Einfluss von Stauanässe	Quelle
Mais	Mittlerer Einfluss	Prasanna et al, 2012, Arduini et al, 2020, Gobin et al., 2018
Getreide	Mittlerer Einfluss	Macholdt und Honermeier, 2016, Gobin et al., 2018 Arduini et al, 2020
Raps	Starker Einfluss	FIBL, 2011
Zuckerrübe	Starker Einfluss	Gobin et al., 2018, Agrarservice.de, 2000
Kartoffel	Starker Einfluss	Haverkort, 2000; Harris, 2013, Gobin et al., 2018

Kartoffeln können nicht gut mit zu viel Wasser umgehen. Unter anderem werden sie darum auch in Dämmen angebaut. Risikos zur Fäule der Knollen können schon bei kurzzeitiger Staunässesituation stark erhöht werden (Haverkort, 2000; Harris, 2013, Gobin et al., 2018).

Mais: Bei Überflutungen kann Mais mit kurzzeitiger Staunässe gut umgehen. Abhängig vom Wassergehalt des Bodens vor der Staunässesituation ist mehr oder weniger Sauerstoff im Boden gespeichert. Daher kann Mais abhängig vom Standort zwischen 10 und 70 Stunden im Wasser stehen, ohne große Einbußen. Darüber hinaus sind oft eine Minderung in Pollenbildung und letztendlich Ertragseinbußen zu erwarten (Prasanna et al, 2012, Arduini et al, 2020, Gobin et al., 2018).

Verschiedene **Getreidearten**, und besonders Wintergetreide, werden oft über den Herbst, Winter und vor allem im darauffolgenden Frühjahr einer oder mehrerer Staunässesituationen ausgesetzt. Winterweizen und -gerste sowie Roggen können gut mit kurzzeitiger Staunässe umgehen, soweit das Wasser dann auch innerhalb von einigen Stunden wieder abfließt. Bei nur kurzzeitiger Staunässe kann sich aber im Vergleich besonders der Hafer wieder gut erholen, ohne Ertragseinbußen zu verzeichnen (Arduini et al, 2020). Bei längerfristiger Staunässesituation, die sich über mehrere Tage hinreckt, muss abhängig von der Wachstumsphase jedoch mit hohen bis sehr hohen Ausfällen in Getreidebeständen gerechnet werden. Wenn ein Starkregenereignis in einer der späteren Wachstumsphasen auftritt, besteht die Gefahr, dass die Pflanzen an den Boden gedrückt werden und somit nicht korrekt trocknen können. In diesen Fällen kann es zu Befall von Pilzen und Bakterien kommen, die das Erntegut ungenießbar macht (Macholdt und Honermeier, 2016, Gobin et al., 2018).

Zuckerrüben: Laut Agrarservice Mecklenburg ist das Schadbild bei Zuckerrüben bei Staunässe eindeutig bestimmt. Entweder keimt die Saat bei früher Staunässe gar nicht erst und verfault dann im Laufe der Zeit oder es resultiert in einen kümmerlichen, vergilbten Pflanzenbestand mit hohem Risiko zur Rübenfaule. Gobin et al. (2018) beschreiben, dass Zuckerrüben bei anhaltendem Regen und somit bei hoher Bodenfeuchte bis zu 86% weniger Ertrag bringen, verglichen mit idealen Wachstumsbedingungen.

Tabelle 9.2: Wasserverbrauch der Pflanzen: Abgeleitet aus mittlerem Ertragsniveau (Quelle: Eitzinger et al, 2009)

Kulturart	Transpirationskoeffizient (Liter Wasser pro kg Trockenmasse)	Gesamtwasserverbrauch der Pflanzenbestände pro Wachstumsperiode (mm)
Winter Weizen	308-690	460
Winter Gerste	310-521	400
Winter Roggen	400	350
Sommer Gerste	218-521	300
Mais	180-400	530
Energiemais	180-400	800
Kartoffel	182-636	450
Zuckerrübe	176-400	480
Raps	600-700	480
Luzerne	800	700
Buschbohne	206-400	250
Weißkohl	296-600	300
Zwiebeln	350-600	350

9.2.3 Landwirtschaftliche Wassernutzung am Klimastandort Deutschland

Die Landwirtschaft in Nordrhein-Westfalen ist weitestgehend witterungsabhängig. Das heißt, dass die Bewässerung von Kulturpflanzen in den meisten Fällen vollständig durch Niederschläge erfolgen muss. Jedoch ist der Wasserverbrauch der Kulturpflanzen abhängig von Spezies und Sorte sehr variabel. Wo zum Beispiel Mais und Zuckerrübe im Mittel eine relativ geringe Verdunstung aufweisen, zeigen Luzerne oder Raps deutlich höhere Verdunstungskoeffizienten – sie verdunsten somit mehr Wasser bei gleicher Trockenmasse. Der Umgang mit Wasser kann sogar zwischen verschiedenen Sorten der gleichen Spezies große Unterschiede aufweisen (Eitzinger et al, 2009). Die meisten Kulturpflanzen, die im Projektgebiet angebaut werden, gehören zur Familie der Süßgräser. Mais, Weizen, aber auch gewöhnliches Weidelgras gehören dieser Familie an, unterscheiden sich aber sehr in den Punkten Wachstumsvoraussetzungen und Bewirtschaftungsformen. Zur verbesserten Infiltration von Wasser, nach starkem Regen unter der Berücksichtigung der Vermeidung von Bodenerosion, ist für die Flächen im Hochwasserrisikogebiet das Dauergrünland die treffendste Landnutzung, wenn es um Vermeidung von Schäden ginge (EEA, 2019). Die BLL (2019) beschreibt jedoch, dass deutsches Weidelgras, das die Weiden in der Region stark dominiert, nicht besonders gut mit Staunässe umgehen kann, sich jedoch auch relativ schnell erholt. Eine Umstellung der Bewirtschaftungsform auf Dauergrünland in hochwassergefährdeten Flächen wäre also in diesem Sinne nur bedingt ratsam. Vertreter der Landwirtschaft machten deutlich, dass Dauergrünland wohl in wirklich nassen Jahren, aufgrund hervorragender Resilienz im Überflutungsfall, Vorteile mit sich bringen kann, in trockeneren Jahren aber wirtschaftlich eher uninteressant ist.

Im Globalem Klima Risiko Index von 2019 wird Deutschland unter den 25 am meisten von Wetterextremen betroffenen Ländern der letzten 20 Jahre geführt. Der Klimaindex beschreibt jedoch nicht nur Extreme in Bezug auf Wind und Niederschlag, sondern auch Trockenperioden und Hitzewellen. Auch wenn es in den letzten Jahren landesweit immer wieder zu Starkregen und daraus resultierenden Überschwemmungen kam, waren die Perioden zwischen den Regenereignissen oft von Trockenheit und Hitze geprägt (IPCC, 2007, 2014, 2019). Laut IPCC sollen in Zukunft in Zentraleuropa in den Sommern längere Trockenperioden noch ausgeprägter werden, während sich die Menge des Niederschlages nicht erheblich verändert oder nur etwas ins Negative vom Mittel abweicht. Dieser Umstand weist darauf hin, dass ausbleibender Niederschlag im Frühjahr und Sommer auf den Rest des Jahres umverteilt wird und entweder besonders nasse Winter oder häufigere Starkregenereignisse im laufenden Jahr erwartet werden müssen.

Mit einem hohen Bedarf an Wasser können viele Kulturpflanzen eine langanhaltende Trockenheit nur schwer überstehen. Ihr Wachstum wird stark verlangsamt und der Ertrag fällt geringer aus. Großflächige Beregnung ist nicht ökonomisch und oft auch logistisch unrealistisch. Flächen entlang der Issel, die sonst als besonders nass galten, produzieren bei Trockenheit im Vergleich gesehen besser, da hier oft immer noch genügend Wasser zur Verfügung steht. In besonders nassen Jahren kommt es hier jedoch zu Staunässe, die die Bewirtschaftung stark einschränkt. Hier besteht also ein Spagat zwischen gutem Ertrag bei Trockenheit und unterdurchschnittlichem Ertrag in nassen Jahren. Es gilt nun zu untersuchen, ob Flächen entlang der Issel durch die Durchsetzung der im HWSK vorgeschlagenen Maßnahmen beeinflusst werden und ob die Bewirtschaftung dieser Flächen im Risikogebiet angepasst werden sollte. Des Weiteren soll eine Bewirtschaftungsempfehlung für die Risikoflächen abgeleitet werden.

9.3 Grundwasserstandsveränderungen im Projektgebiet

Anhand der im Rahmen des Projektes von ProAqua erarbeiteten Daten werden in Abbildung 9.5 die Unterschiede im Grundhochwasser am Beispiel des Isselhochwassers 2016 veranschaulicht. Die Ausgangssituation Ende Mai 2016 weist gewisse Unterschiede zwischen den 4 Messpunkten aus, die auf die unterschiedliche Höhenlage der Messstationen im Feld zurückzuführen sind. Dieser Unterschied überträgt sich dann auch auf die Folgedaten bis Mitte Juli 2016. Die Lage der Grundwasser-Messpunkte ist in Abbildung 7.4 dargestellt. Die durchgezogenen

Linien in Abbildung 9.5 korrespondieren mit den gestrichelten Linien der gleichen Farbe und stellen entsprechend die Grundwasserstandsveränderung im Ist- bzw. Planzustand über den Zeitraum der Hochwasserereignisse entlang der Issel 2016 dar.

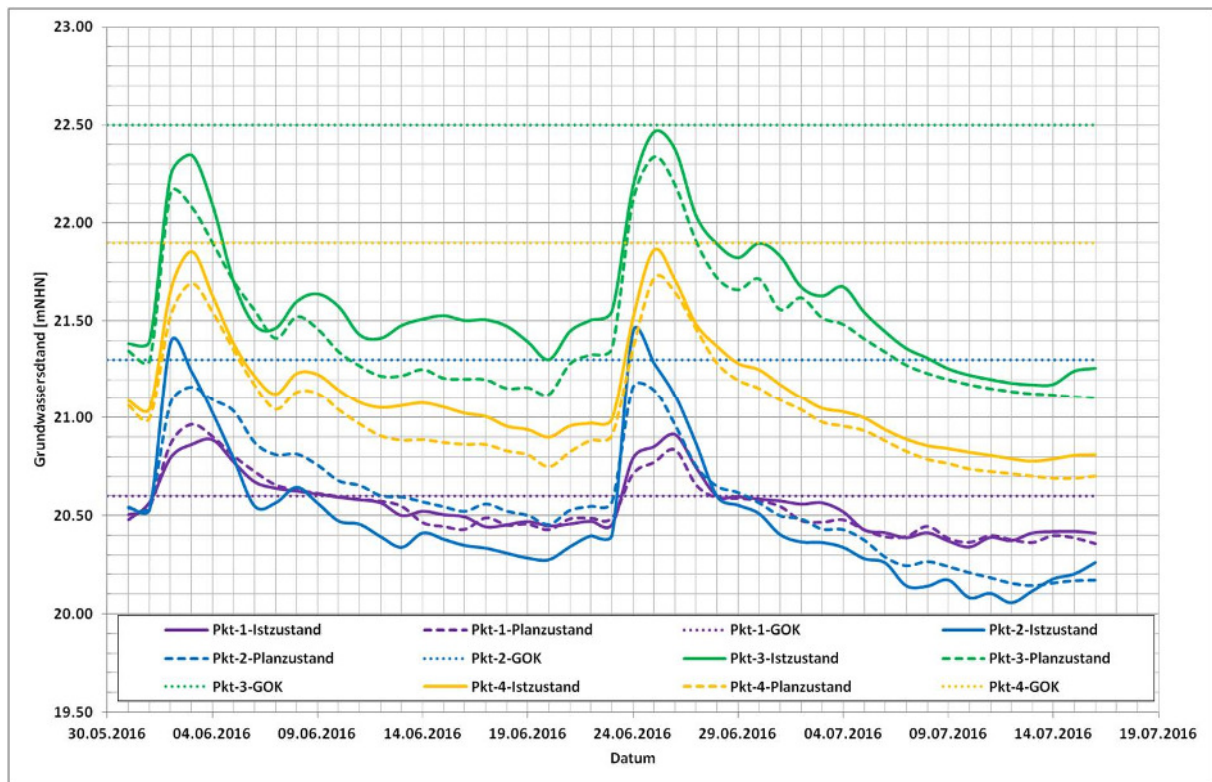


Abbildung 9.5: Grundwasserganglinien (Ist- und Planzustand) und Geländeoberkanten für die Grundwasser-Messpunkte entlang der Issel

Es ist deutlich erkennbar, dass in den Messpunkten 2 bis 4 eine Abschwächung des Peaks der Grundhochwasserwelle im Planzustand (ca. 10- 37 cm), verglichen mit dem Istzustand, stattfindet. An den Messpunkten 3 bis 4 ist festzustellen, dass das Wasser im Planzustand auch an manchen Stellen schneller wieder abfließen kann. In den Messpunkten 1 und 2, die in der ausgewiesenen Polderfläche im Maßnahmenbaustein 10 (HWSK) angesiedelt sind, soll Wasser rückgehalten werden. Dieser Fall spiegelt sich auch in Grafik 1 durch eine höhere Amplitude im Planzustand (Messpunkt 1) oder durch einen verlangsamten Ablauf überschüssigen Wassers (Messpunkt 2) wider.

Eine landwirtschaftliche Bewertung der abgebildeten Grundwasserspiegel muss somit differenzieren, ob die Flächen im Risikogebiet entlang der Issel als Polder zum Wasserrückhalt ausgewiesen sind oder nicht. Besondere Aufwendungen auf ausgewiesenen Flächen müssten im Falle einer Flutung finanziell kompensiert werden, damit der Landwirt Ausfälle, einen Mehraufwand und die Reinigung der Fläche erstattet bekommt. Flächen, die nicht als Polderflächen ausgewiesen sind, profitieren von der Abschwächung des Grundhochwassers, sollten aber entsprechend der Risikoabschätzung des Landwirtes bewirtschaftet werden. Die Grundwasserspiegel entlang der Issel sind bei Mittelwasserstand durch das HWSK nicht beeinflusst, lediglich im Hochwasserfall gibt es kurzzeitige geringe Auswirkungen auf den Grundwasserstand. Pflanzenbaulich sollte sich also im Planzustand nichts verändern. Es ist zu erwähnen, dass eine gezielte Wasserretention in den Flächen, insbesondere bei weniger intensivem Niederschlag, zur Grundwasserneubildung beitragen kann und besonders in den trockenen Monaten von größerer Bedeutung in der Region wäre.

Entlang der Issel sind Hochwassersituationen wie oben beschrieben, aber auch der Grundwasserpegel generell immer witterungsabhängigen Einflüssen unterlegen, die leider nicht langfristig vorherzusehen sind. Der Landwirt

muss sich bei der Abschätzung der zukünftigen Wetterlage oft auf die eigene Erfahrung und sein Wissen zur Beschaffenheit seiner Flächen verlassen, berechnete Klimamodelle und Wettermuster können hier nur geringfügig weiterhelfen.

9.4 Zukünftige klimatische Veränderungen in der Hochwassersituation

Als Hochwasser bezeichnet man den Zustand eines Gewässers, bei dem dessen Wasserpegel für einige Tage deutlich über dem Mittelpegel bleibt. Im Falle der Issel sind Hochwasser immer tideunabhängige, durch Starkregen bedingte Ereignisse. Das HQ_{100} beschreibt die Pegelhöhe, die im statistischen Mittel einmal in 100 Jahren erreicht oder sogar überschritten wird. Da hier von statistischen Daten ausgegangen wird, ist es möglich, dass ein sogenanntes Jahrhunderthochwasser für Jahrhunderte ausbleiben oder mehrmals im gleichen Jahr auftreten kann. Mit dem Klimawandel der letzten Dekaden hat sich die Frequenz, mit der ein derart starkes Regenereignis auftritt, dass bisher als Jahrhunderthochwasser bezeichnet wurde, jedoch erhöht. Klimaforscher gehen davon aus, dass zukünftig extreme Wetterereignisse wie Starkregen häufiger auftreten. Außerdem wird wohl nicht nur die Frequenz solcher Ereignisse zunehmen, sondern auch deren Intensität. Ein HQ_{100} -Hochwasserereignis könnte somit deutlich häufiger auftreten (IPCC 2007, 2014, 2019). Heutige HQ_{100} Ereignisse könnten somit in Zukunft zu einem HQ_{50} oder sogar HQ_{20} werden. Das heißt, dass überdurchschnittlich hohe Pegel in Zukunft häufiger vorkommen könnten. Ein gut durchdachtes Hochwasserschutzkonzept zum Schutz aller Anlieger ist notwendig, um wasserbedingte Schäden zu vermeiden. Hierzu zählen jedoch auch ökonomische Einbußen und Sachschäden in der Landwirtschaft, die häufig in Kauf genommen werden, um Gefahren der Überlastung gewässerabwärts zu minimieren.

9.5 Diskussion und Ableitung von Handlungsempfehlungen

9.5.1 Diskussion des Planzustandes der Issel aus landwirtschaftlicher Sicht

Der Planzustand des HWSK im ausgezeichneten Projektgebiet sieht vor, einige Flächen als Polder auszuzeichnen, Deiche und Flutrinnen zu bauen, und Abschnitte der Issel aufzuweiten und ökologisch aufzuwerten. Diese Maßnahmen sind vor allem in den Regionen rund um die betroffenen Gemeinden sehr sinnvoll, da besonders hier in der Vergangenheit größere Sachschäden entstanden sind. Deichanlagen sind in den Ortschaften Marienthal, Obrighoven, Ringenberg und rund um die Kläranlage an der Römerrast in Hamminkeln/ Dingden geplant. Als Hochwasserschutzmaßnahmen betreffen diese die Landwirtschaft weitestgehend nicht. Gewässeraufweitungen bei Marienthal und Ringenberg jedoch zielen darauf ab, die Gewässersohle zu verbreitern und dadurch die Fließgeschwindigkeit des Gewässers zu senken, während die Abflusskapazität erhöht wird. Eine Aufweitung hat starke Auswirkungen auf die umliegenden Flächen, da diese teils abgetragen werden müssen, um Platz für das Gewässer zu gewinnen. Dabei geht landwirtschaftliche Fläche verloren. Die ökologischen Aufwertungen sind bei Marienthal und im ganzen Abschnitt der Mittleren Issel geplant und haben den Vorteil, dass die Fließgeschwindigkeit der Issel verlangsamt werden kann und somit Wasser länger zurückgehalten wird, jedoch gleichzeitig eine höhere Abflusskapazität der Gewässerrinne entsteht. Eine Einpolderung größerer, zusammenhängender Flächen südlich der Stadt Hamminkeln entlang der A3 soll bei Starkregen einen gewissen Retentionspuffer bieten. Diese Flächen sind jedoch auch von landwirtschaftlichem Interesse. Regelmäßige Flutung dieser Flächen kann diese, wie zuvor beschrieben, negativ beeinflussen. Eine bedingte Absenkung des Grundhochwassers bei Starkregenereignissen kann jedoch durch die gezielte Flutung einiger ausgezeichneter Flächen für andere umliegende Flächen vorteilhaft sein. Das Risiko für länger anhaltende Staunässe wird vermindert und ein Wasserabfluss aus den Flächen gefördert. Der Zugang zu den betroffenen Flächen ist somit nach Hochwasser schneller wieder möglich.

9.5.2 Diskussion: Dauergrünland als Alternative

Die Etablierung von Dauergrünland auf Flächen mit häufig vorkommender Staunässe hat einige Vorzüge gegenüber anderen Kulturen (Tabelle 4). Gewöhnliches Weidelgras (*Lolium perenne* L.) dominiert in Deutschland die Weiden zur Raufutterproduktion für Milchvieh (Wesche et al., 2012). Schon im Jahr 1975 zeigte Peacock, dass *L. perenne* auch bei einstelligen Temperaturen über dem Gefrierpunkt gut gedeihen kann. Die Erholung von Kältereignissen ist bemerkenswert, aber die durch längere Trockenperioden und begleitende Hitzeereignisse verursachte Austrocknung kann sich nachteilig auf eine Weide mit einer überwiegenden Population von mehrjährigem Weidelgras auswirken.

Die Vegetationsperiode auf deutschen Weiden dauert normalerweise von Ende Februar bis November, wenn die Temperaturen für das Wachstum günstig sind. Die Wachstumsrate ist im Spätfrühling im Allgemeinen, je nach Bodentyp, Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit, mit variierendem Ertrag pro Hektar am höchsten (Lewis, 2004).

Tabelle 9.3: Das Für und Wider des Dauergrünlandes im Vergleich zum Ackerbau

Pro	Contra
Ökologische Bedeutung: Erhöhte Biodiversität in der Fläche Mischungsbedingte Kompensation durch robuste Arten bei ungünstigen Witterungsphasen Gute Ausnutzung der Bodennischen Habitat für Kleinstlebewesen Bodenbildung und Kohlenstoffspeicher Klimaschutz	Dauergrünland ist oft dominiert durch eine geringe Anzahl Grassorten Selektive Beweidung durch Vieh verringert Diversität in der Fläche Stark vernässte Weiden produzieren viel Treibhausgas (CH ₄ , N ₂ O)
Futterproduktion: Beweidung möglich Ersparnis an Arbeitszeit Ersparnis an Futterkosten Geförderte Tiergesundheit Verbesserte Milchpreise Keine Konservierungsverluste bei Silierung Direktverfütterung und Silage: Mehrere Schnitte möglich Resilienz in sehr nassen Umständen	Anspruchsvolle Bewirtschaftung: Erzielen hoher Erträge schwierig Beweidung nur wirtschaftlich in hofnahen Flächen Stallkapazitäten werden nicht genutzt Größerer Zeitaufwand bei Direktverfütterung Intensive Pflege notwendig Einbringen von Wirtschaftsdünger nur bedingt möglich Regelmäßiges Umbrechen damit Ackerstatus der Fläche erhalten bleibt Sensibel bei Trockenheit
Finanzielles: Umnutzung zu Dauergrünland kann oft finanziell gefördert werden Bei Hochwasser erholt sich die Fläche sehr gut und es sind Folgeschnitte möglich	Finanzielles: Förderung nur bei Extensivierung Flächen zählen nicht zu Greening-Flächen Andere Kulturen, wie Mais, bringen oft mehr Geld ein Ertragsminderung in trockenen Jahren Hochleistungsvieh braucht oft zusätzliches Kraftfutter Wertverlust der Fläche bei Umwandlung zu Dauergrünland Umbruch von Dauergrünland zu Ackerland ist nur bedingt möglich Nach Umnutzung, bei Beendigung der Pacht, muss ggf. Schadensersatz an Verpächter gezahlt werden

Pro	Contra
Stabilität, Gewässer- und Bodenschutz: Senkung von Erosionsrisiken Verbesserter Rückhalt von Wasser Verminderung von Sediment und Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer Trinkwasserschutz Verbesserung von Boden und Fruchtbarkeit	

Im Frühsommer mit zunehmender Tageslänge ändert Weidelgras, wenn nicht geschnitten wurde, seine Physiologie zu einer faserigeren, strukturell stärkeren Pflanze, um die Fortpflanzungsorgane unterstützen zu können (Volaire und Norton, 2006). Dieser Vorgang verringert die Futterqualität. Zusätzlich haben Boller et al. (2010) herausgestellt, dass neu gesäte Grasnarben ältere Grasnarben stark an Leistung übertreffen. Die Praxis des Neueinsäens nach ein oder zwei Jahren erhöht die Wirtschaftlichkeit des Dauergrünlands enorm und es ist möglich, effizienten Landbau zu betreiben.

Im Projektgebiet werden größtenteils (ca. 50%) semiterrestrische Weideflächen zur Herstellung von Viehfutter genutzt (vgl. Abbildung 9.2). Der Fokus der Milchviehalter liegt auf der Eigenproduktion von möglichst viel Futter mit dem Ziel der Selbstversorgung und der Vermeidung von Mehrkosten durch Futterimporte. Ein gleichbleibender Milchertrag hängt stark von der Verfügbarkeit nährstoffreicher Futterstoffe ab, die das ganze Jahr über verfügbar sein müssen. Silage, vorzüglich aus Futtermais oder Gras, sind eine geeignete Methode, um auch im Winter genügend Futter auf Vorrat zu haben. Maissilage hat oft den Vorzug vor Grassilage, da der Energiegehalt der stärkehaltigen Maispflanze höher ist und die Qualität der Ernte bei Mais oft homogen und gut einzuschätzen ist. Beim Gras ist die Futterqualität immer abhängig von der Erntefrequenz und der Vegetationsphase der Graspflanzen. Somit hat zum Beispiel der erste Schnitt generell eine bessere Qualität als die Folgeschnitte (Lewis, 2004).

Die Weiden im Projektgebiet unterliegen in der Regel jahreszeitlichen Veränderungen hinsichtlich der Wachstumsrate, des resultierenden Grasertrags sowie des Nährstoffgehalts und der Qualität des geernteten Raufutters. Dies ist größtenteils abhängig von der Verfügbarkeit von Wasser im Wurzelraum der Pflanzen. Als Faustregel gilt, dass mit dem Einsetzen des Frühlings Biomasse von guter Qualität erzeugt wird. Die Sommerzeit ist oft mit geringerem Ertrag und schlechter Futterqualität verbunden. Im Herbst nimmt die Wachstumsrate im Grünland wieder zu und die Futterqualität verbessert sich im Vergleich zur Ernte im Sommer bis zum Ende der Vegetationsperiode in der Regel im November (Lewis, 2004).

Der Grund für den Rückgang der Produktivität im Sommer hängt mit den Reaktionen der Pflanzen auf die Tageslänge, Wasserverfügbarkeit sowie Boden- und Lufttemperatur zusammen. Einige Grasarten unterliegen physiologischen Veränderungen, wie zum Beispiel dem Austrocknen des Pflanzengewebes, um den trockenen Bedingungen standzuhalten, bis sich die Bedingungen wieder zu ihren Gunsten ändern. Dieser Vorgang wird oft als Sommerruhe bezeichnet. Die Tendenz zu immer häufiger auftretender Frühjahrstrockenheit sowie länger anhaltenden Trockenperioden im Sommer ist besonders in den letzten Jahren immer deutlicher geworden. Die Herausforderung der Produktion von Raufutter mit gleichbleibender Qualität wird somit in Zukunft mehr in den Fokus rücken. Diese Herausforderung betrifft nicht nur die Produktion von Gras im Dauergrünland, sondern ist auch auf Feldfrüchte wie Mais und Getreide übertragbar.

Entlang der Issel sind manche Flächen etwas tiefer gelegen und somit nasser als die höher gelegenen Flächen. Die Bodenzusammensetzung spielt beim Wasserhaushalt der verschiedenen Flächen auch eine bedeutende Rolle, da diese im Wesentlichen die Feldkapazität bestimmt. Zu viel Staunässe resultiert in Sauerstoffmangel im Wurzelraum der Pflanzen. Zu wenig verfügbares Wasser im Wurzelraum verlangsamt das Pflanzenwachstum, da

nicht genügend Wasser zur Evapotranspiration vorhanden ist und die Pflanzen ihren Metabolismus herunterfahren müssen, bis sie bei akutem Wassermangel dann vertrocknen.

Eine Reihe von Berichten von Hoving et al. (2008, 2009, 2015) bewerten die Unterschiede zwischen Graserträgen in Parzellen mit Grundhochwasser und vergleichen diese mit Parzellen mit tieferen Grundwasserständen. Es wird beschrieben, dass bei genügend verfügbarem Wasser in der Wurzelzone eine Sommerruhe oder ein Vertrocknen der Pflanzen ausbleibt. Hier ist es wichtig zu berücksichtigen, dass ein gewisser Flurabstand zum Grundwasser eingehalten werden muss, damit den Wurzeln der Pflanzen genügend Sauerstoff für die Zellatmung zur Verfügung steht (Jiang und Wang, 2006). Eine kurzzeitige Grundhochwassersituation (einige Stunden) kann von den meisten Feldfrüchten schadenfrei überwunden werden. Länger anhaltendes oder permanent hohes Grundwasser aber hat nachteilige Auswirkungen auf die vertikale Ausbildung von Wurzeln im Bodenprofil, da im anaeroben, wassergesättigten Profil nicht genügend Sauerstoff für das Wurzelgewebe vorhanden ist. Die Wurzeln bilden sich bei extrem hohen Grundwasserständen nur flach in den oberen Bodenschichten aus. Trockenperioden im Frühjahr und Sommer können dann dafür sorgen, dass das Grundwasser scharf absinkt und die Wurzeln der Pflanzen nicht tief genug reichen, um auch während der trockenen Periode mit Wasser versorgt zu werden. In stark vernässten Flächen kann man obendrein keine gute Grasnarbe erwarten, da die Pflanzen konstantem Wasserstress ausgesetzt sind und sich dadurch nicht gut entwickeln können. Im Hochwasserfall würden zwar auf Dauergrünland auf fast der Hälfte der im Hochwasserfall betroffenen Flächen entstehende Erosionsschäden vermindern, die Verschmutzung der Flächen jedoch nicht.

Hoving et al. (2009) beschreiben auch, dass es für Landwirte von großem Interesse ist, früh im Jahr Zugang zu ihren Flächen zu bekommen, um mit der Düngung beginnen zu können. Eine gute Entwässerung nach vermehrtem Regenfall im Winter und im darauf folgenden Frühjahr ist daher für den Landwirt unabdingbar. Der Spagat zwischen Grundwasserneubildung als Wasserspeicher für die trockenere Zeit im Frühjahr und Sommer und der Entwässerung der Flächen lässt Raum zur Diskussion. Bei Gesprächen mit Vertretern der Landwirtschaftskammer NRW wurde dazu betont, dass es schon länger von Interesse wäre, die Grundwasserneubildung durch die Steuerung der Wasserstände in den Entwässerungsgräben anzuregen und gleichzeitig eine Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit in den Gräben zu bewirken. Eine resultierende Retention und vermehrte Infiltration in tiefere Bodenschichten wären erwünscht. Aufgestaute Entwässerungsgräben verringern die Ablaufgeschwindigkeit von Wasser aus den Flächen und halten die Flächen nasser. Bei Starkregen wäre dadurch die Drainage aus den Flächen limitiert, was großflächige Überschwemmungen zur Folge haben könnte. Hier müssen klare Regelungen zum Wassermanagement und Verantwortung für das Ziehen der Wehre in den Entwässerungsgräben im Starkregenfall herausgestellt werden, um den Wasserabfluss zu gewährleisten.

Die Etablierung von Dauergrünland hat positive Auswirkung auf die Bildung von Makroporen im Boden (Weiler und Naef, 2003). Makroporen ermöglichen die Bewegung von Luft und die Abfuhr von Wasser im Bodenprofil. Sie sind groß genug, um Wurzeln und Bodenlebewesen zu beherbergen. Ein stabiles Netzwerk aus Makroporen ist unerlässlich für die Infiltration und somit Retention von Wasser in den Flächen. Die Diversität von Bodenlebewesen ist ausschlaggebend für ein solches Netzwerk und ist, verglichen mit Ackerflächen, um ein Vielfaches höher in Flächen mit Dauergrünland, da diese eine weitaus extensivere Landbearbeitung mit sich bringt und ungestörten Lebensraum für Bodenlebewesen wie Regenwürmer bietet. Es ist jedoch wichtig zu nennen, dass ein kontinuierlich hohes Grundhochwasser die Biodiversität im Boden stark beeinflussen kann und stark vernässte Böden weitaus weniger Meso- und Makrofauna aufweisen.

Verglichen mit Dauergrünland hat Ackerland seine Vorzüge besonders darin, dass Nutzpflanzen mit hohem wirtschaftlichem Ertrag angebaut werden können, die zudem noch weniger Arbeitsaufwand mit sich bringen. Weiterhin ist die Bestellung von Ackerflächen deutlich flexibler und deren Nutzung kann auf die Nachfrage im Markt angepasst werden. Dauergrünland wieder in eine Ackerfläche umzuwandeln ist mit hohen Hürden verbunden.

9.5.3 Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Landwirtschaft

Eine Handlungsempfehlung zur effektiven Landnutzung im HQ₁₀₀-Überschwemmungsgebiet entlang der Issel auszusprechen ist insofern nicht einfach, da die klimatisch bedingten Risiken nur abgeschätzt, jedoch nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden können.

Ein erheblicher Teil des Gebietes wird bereits jetzt schon als Dauergrünland genutzt. Dauergrünland kann, wenn periodisch wiederkehrende Hochwassersituationen zu erwarten sind, eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Feldfrüchten aufweisen. Dauergrünlandstandorte sind aus Sicht der Artenvielfalt oft wertvoller, gerade wenn sie extensiv genutzt werden. Des Weiteren ist Dauergrünland bei stärkeren Regenereignissen meist besser in der Lage, das überschüssige Wasser zurückzuhalten. Im Überflutungsfall erholt sich der Grünlandstandort schneller wieder, sodass ggf. noch eine Nutzung im laufenden Jahr möglich ist. Auf Flächen, die regelmäßig mit Staunässe zu kämpfen haben, ist die Etablierung eines Dauergrünlandbestandes durchaus in Erwägung zu ziehen. Bei Trockenheit jedoch ist die Leistungsfähigkeit der Flächen unter Dauergrünland stark vermindert und bringt so quasi keinen wirtschaftlichen Mehrwert. Lukrativer ist es dann, weiterhin Mais und andere Getreidesorten anzubauen.

So obliegt es dem Landwirt, der seine Flächen und deren Potenziale am besten kennt, durch eine Kosten-Nutzen-Analyse zu entscheiden, welches Risiko er eingehen möchte, und eine entsprechende Anbauentscheidung zu treffen.

Mais stellt, abhängig von der Wetterlage, eine stabile, energetisch wertvolle Option für die Futtermittelversorgung im Winter dar. Der Deckungsbeitrag von besonders ertragreichen Kulturpflanzen - wie eben bspw. Mais - wird durch die meisten Landwirte dazu genutzt, den eventuellen Ausfall in Extremjahren zu kompensieren. Auch auf besonders nassen Flächen ist der Maisertrag gerade in trockenen Perioden sehr viel besser als auf trockeneren Flächen. Auf das Risiko von Bodenerosion gerade bei einer Feldfrucht wie Mais mit vergleichsweise niedriger Bodendeckung sei jedoch nachdrücklich hingewiesen. Bisher wird der Mais jedoch vielfach dort angebaut, wo es möglich ist. Daher wäre eine Änderung der hydrologischen Gegebenheiten hin zu einer zur Trockenlegung der betroffenen Flächen gerade mit Blick auf die vergangenen Jahre überaus nachteilig für die Landwirtschaft. Die Landwirte betonen, dass sie im Projektgebiet ein deutlich größeres Risiko bei zu wenig verfügbarem Wasser in trockenen Jahren als in zu nassen Standorten sehen.

Die Wahrscheinlichkeit eines HQ₁₀₀-Hochwasserereignisses wird in Zukunft zwar voraussichtlich steigen, wie oft das geschieht, kann jedoch nicht sicher vorhergesagt werden. Die nachgewiesene Tendenz zu längeren trockenen Perioden in Zentraleuropa impliziert, dass eine Umnutzung zu Dauergrünland auf nassen Flächen nur bedingt sinnvoll ist. Auf Flächen, die regelmäßig mit Staunässe zu kämpfen haben, ist eine Umstrukturierung der Anbaustrategie jedoch abzuwägen.

10 Literaturverzeichnis

AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5). – 5. Aufl., 438 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover.

ARDUINI, I., KOKUBUN, M., SHAO, G., LICAUSI, F. (2020): Crop Response to Waterlogging: Frontiers Media SA, 2020.

AUGUSTIN, J.; MERBACH, W.; ROGASIK, J. (1998): Factors influencing nitrous oxide and methane emissions from minerotrophic fens in northeast Germany. In *Biology and Fertility of Soils* 28 (1), pp. 1–4. DOI: 10.1007/s003740050455.

BAYRISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT BBL (2019): Produktionstechniken ausgewählter Arten. Deutsches Weidelgras - Lolium perenne L. BLL. Available online at <https://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/022269/index.php>, checked on 10/20/2019.

BOLLER, BEAT; POSSELT, ULRICH K.; VERONESI, FABIO (2010): Fodder Crops and Amenity Grasses. New York, NY: Springer New York.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (BMUB) (2015): Hochwasserschutzfibel – Objektschutz und bauliche Vorsorge, Berlin 2015

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (1992): DIN-4049, Teil 1: Hydrologie – Grundbegriffe, Berlin, 1992

DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. (2016): Technische Regel – Arbeitsblatt DVGW W 107 (A): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten, Bonn 2016

ECKSTEIN, DAVID; HUTFILS, MARIE-LENA; WINGES, MAIK (2018): Global Climate Risk Index 2019. Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2017 and 1998 to 2017. Bonn: Germanwatch Nord-Süd Initiative e.V.

EEA (2019): Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union (EEA report, No 4/2019).

EITZINGER, JOSEF (2009): Kapitel 2: Land- und Forstwirtschaft, Wasser, Ökosysteme und Biodiversität. In: Helga Kromp-Kolb, Karl Steiniger und Nebojsa Nakicenovic (Hg.): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, S. 771–856.

FAL BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (HG.) (2001): Livestock Farming and the Environment: Proceedings of Workshop 4 on Sustainable Animal Production, held at Hannover, September 28, 2000. Landbauforschung Volkenrode FAL Agricultural Research 2001 (226). Hannover: FAL.

FELLER, URS; KINGSTON-SMITH, ALISON H.; CENTRITTO, MAURO (2017): Editorial: Abiotic Stresses in Agroecology: A Challenge for Whole Plant Physiology. In *Front. Environ. Sci.* 5, p. 1147. DOI: 10.3389/fenvs.2017.00013.

FIBL (2011): Bioraps. Merkblatt. Hg. v. FIBL. Schweizerische Eidgenossenschaft Biofarm. Schweiz (1343). Online verfügbar unter <https://orprints.org/31994/1/1343-raps.pdf>, zuletzt geprüft am 04.04.2019.

GALLUSSER, WERNER A.; SCHENKER, ANDRÉ (HG.) (1992): Die Auen am Oberrhein / Les zones alluviales du Rhin supérieur. Ausmaß und Perspektiven des Landschaftswandels am südlichen und mittleren Oberrhein seit 1800 / Etendue et perspectives de l'évolution des paysages dans le secteur méridional et moyen du Rhin supérieur depuis 1800. Basel, s.l.: Birkhäuser Basel. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-0348-6237-0>.

GEOLOGISCHER DIENST NRW (2019): IS BK5 Bodenkarte von NRW 1 : 50.000 - WMS Bodenhaupttyp (>1:300.000); Staunässe (>1:300.000): Geologischer Dienst NRW. Online GEOportal.NRW. Online verfügbar unter <https://www.geoportal.nrw/suche?lang=de&searchTerm=%20845DC6D2-39C1-497E-B9D8-07D5D188E826>, zuletzt geprüft am 19.12.2019.

GOBIN, A. (2018): Weather related risks in Belgian arable agriculture. In: *Agricultural Systems* 159, S. 225–236. DOI: 10.1016/j.agry.2017.06.009.

HARRIS, P. M. (2013): *The Potato Crop. The Scientific Basis for Improvement.* New York, NY: Springer.

HOVING, I.E., ANDRÉ, G., VAN DEN AKKER, J.J.H., PLEIJTER (ED.) (2008): Hydrologische en landboukundige effecten van gebruik onderwaterdrains o veengrond Rapport 102. Wageningen: Animal Sciences Group van Wageningen UR.

HAVERKORT, ANTON J. (HG.) (2000): *Management of nitrogen and water in potato production.* Wageningen: Wageningen Pers.

HOVING, I.E., MASSOP, H., VAN HOUWELINGEN, VAN DEN AKKER, J.J.H., KOLLEN, J. (ED.) (2015): Hydrologische en landbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zewevang. Vervolgonderzoek gericht op de toepassing van een zomer- en winterpeil. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research.

HOVING, I.E., VAN DEN AKKER, J.J.H., PLEIJTER, M. (ED.) (2009): Hydrologische en Lanbouwkundige effecten toepassing onderwaterdrains in polder Zeevang (Rapport 188). Wageningen: Wageningen UR Livestock Research.

IPCC; CHANGE, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE (2014): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Volume 2, Regional Aspects.* Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press. Available online at <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781107415386>.

IPCC; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (EDS.) (2019): *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. Summary for Policymakers.* IPCC. Approved Draft 2019. IPCC website.

IPCC; PARRY, MARTIN L. (EDS.) (2007): *Climate change 2007 - impacts, adaptation and vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 1. publ. Cambridge: Cambridge Univ. Press. Available online at <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>.

JIANG, YIWEI; WANG, KEHUA (2006): Growth, Physiological, and Anatomical Responses of Creeping Bentgrass Cultivars to Different Depths of Waterlogging. In *Crop Science* 46 (6), p. 2420. DOI: 10.2135/cropsci2005.11.0402.

KOZLOWSKI, T.,T. (1984): *Flooding and Plant Growth.* Burlington: Elsevier Science (Physiological Ecology). Available online at <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1133719>.

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (2009): *Geofakten 8: Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen, Hannover 2009*

LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (2010): *Hinweise zur Erstellung und Beurteilung von Grundwassermodellen im Altlastenbereich, Recklinghausen 2010*

LEWIS, G. C. (2004): Effects of biotic and abiotic stress on the growth of three genotypes of *Lolium perenne* with and without infection by the fungal endophyte *Neotyphodium lolii*. In *Ann Applied Biology* 144 (1), pp. 53–63. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2004.tb00316.x.

- LIU, YONG-ZHONG; TANG, BIN; ZHENG, YONG-LIAN; MA, KE-JUN; XU, SHANG-ZHONG; QIU, FA-ZHAN (2010):** Screening Methods for Waterlogging Tolerance at Maize (*Zea mays* L.) Seedling Stage. In *Agricultural Sciences in China* 9 (3), pp. 362–369. DOI: 10.1016/S1671-2927(09)60105-X.
- LWK NIEDERSACHSEN, MADENA, K., SEITZ, O., (2018):** Leitlinien der ordnungsgemäßen Landwirtschaft. Fachbereich Nachhaltige Landnutzung, Ländlicher Raum, [Online]. 11, 11. Available at: <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/6/nav/2219/article/31127.html> [Accessed 1 December 2019].
- MACHOLDT, JANNA; HONERMEIER, BERND (2016):** Impact of Climate Change on Cultivar Choice: Adaptation Strategies of Farmers and Advisors in German Cereal Production. In: *Agronomy* 6 (3), S. 40. DOI: 10.3390/agronomy6030040.
- OERTEL, CORNELIUS; MATSCHULLAT, JÖRG; ZURBA, KAMAL; ZIMMERMANN, FRANK; ERASMI, STEFAN (2016):** Greenhouse gas emissions from soils—A review. In *Geochemistry* 76 (3), pp. 327–352. DOI: 10.1016/j.chemer.2016.04.002.
- OLDENBURG, ASTRID (2000):** Lexikon der abiotischen Rübenschäden. Hg. v. Agrarservice.de. Nordwestmecklenburg. Online verfügbar unter <http://www.agrarservice.de/ruebenschadenabiotisch/staunaesse.htm>, zuletzt aktualisiert am 11.04.2019.
- PEACOCK, J. M. (1975):** Temperature and Leaf Growth in *Lolium perenne*. II. The Site of Temperature Perception. In *The Journal of Applied Ecology* 12 (1), p. 115. DOI: 10.2307/2401721.
- PRASANNA, B.M., CHAIKAM, V., MAHUKU, G. (2013):** Doubled Haploid. Technology in Maize Breeding. Theory and Practice. Mexico: CIMMYT.
- PROAQUA (2017):** Erstellung des interkommunalen Hochwasserschutzkonzeptes Issel für den Kreis Wesel, Aachen, 2017
- RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTONN, K. E. (1982):** Estimation of Soil Water Properties. In *Transactions of the ASAE* 25 (5), pp. 1316–1320. DOI: 10.13031/2013.33720.
- SAARNIO, S.; WINIWARTER, W.; LEITÃO, J. (2009):** Methane release from wetlands and watercourses in Europe. In *Atmospheric Environment* 43 (7), pp. 1421–1429. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.04.007.
- SCHOPFER, PETER; BRENNICKE, AXEL (2010):** Pflanzenphysiologie. 7. Auflage. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Available online at <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10445174>.
- SHIONO, KATSUHIRO; TAKAHASHI, HIROKAZU; COLMER, TIMOTHY D.; NAKAZONO, MIKIO (2008):** Role of ethylene in acclimations to promote oxygen transport in roots of plants in waterlogged soils. In *Plant Science* 175 (1-2), pp. 52–58. DOI: 10.1016/j.plantsci.2008.03.002.
- TRNKA, M.; OLESEN, JØRGEN EIVIND; KERSEBAUM, K. C.; SKJELVÅG, A. O.; EITZINGER, J.; SEGUIN, B. et al. (2011):** Agroclimatic conditions in Europe under climate change. In *Global Change Biology* 17 (7), pp. 2298–2318. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x.
- VOLAIRE, FLORENCE; NORTON, MARK (2006):** Summer dormancy in perennial temperate grasses. In *Annals of botany* 98 (5), pp. 927–933. DOI: 10.1093/aob/mcl195.
- WEIL, RAY R.; BRADY, NYLE C. (2017):** The nature and properties of soils. Fifteenth edition, global edition. Harlow, London, New York NY: Pearson Prentice Hall.
- WEILER, MARKUS; NAEF, FELIX (2003):** An experimental tracer study of the role of macropores in infiltration in grassland soils. In *Hydrol. Process.* 17 (2), pp. 477–493. DOI: 10.1002/hyp.1136.

WESCHE, KARSTEN; KRAUSE, BENJAMIN; CULMSEE, HEIKE; LEUSCHNER, CHRISTOPH (2012): Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. In *Biological Conservation* 150 (1), pp. 76–85. DOI: 10.1016/j.biocon.2012.02.015.