

Vorstellung einfacher Modellansätze zur Abschätzung der Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser

Bericht

03.05.2024



Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und
Klimaschutz Brandenburg (MLUK), Referat 25

Vorstellung einfacher Modellansätze zur Abschätzung der Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser

Bericht

Bearbeitung im Rahmen des Projekts zum „Projektmanagement für Leistungen zur Umsetzung des Maßnahmenplans des Landesniedrigwasserkonzeptes Brandenburg und weiterer Leistungen zur Umsetzung“

im Auftrag des

Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz Brandenburg
(MLUK), Referat 25
Gewässerentwicklung, Landschaftswasserhaushalt,
Moorschutzprogramm
Henning-Tresckow-Straße 2-13
14467 Potsdam

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung, Einordnung.....	6
1.1	Allgemeine Fragestellung.....	6
1.2	Prüfung der Potentiale zum Grundwasserrückhalt am Wehr Beelitz.....	7
2	Prüfung der Anwendbarkeit von analytischen Methoden	10
3	Aufbau und Anwendung eines vereinfachten Grundwassermodells.....	12
3.1	Modellannahmen	12
3.2	Verwendete Software	13
3.3	Datengrundlagen	13
3.3.1	Übersicht zu den allgemein erforderlichen Daten	13
3.3.2	Verwendete Datengrundlagen für den Modellaufbau am Standort Wehr Beelitz	14
3.4	Modellaufbau Wehr Beelitz	17
3.4.1	Abgrenzung des Modellgebiets	17
3.4.2	Abbildung des Gewässersystems	19
3.4.3	Parametrisierung des Grundwasserströmungsraums.....	21
3.5	Modelleinsatz Wehr Beelitz	21
3.6	Aussagefähigkeit des Prinzipmodells, Ausblick zur Erweiterung des Untersuchungsumfangs und der Modellkomplexität.....	26
4	Entwicklung eines excelbasierten 2D-Tools	28
4.1	Definition, Anwendungsbereiche.....	28
4.2	Beschreibung des Excel-Tools.....	29
4.2.1	Grundlagen, Anpassungen durch DHI	29
4.2.2	Aufbau, Eingabeoptionen	30
4.2.3	Ergebnisse, Visualisierung	33
4.3	Anwendungsbeispiel Wehr Fuchsberg im Kleinen Havelländischen Hauptkanal (KHHK).....	34
4.3.1	Kurzbeschreibung des Standorts Wehr Fuchsberg	34
4.3.2	Ableitung der Eingabeparameter.....	35
4.3.3	Ergebnisse.....	39
4.4	Einschränkungen und Grenzen des Excel-Tools.....	42
5	Literaturverzeichnis	44

ANHANG

Exceltool mit Dokumentation

Abbildungen

Abbildung 1-1:	Schema zur Staubewässerung (aus Dörter, K. et al., 1986) //	6
Abbildung 1-2:	Einzugsgebiet des Wehrs Beelitz (aus: Landesamt für Umwelt, W26, M. Mertens, Präsentation 14.07.2023 /3/)	8
Abbildung 1-3:	Wehr Beelitz, Blick vom Oberwasser (DHI, 04.09.2023)	9
Abbildung 1-4:	Wehr Beelitz, Blick vom Unterwasser (DHI, 04.09.2023)	9
Abbildung 1-5:	Blick nach Oberwasser mit Bahndamm (DHI, 04.09.2023)	9
Abbildung 1-6:	Einstau der Wiesen in der Niederung oberhalb des Wehrs Beelitz, Nieplitz im Hintergrund (DHI, 04.09.2023)	9
Abbildung 2-1:	Systemschnitt zur Berechnung des Drainageabstands /4/	10
Abbildung 2-2:	Anordnung von Transekten zur räumlichen Erfassung	11
Abbildung 2-3:	Potentiallinien der 2-dimensionalen numerischen Berechnung für das einfache Beispiel aus Abbildung 2-2	11
Abbildung 3-1:	Zusammenstellung der Daten in einem GIS-Projekt	17
Abbildung 3-2:	Längsschnitt der Nieplitz (aus Landesamt für Umwelt, W26, M. Mertens, Präsentation 14.07.2023 //)	18
Abbildung 3-3:	Abgrenzung des Modellgebiets und berücksichtigtes Gewässersystem im Prinzipmodell zum Wehr Beelitz	19
Abbildung 3-4:	Reichweite der Stauwurzel des Wehrs Beelitz bei verschiedenen Stauzielen	20
Abbildung 3-5:	Flurabstand in [m] bei Szenario 1 mit Stauziel 1,20 m (Detailansicht)	22
Abbildung 3-6:	Flurabstand in [m] bei Szenario 2 mit Stauziel 1,30 m (Detailansicht, Stauwurzel schwarzer Strich)	22
Abbildung 3-7:	Flurabstand in [m] bei Szenario 3 mit Stauziel 1,40 m (Detailansicht)	23
Abbildung 3-8:	Flurabstand in [m] bei Szenario 4 mit Stauziel 1,50 m (Detailansicht)	23
Abbildung 3-9:	Differenz der Grundwasserstände in [m] zwischen Szenario 2 (Stauziel 1,3 m) und Szenario 1 (Stauziel 1,2 m)	24
Abbildung 3-10:	Differenz der Grundwasserstände in [m] zwischen Szenario 3 (Stauziel 1,4 m) und Szenario 1 (Stauziel 1,2 m)	24
Abbildung 3-11:	Differenz der Grundwasserstände in [m] zwischen Szenario 4 (Stauziel 1,5 m) und Szenario 1 (Stauziel 1,2 m)	25
Abbildung 4-1:	Schematische Darstellung Zu- und Abflüsse in einer Zelle	29
Abbildung 4-2:	Excel-Mappe mit Rechenzellen	30
Abbildung 4-3:	Eingabemaske des 2D-Excel-Tools	32
Abbildung 4-4:	Zusätzliche Eingabemaske für die Eingabe des Porenvolumens und die Ausgabe der zurückgehaltenen Wassermenge	33
Abbildung 4-5:	Modellgebiet für die beispielhafte Anwendung am Wehr Fuchsberg am KHHK	34
Abbildung 4-6:	Wehr Fuchsberg, Blick vom Unterwasser (Foto vom 23.03.2021, entnommen aus der Machbarkeitsstudie /8/)	35
Abbildung 4-7:	Import der Geländeoberkante aus dem DGM1	36
Abbildung 4-8:	Aus den Grundwassermessungen im Frühjahr 2015 abgeleitete Grundwassergleichen (schwarz) und eine Rekonstruktion (rot) der Grundwassergleichen ohne Entwässerung in den KHHK	37
Abbildung 4-9:	3D-Darstellung der berechneten Grundwasseroberfläche	38
Abbildung 4-10:	Schematischer Längsschnitt entlang des KHHK	39
Abbildung 4-11:	Differenzendiagramm - Auswirkung durch das Erreichen des Stauziels (Szenario 2) am Wehr Fuchsberg im Vergleich zum Istzustand (Szenario 1)	40
Abbildung 4-12:	Flurabstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasserstand für den Istzustand (Szenario 1)	41
Abbildung 4-13:	Flurabstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasserstand für das Erreichen des Stauziels (Szenario 2)	41

Abbildung 4-14: Nutzung der Ergebnisse zur Abschätzung der Auswirkungen von höheren Stauzielen für die Diskussion mit den Flächenbewirtschaftern zur Erhöhung des Wasserrückhalts in den Flächenkulissen der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) am Beispiel des Wehr Fuchsberg im KHHK. 43

Tabellen

Tabelle 3-1:	Recherchierte Datengrundlagen für den Modellaufbau am Standort Wehr Beelitz (Nieplitz).	15
Tabelle 3-2:	Übersicht zu den untersuchten Szenarien.	21
Tabelle 3-3:	Abschätzung des Wasserrückhaltevolumens.	25
Tabelle 4-1:	Diskretisierung des Modellgebiets für die Anwendung des Excel-basierten 2D-Tools am Wehr Fuchsberg.	35

1 Aufgabenstellung, Einordnung

1.1 Allgemeine Fragestellung

In den Meliorationsgebieten Brandenburgs werden an zahlreichen Gewässern die Wasserspiegel mit Stauanlagen künstlich beeinflusst. Die Stauanlagen können sowohl gesteuert (Wehre, Schütze) als auch ungesteuert (Wehrschwellen, Raue Rampen) sein. In den eingestauten Bereichen des Hauptgewässers können zudem weitere angeschlossene Entwässerungsgräben oder Drainagen bewirken, dass zusätzliche Gebiete durch den Einstau beeinflusst werden.

Dem Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg (2021) /1/ entsprechend sind bei Umbau, Rückbau oder Ersatzneubau von Wehren künftig die Zielwerte des Wassermengenmanagements einschließlich der Niedrigwasservorsorge neben bspw. den Zielen des Hochwasserschutzes und der Gewässerökologie verstärkt bei der Planung zu berücksichtigen. Die folgenden Untersuchungen zu einfachen Modellansätzen zur Abschätzung der Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser stellen dabei einen Baustein zur Prüfung der Potentiale zum Grundwasserrückhalt bzw. zur Grundwasseranreicherung dar (Abbildung 1-1). Sie dienen dazu, dass in der Planung sowie im Hinblick auf die zukünftige Bewirtschaftung (Festlegung der Stauziele) die Belange der Niedrigwasservorsorge berücksichtigt werden, indem das Potential für mehr Wasserrückhalt und der beeinflusste Bereich zur Erhöhung der Grundwasserstände ausgewiesen werden. Darauf aufbauend können die Auswirkungen auf andere Nutzungsanforderungen bewertet werden.

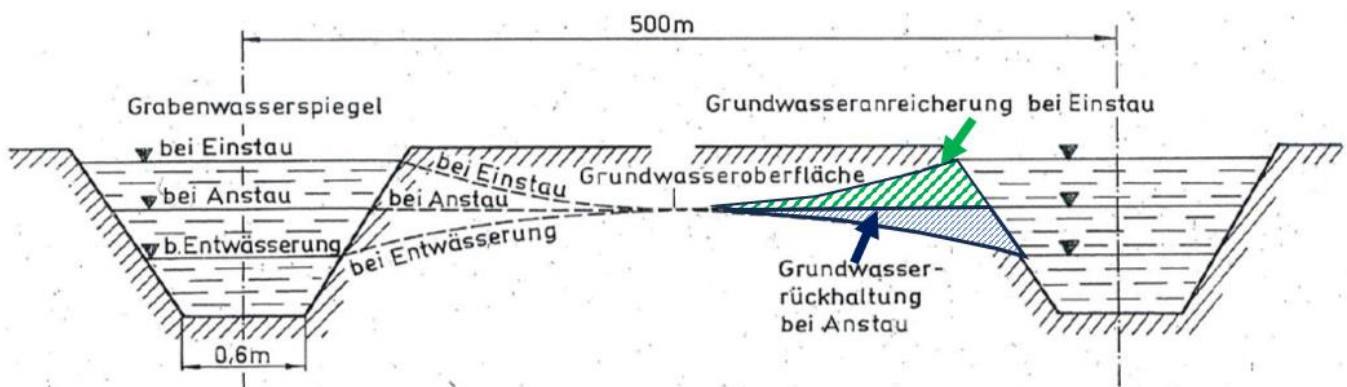


Abbildung 1-1: Schema zur Staubewässerung (aus Dörter, K. et al., 1986) /1/.

Für die Untersuchung und Bewertung von grundwasserseitigen Auswirkungen durch eine Veränderung eines Stauregimes im Oberwasser eines Querbauwerks gibt es in der Praxis diverse Möglichkeiten. Die verschiedenen Ansätze ermöglichen mit steigendem Zeit- und Datenaufwand eine höhere Belastbarkeit der Ergebnisse. Im Rahmen dieser Anwendung soll untersucht werden, wie bereits mit Hilfe einfacher Berechnungen eine **Abschätzung der Reichweite eines Gewässereinstaus im Grundwasser** erfolgen kann:

- Ausweisung der bevorteilten Fläche der Auswirkungen eines Einstaus im Gewässer auf den Grundwasserraum,
- Ermittlung der resultierenden Grundwasserstände und Grundwasserflurabstände,
- Abschätzung des Potentials für Wasserrückhalt (Rückhaltevolumen).

Die Anwendung der vereinfachten Berechnungsansätze soll auch in Gebieten erfolgen können, in denen nur ein Minimum an Messdaten verfügbar ist. Ein wesentlicher Aspekt der vorliegenden Untersuchungen ist daher das Aufzeigen der benötigten Datengrundlagen. Darauf aufbauend erfolgt die Konzeption eines hydrogeologischen Systemverständnisses und die Berechnung der Szenarien zu verschiedenen Stauzieleinstellungen mit den einfachen Modellansätzen.

Folgende **einfache modelltechnische Ansätze bzw. Werkzeuge** werden untersucht:

- analytische Methoden,
- ein vereinfachtes Grundwassermodell (Prinzipmodell) sowie
- ein für die Fragestellungen angepasstes 2D-Exceltool.

Die Anwendung der einfachen Modellansätze zur Abschätzung der Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser kann ohne neue Datenerhebungen und ohne Aufbau komplexer numerischer Modelle erfolgen. Die Standortprüfung mit den einfachen Methoden dient zur Abschätzung der Potentiale zur Niedrigwasservorsorge durch mehr Wasserrückhalt im Grundwasser und stellt gleichzeitig eine Vorabprüfung dar, ob ggf. weitere, umfangreichere Untersuchungen notwendig sind (Monitoring, komplexe 3D-Grundwassermodellierung bzw. integrierte Wasserhaushaltsmodellierung).

Die Anwendung der im Folgenden dargestellten Modellansätze erfordern einen geohydraulischen Fachverstand zur Konzeption des hydrogeologischen Modellsystems einschließlich Belegung der Randbedingungen und Parametrisierung sowie für die Bewertung der Berechnungsergebnisse.

Es werden die Anwendungs- bzw. Aussagegrenzen der einfachen Modellansätze aufgezeigt.

1.2 Prüfung der Potentiale zum Grundwasserrückhalt am Wehr Beelitz

Bei den Planungen des LfU zur Neuerrichtung einer Rauen Rampe am Standort des Wehrs Beelitz sind ergänzend die Belange der Niedrigwasservorsorge zu untersuchen. Dabei sollten folgende Fragestellungen betrachtet werden:

- welche Auswirkungen eine Sanierung oder Neuerrichtung mit Einstellung der bisherigen Stauziele auf die Grundwasserstände hat,
- ob im Zuge der Neuplanung noch höhere Stauziele und somit geringere Flurabstände erreicht werden können,
- wie sich ggf. niedrigere Stauziele insbesondere bei Fokus der Planungen auf ökologische Durchgängigkeit ohne regulierbare, einstauende Bauwerke negativ auf die Grundwasserflurabstände auswirken.

Die Untersuchungen sollen mit einfachen Modellansätzen zur Abschätzung der Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser auf Basis der vorhandenen Daten durchgeführt werden.

Es wird kein Prüfbericht zu den Planungen am Wehr Beelitz erstellt. Es erfolgt keine Ermittlung der Bemessungsabflüsse, es wird von einer Funktionsfähigkeit der geplanten Anlage ausgegangen und darauf aufbauend werden verschiedene Stauziele und deren Auswirkungsraum im Grundwasser untersucht.

Es erfolgt im Rahmen dieser Untersuchungen keine Bewertung zum Erhalt der Regulierbarkeit des Wehr Beelitz sowie ggf. weiterer Stauanlagen in der Nieplitz.

Abbildung 1-2 zeigt das zugehörige Einzugsgebiet des Wehrs Beelitz.

Abbildung 1-3 bis Abbildung 1-6 zeigen das Wehr Beelitz sowie die angrenzenden Bereiche. Die Befahrung fand am 04.09.2023 statt. Der Stau war auf 1,1 m eingestellt. Das entspricht 10 cm unter dem Sommerstauziel.

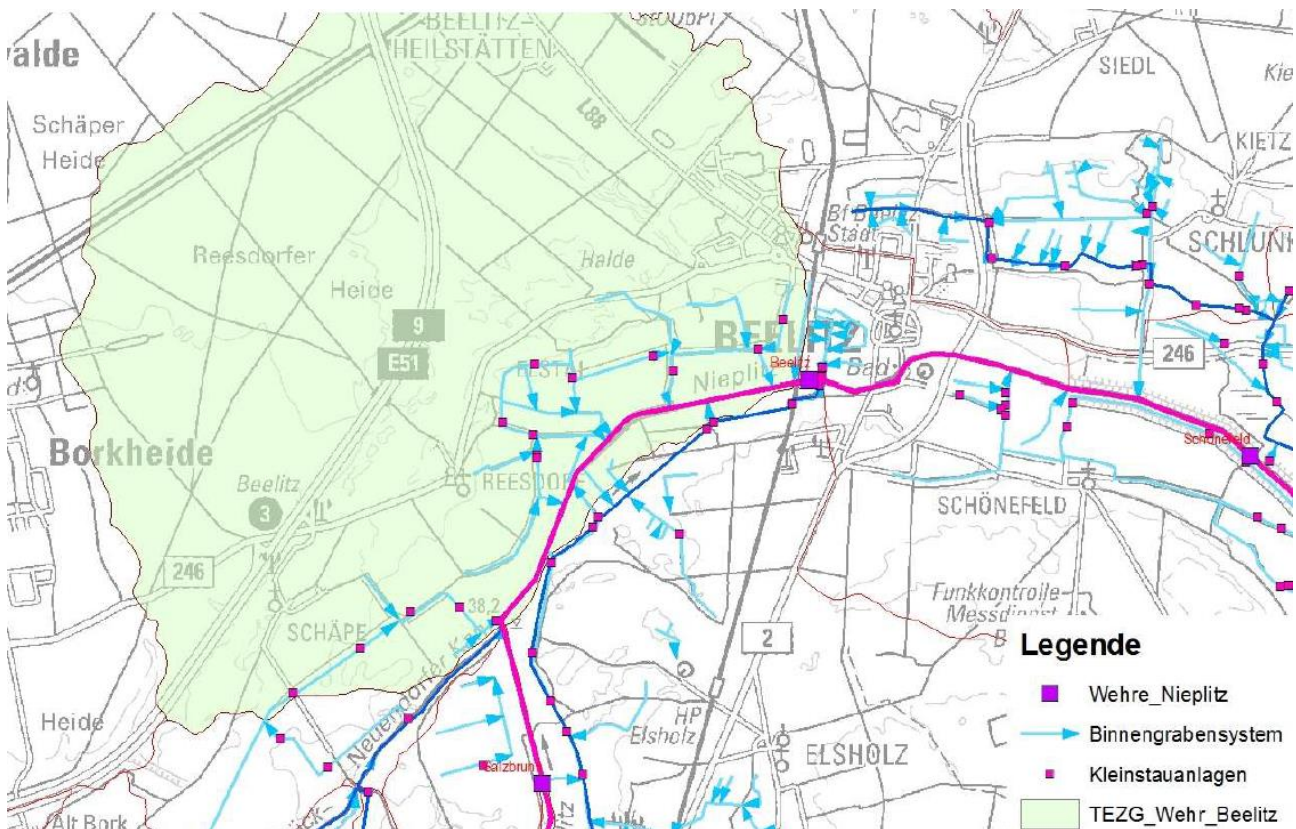


Abbildung 1-2: Einzugsgebiet des Wehrs Beelitz (aus: Landesamt für Umwelt, W26, M. Mertens, Präsentation 14.07.2023 /3/).



Abbildung 1-3: Wehr Beelitz, Blick vom Oberwasser (DHI, 04.09.2023).



Abbildung 1-4: Wehr Beelitz, Blick vom Unterwasser (DHI, 04.09.2023).



Abbildung 1-5: Blick nach Oberwasser mit Bahndamm (DHI, 04.09.2023).



Abbildung 1-6: Einstau der Wiesen in der Niederung oberhalb des Wehrs Beelitz, Nieplitz im Hintergrund (DHI, 04.09.2023).

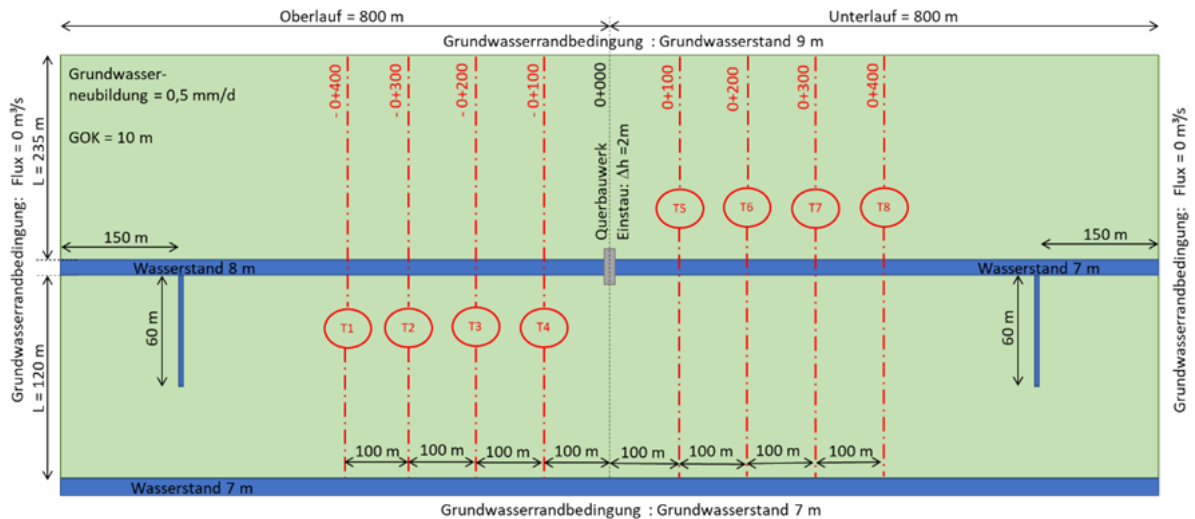


Abbildung 2-2: Anordnung von Transekten zur räumlichen Erfassung.

- An den Querbauwerken wird sich ein steiler Grundwassergradient parallel zur Gewässerachse einstellen. Dadurch wird es schwierig, direkt am Querbauwerk die analytische Methode zu verwenden, da diese den 2-dimensionalen Einfluss nicht abbilden kann.

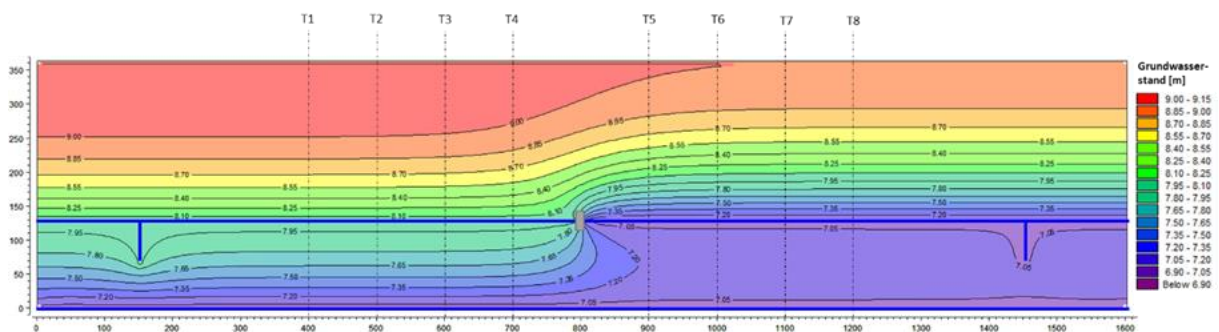


Abbildung 2-3: Potentiallinien der 2-dimensionalen numerischen Berechnung für das einfache Beispiel aus Abbildung 2-2.

Empfehlungen:

- Die analytische Methode ist nicht im unmittelbaren Bereich von Querbauwerken und einmündenden Seitengewässern anzuwenden.
- Die Anordnung des Gewässernetzes hat einen erheblichen Einfluss; insbesondere in Gebieten, in denen ein dicht vernetztes Gewässersystem existiert, empfiehlt sich die Verwendung einer zweidimensionalen Berechnungsmethode anstelle der eindimensionalen analytischen Methode.

3 Aufbau und Anwendung eines vereinfachten Grundwassermodells

Im 2. Schritt wurde ein einfaches, zwiedimensionales, numerisches Grundwasserströmungsmodell erstellt, um den benötigten Daten- und Bearbeitungsaufwand sowie die zu erlangenden Aussagen aufzeigen zu können.

Ein vereinfachtes numerisches Modell („geohydraulisches Prinzipmodell“) kann wesentlich zur Erhöhung des Prozessverständnisses beitragen und im Vergleich zu grafischen und analytischen Verfahren räumliche Aussagen zu relevanten Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser ermöglichen. Anhand von Sensitivitätsuntersuchungen können trotz der Defizite in den Grunddaten für den Modellaufbau und die Kalibrierung die wesentlichen Einflussgrößen (Parameter, Randbedingungen) ermittelt werden.

3.1 Modellannahmen

Folgende Modellannahmen liegen dem Prinzipmodell für den Standort Wehr Beelitz zu Grunde:

- 1-Schicht-Modell: Der Grundwasserleiter wird nur durch eine Modellschicht dargestellt, es erfolgt keine vertikale Unterteilung in unterschiedliche Stratigraphien. Es wird kein Hydrogeologisches Strukturmodell erstellt.
- Homogenität und Isotropie: Der Grundwasserleiter wird überall mit gleichen Eigenschaften für hydraulische Durchlässigkeit und Porosität belegt. Es erfolgt keine richtungsbasierte Unterscheidung der Durchlässigkeit.
- Ungespannte Grundwasserverhältnisse: Es wird keine Deckschicht oberhalb des Grundwasserleiters angenommen, welche eine deutlich geringere Durchlässigkeit aufweist als der darunter liegende Grundwasserleiter bzw. wird davon ausgegangen, dass der Grundwasserstand nicht bis an die Unterkante der Deckschicht reicht. In der Realität existiert oftmals eine Deckschicht (z.B. durch auflagernde, ggf. degradierte, Torfböden oder Auelehm), welche zu gespannten Grundwasserverhältnissen führen können.
- Stationäre Verhältnisse: Das Modell repräsentiert jeweils immer nur stationäre Zustände. Das bedeutet, dass zeitlich konstante Randbedingungen, wie Wasserstand im Gewässer, Grundwasserneubildung oder seitliche Zuflüsse angesetzt werden und keine Dynamik oder zeitliche Veränderung abgebildet wird. Das Grundwassermodell berechnet dann eine eindeutige Grundwasserstandsverteilung, für die diese Kombination an Randbedingungen im Gleichgewicht ist. Durch diese Vereinfachung ist die Untersuchung von instationären Hochwasserereignissen nicht möglich.
- Vorgabe der Wasserspiegel in der Nieplitz und den Nebengewässern: Es sind Werte für die Wasserspiegel der Gewässerrandbedingungen vorzugeben. Damit kann die Auswirkung der Wasserspiegel auf die Grundwasserstände berechnet werden. Es erfolgt keine Simulation von Durchflüssen.

- Die Modellergebnisse können nur hinsichtlich der Plausibilität geprüft werden. Es wird keine Kalibrierung durchgeführt (keine Daten dazu vorhanden).

Dieser Modellansatz ist ausreichend für die angefragten Aussagen zur Abschätzung der dauerhaften Auswirkungen verschiedener Stauziele auf die Grundwasserstände bzw. die Flurabstände und zur Ermittlung der Reichweite des beeinflussten Grundwasserraums anhand der Berechnung von Differenzenplänen zwischen den verschiedenen Stauszenarien. Zu den Grenzen der Aussagefähigkeit des Prinzipmodells sowie zum Ausblick zur Erweiterung des Untersuchungsumfangs und der Modellkomplexität wird auf die Ausführungen im Kapitel 3.6 verwiesen.

3.2 Verwendete Software

Generell ist jede numerische Grundwassersimulationssoftware zur Berechnung der gesättigten Grundwasserströmung auf der Grundlage des Darcy-Gesetzes für die Modellierung eines Prinzipmodells geeignet. Wichtig ist die Möglichkeit zur Abbildung eines fein aufgelösten Gewässersystems über kleine Rasterzellen bzw. die Nutzung der Finite Elemente Technik mit flexibler Netzauflösung. Auswertung und Visualisierung können bei kostenfreien Codes auch extern erfolgen (z.B. in GIS-Systemen).

Für die vorliegende Untersuchung am Wehr Beelitz wurde die Software MIKE SHE (DHI) genutzt, die zur Simulation der Grundwasserströmung auf dem MODFLOW-Kern aufbaut. MIKE SHE bietet die Möglichkeit zur Erweiterung der Modellansätze, insbesondere die Kopplung mit einem Hydraulikmodell zur Simulation der Abflüsse und zur Abbildung von Steuerstrukturen (Querbauwerke, Steuerungsregeln). Zudem ist die Erweiterung auf ein vollständig gekoppeltes Oberflächenwasser-Grundwasser-Modell mit Betrachtung des gesamten Wasserhaushalts im Einzugsgebiet und den Auswirkungen auf die Abflüsse und Grundwasserstände und deren Interaktionen möglich (s. Kap. 3.6.)

3.3 Datengrundlagen

3.3.1 Übersicht zu den allgemein erforderlichen Daten

Um ein vereinfachtes Prinzipmodell mit einer numerischen Grundwassersimulationssoftware aufzubauen sind folgende Datengrundlagen notwendig:

- Topografie:
 - räumliche verteilte Geländeoberkante in hoher Auflösung, z.B. Digitales Geländemodell in 1 m Auflösung (DGM1), in Brandenburg frei verfügbar
- Hydrogeologie:
 - Basis des oberen betrachteten Grundwasserleiters
 - Durchlässigkeit des Grundwasserleiters (k_f -Wert in [m/s])
- Grundwasser:
 - Angaben zu den seitlichen Grundwasserverhältnissen an den Modellrändern, abgeleitet aus den regionalen Grundwassergleichen für

mittlere Verhältnisse und ggf. Angaben über den seitlichen Grundwasserzustrom

- Messwerte von vorhandenen Grundwassermessstellen
- Fließgewässer:
 - Angaben zum Gewässernetz mit Verlauf und Breite des Fließgewässers
 - absoluter Wasserstand für zu betrachtende Einstauzustände im Ober- und Unterwasser im Hauptgewässer
 - Wasserstände bzw. Stauziele in den Nebengewässern

3.3.2 Verwendete Datengrundlagen für den Modellaufbau am Standort Wehr Beelitz

Folgende Planungsunterlagen zum Vorhaben lagen vor:

- IPROconsult GmbH (2022): Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Wehr Beelitz und Verbesserung der Gewässerstruktur zwischen Fließ-km 19+200 und 18+500. IPROconsult GmbH, Berlin, 12.04.2022 /5/
- LfU (2022): Plangenehmigung OWB/051/19/PG für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Wehr Beelitz und die Verbesserung der Gewässerstruktur zwischen Fließ-km 19+200 und 18+500. Landesamt für Umwelt, Obere Wasserbehörde, Potsdam, 22.12.2022 /6/
- LfU (2023): Präsentation UVZV 2-Vorhaben Nieplitz - Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Standort Wehr Beelitz und Verbesserung der Gewässerstruktur zwischen Fließ-km 19+200 bis 18+500. Landesamt für Umwelt, W26, M. Mertens, Potsdam, 14.07.2023 /3/

Tabelle 3-1 enthält eine Übersicht zu den zusätzlich recherchierten Datengrundlagen für den Aufbau eines vereinfachten Grundwassermodells am Standort Wehr Beelitz (Nieplitz).

Tabelle 3-1: Recherchierte Datengrundlagen für den Modellaufbau am Standort Wehr Beelitz (Nieplitz).

Nr.	Datensatz	Beschreibung [Format, Auflösung]	Quelle	Stand / Aktualität:
1 Geobasisdaten (Koordinatenreferenzsystem ETRS 1989 UTM Zone 33N, EPSG-Code: 25833)				
1.1	Digitale Topografische Karten (DTK)	TopPlus [WMTS-Service]	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie	2017
1.2	Digitales Geländemodell (DGM)	DGM Brandenburg [1m / raster .tif]	GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0, (Daten geändert); Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg (LGB)	12.07.2023
2 Geologie, Hydrogeologie und Boden				
2.1	Bodenkarte	Bodenübersichtskarte von Deutschland 1 : 200 000 (BUEK200)	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	2018
2.2	Geologische und hydrogeologische Kartenwerke	Geologieübersichtskarte von Deutschland 1 : 250 000 (GUEK250)	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	2019
		Geologische Übersichtskarte 1:100.000	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	2015
		Geologische Übersichtskarte 1:25.000	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	1945 - 1967
		Hydrogeologische Karte des Landes Brandenburg 1: 50 000 – Karte der oberflächennahen Hydrogeologie (HYK 50-1) – L3742 Werder (Havel)	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	2015
		Hydrogeologische Karte des Landes Brandenburg 1: 50 000 – Karte des weitgehend bedeckten Grundwasserleiterkomplexes GWLK 2 (HYK 50-2) – L3742 Werder (Havel)	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	2015
2.3	Hydrogeologische Schnitte	Ost-West Schnitt 5785 – Blatt L3942 Treuenbrietzen	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	2000
		Ost-West Schnitt 5790 – Blatt L3742 Werder (Havel)	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	2001

2.4	Moorbodenkarte	Moorbodenkarte des Landes Brandenburg	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR)	Feb. 2021
3 Grundwasser				
3.1	Grundwassermessstellen (GWM)	Frühjahr und Herbst 2015 für mittleren Zustand	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2015
3.2	Grundwasserisohypsen / -gleichen (Grundwasserdynamik GWD)	Frühjahr und Herbst 2015 für mittleren Zustand	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2015
3.3	Grundwasserkörper	Grundwasserkörper Brandenburg gemäß WRRL 2000/60/EG	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2020
3.4	Grundwasserflurabstand	Grundwasserflurabstand für den oberen genutzten Grundwasserleiter des Landes Brandenburg	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2015
3.5	Grundwasserneubildung	Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg auf Einzugsgebietsbasis Reihe 1991 - 2020 [.tiff] ArcEGMO	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2023
4 Gewässer				
4.1	Gewässer (Gewässernetz)	Gewässernetz im Land Brandenburg	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2016
4.2	Gewässereinzugsgebiete	Oberirdische Einzugsgebiete des Landes Brandenburg	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2021
4.3	Pegelmessstellen	Pegel Oberflächengewässer im Land Brandenburg	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2016
4.4	Querbauwerke	Querbauwerke in Fließgewässern (insbesondere Vorranggewässer für die fischökologische Durchgängigkeit) und ausgewählte Parameter der Querbauwerksdatenbank für das Land Brandenburg	Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU)	2023

3.4 Modellaufbau Wehr Beelitz

3.4.1 Abgrenzung des Modellgebiets

Die für die Modellierung benötigten Daten wurden in einem GIS-Projekt erfasst (s. Abbildung 3-1).

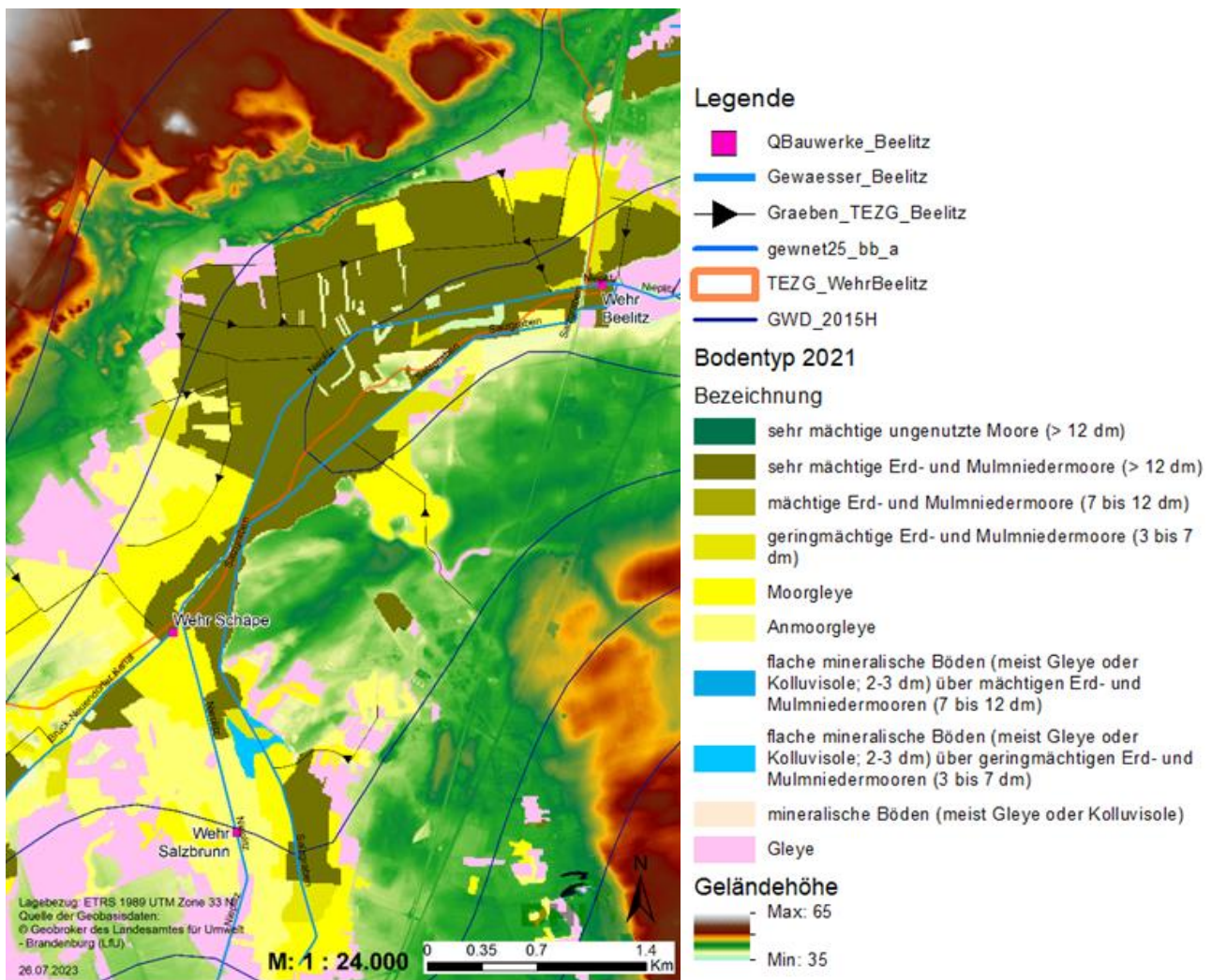


Abbildung 3-1: Zusammenstellung der Daten in einem GIS-Projekt.

Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Stauziele am Wehr Beelitz auf die Grundwasserstände muss aufgrund der Reichweite der Stauwurzel der Flusslauf bis zum nächsten Wehr Salzbrunn ca. 5,5 km in der Nieplitz oberhalb im Grundwassermodell abgebildet werden (s. Längsschnitt in Abbildung 3-2).

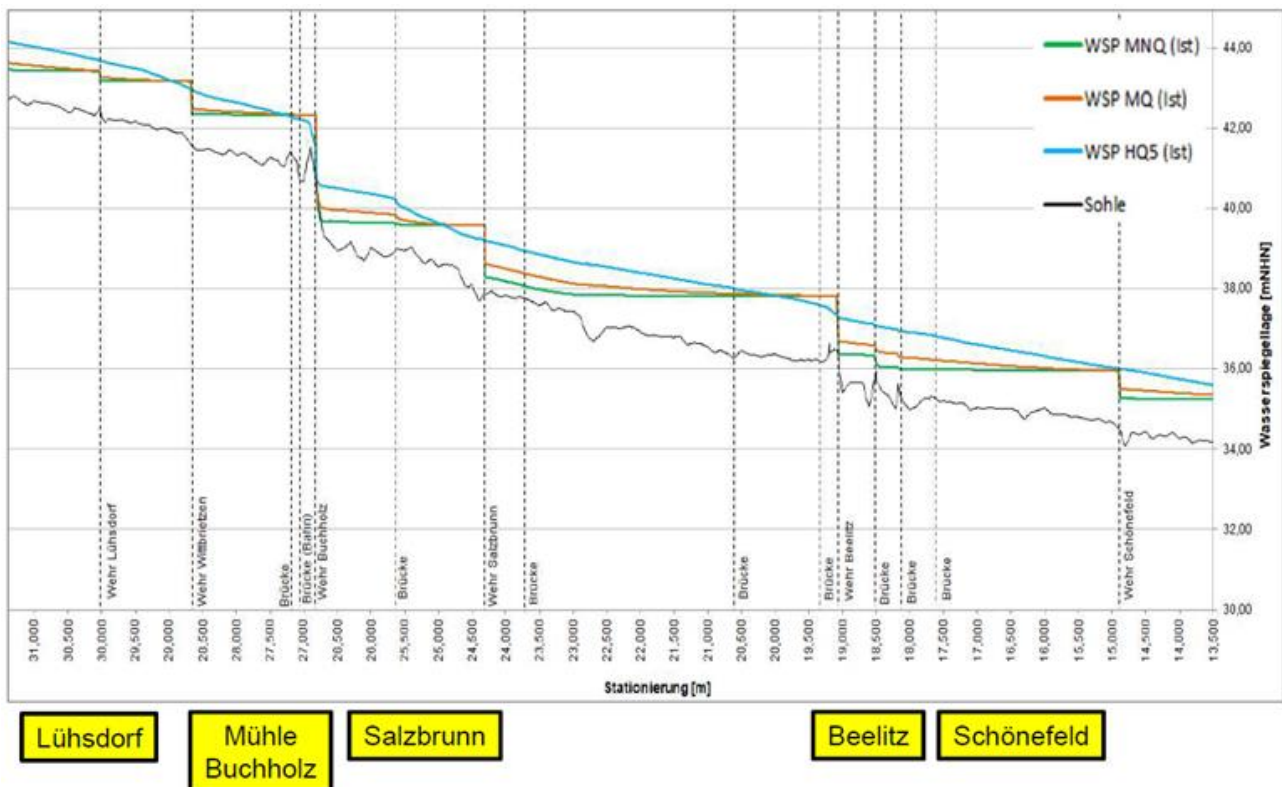


Abbildung 3-2: Längsschnitt der Nieplitz (aus Landesamt für Umwelt, W26, M. Mertens, Präsentation 14.07.2023 /3/).

Die Modellränder zur Begrenzung der Talniederung müssen ausreichend entfernt vom Aussagegebiet gewählt werden, d.h. dem Beeinflussungsgebiet des Wehrs Beelitz. Zur Ableitung der Modellgrenzen wurde der Grundwassergleichenplan des Landesamts für Umwelt (LfU Brandenburg) verwendet, der im Maßstab 1:50.000 landesweit vorliegt (s. Darstellung der Grundwassergleichen in Abbildung 3-1).

Die Modellgrenze im Nordosten und im Süden wurde entlang des Verlaufs von Grundwassergleichen des Grundwassergleichenplans vom Herbst 2015 orientiert. Im Südwesten verläuft die Modellgrenze orthogonal zu den Grundwassergleichen auf einer Trennstromlinie. In gleicher Weise wurde die Modellgrenze östlich der Nieplitz gewählt.

Die südöstliche Modellbegrenzung entspricht dem Verlauf des Salzgrabens, der hier die Grundwasserstände maßgeblich beeinflusst. Der Salzgraben weist ein eigenes Einzugsgebiet auf (s. Abgrenzung des Einzugsgebiets des Wehrs Beelitz in Abbildung 1-2). Der Wasserstand des Salzgrabens wurde aus dem Digitalen Geländemodell abgeleitet.

Die Abgrenzung des Modellgebiets ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Die Randbedingungen an den Modellrändern bleiben in den Szenarienrechnungen unverändert.

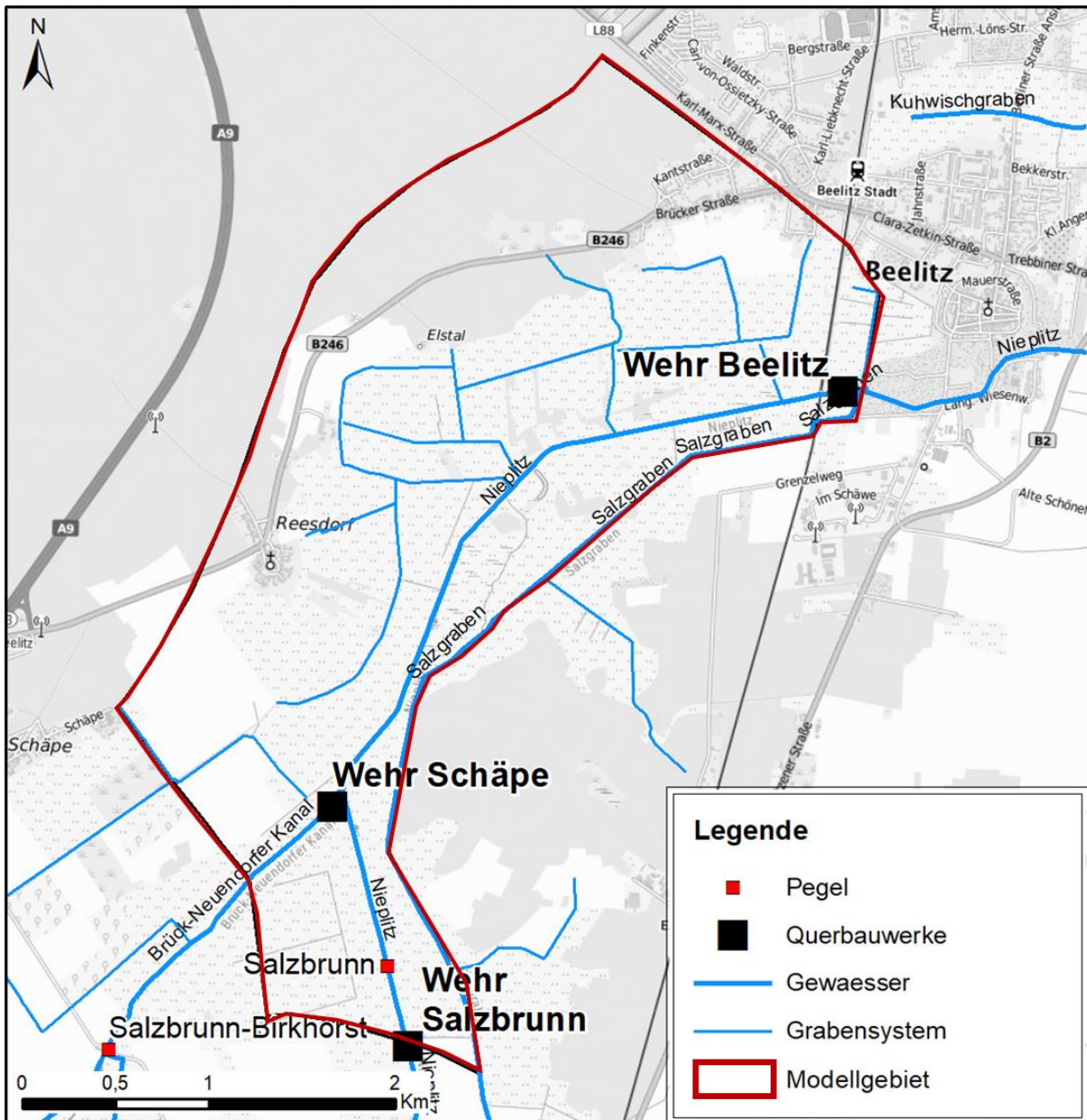


Abbildung 3-3: Abgrenzung des Modellgebiets und berücksichtigtes Gewässersystem im Prinzipmodell zum Wehr Beelitz.

3.4.2 Abbildung des Gewässersystems

Das Fließgewässersystem wird im Modell durch die Kombination aus angesetzten Wasserständen und dem sogenannten Leckage-Koeffizienten parametrisiert, welcher die Durchlässigkeit des Gewässerbetts darstellt (auch sog. Transfer-Randbedingung/ Randbedingung 3. Art). Das im Modell berücksichtigte Gewässernetz ist in Abbildung 3-3 aufgezeigt.

In der Nieplitz sowie in den Seitengräben wurden die zu untersuchenden Stauziele für die oberstromige Reichweite der Stauwurzel angesetzt. Die Reichweite der Stauwurzel wurde basierend auf dem Längsschnitt der Nieplitz aus Abbildung 3-2 abgelesen und ist räumlich in Abbildung 3-4 für unterschiedliche Stauziele veranschaulicht.

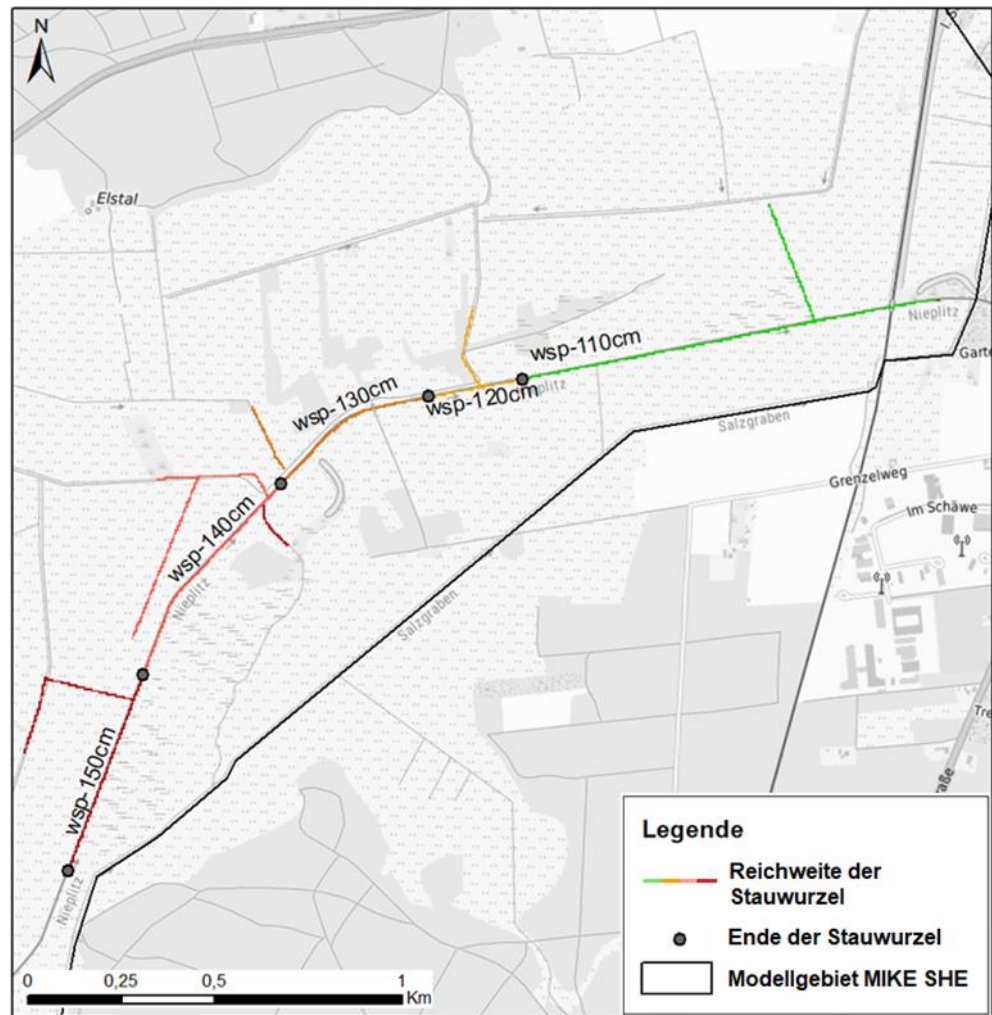


Abbildung 3-4: Reichweite der Stauwurzel des Wehrs Beelitz bei verschiedenen Stauzielen.

Da für kleine Fließgewässer in der Regel keine Daten zu Wasserständen verfügbar sind, ist eine gängige Methode die Ableitung der Wasserstände anhand des DGM1. Die Werte der Rasterzellen des DGM1 entsprechen näherungsweise dem mittleren Wasserstand eines Gewässers. Diese mittleren Wasserstände resultieren aus dem natürlichen Gefälle des Geländes und des Grundwasserspiegels innerhalb der Niederung. Trotz des geringen Geländegefälles steigt dieser natürliche mittlere Wasserstand in den Seitengraben in einer gewissen Entfernung seitlich zur Nieplitz infolge des natürlichen Grundwassergradienten über die absolute Höhe des am Wehr Beelitz eingestellten Wasserstands. Folglich wurde die absolute Höhe des Stauziels nur innerhalb dieses Einflussbereichs der Nieplitz für die jeweiligen Szenarien angepasst (siehe Abbildung 3-4).

Die Durchlässigkeit des Gewässerbetts bzw. der Leakage-Koeffizient ist ein wichtiger Parameter, der die Anbindung des Gewässers an das Grundwasser widerspiegelt. Der Leakage-Koeffizient entlang der Nieplitz wurde mit $L = 1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/s}$ gewählt, während für die Entwässerungsgräben $L = 1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/s}$ angesetzt wurde. Dieser Wert basiert auf den Erfahrungen aus vergleichbaren Projekten und Standorten. Der für die Nieplitz festgelegte Wert entspricht einer guten Anbindung an das Grundwasser. Der für die Entwässerungsgräben angesetzte Wert entspricht einer etwas geringeren Anbindung an das Grundwasser, wobei hier noch keine nennenswerte Abdichtung angenommen wird. Verkrautete

Gewässer im Sommer oder leicht verschlammte Gewässer werden üblicherweise mit einem Wert in dieser Größenordnung versehen.

3.4.3 Parametrisierung des Grundwasserströmungsraums

Für die Abbildung der Modelloberkante wurde das vorliegende Digitale Geländemodell von 1 m auf 5 m Rasterauflösung aggregiert, um die Rechenzeit zu optimieren. Für die Berechnung der Grundwasserflurabstände wurde das DGM1 verwendet.

Für die Basis des oberen Grundwasserleiters wurde anhand der „Hydrogeologischen Karte des Landes Brandenburg 1: 50 000 – Karte der oberflächennahen Hydrogeologie (HYK 50-1) – L3742 Werder (Havel)“ ein Wert von 28,5 m NHN angesetzt. Für die hydraulische Durchlässigkeit des oberen Grundwasserleiters wurde aus diesem Kartenwerk ein Wert von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s abgeleitet.

3.5 Modelleinsatz Wehr Beelitz

Das Modell wurde für den Referenzzustand mit einer Einstauhöhe von 1,20 m (aktuelles Sommerstauziel) am Wehr Beelitz aufgebaut.

Zielstellung der Untersuchungen ist die Ermittlung der Auswirkungen einer Erhöhung des Stauziels.

Tabelle 3-2: Übersicht zu den untersuchten Szenarien.

Szenario Nr.	Stauhöhe [m]	Wasserstand [m NHN]	Bezeichnung
1	1,2	37,47	aktuelles Sommerstauziel
2	1,3	37,57	
3	1,4	37,67	aktuelles Winterstauziel
4	1,5	37,77	

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Szenarienberechnung dargestellt. Hierbei sind jeweils die ermittelten Flurabstände und die Differenzen der Grundwasserstände im Vergleich zum Referenzzustand abgebildet (Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-11). Die Differenzendarstellungen weisen den bevorteilten Grundwasserraum durch Erhöhung des Stauziels aus.

Aufgrund fehlender Messdaten ist keine Kalibrierung des Grundwassermodells möglich. Die Ergebnisse der Prinzipmodellierung hinsichtlich des Bevorteilungsraums und der resultierenden Grundwasserflurabstände, vor allem die Ausweisung der roten/orangen/gelben Flächen mit geringen Grundwasserflurabständen, werden anhand der Beobachtungen insbesondere zur Bewirtschaftung des Grünlands als plausibel eingeschätzt.

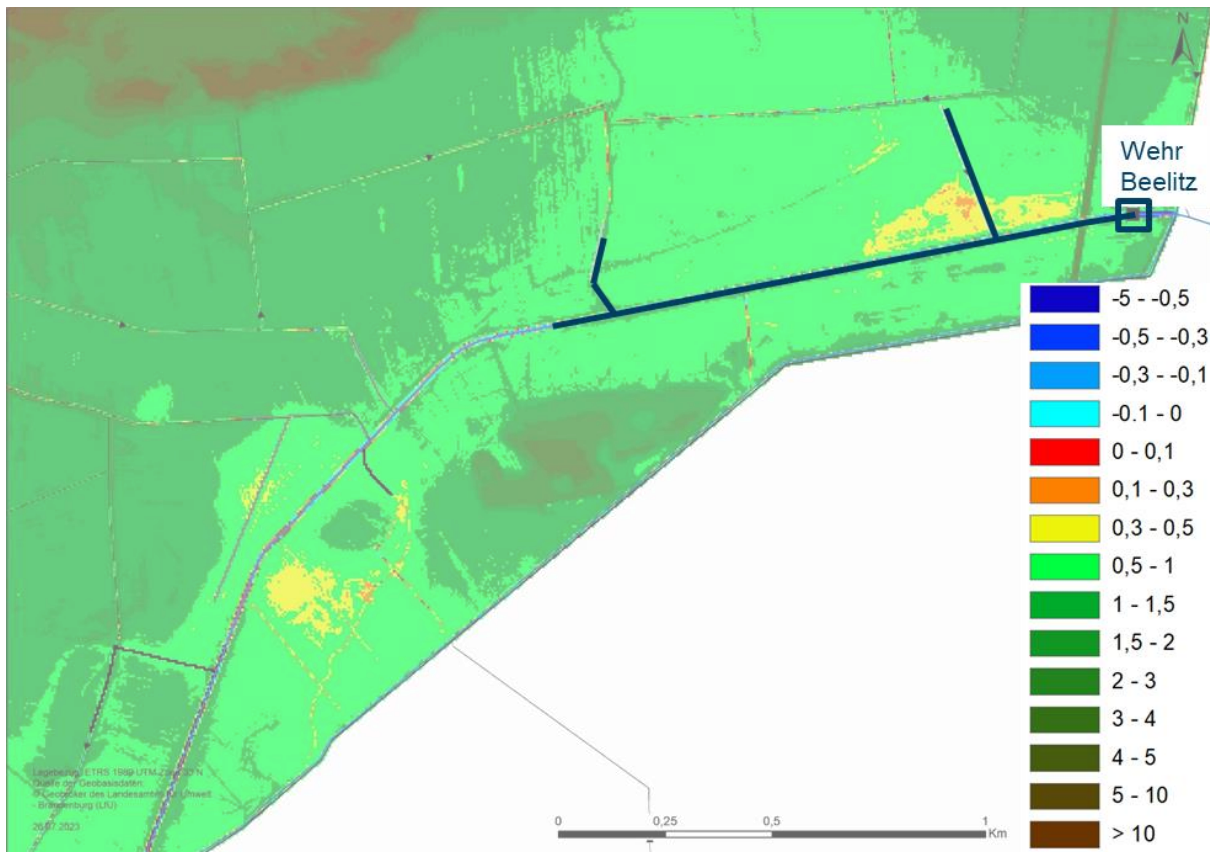


Abbildung 3-5: Flurabstand in [m] bei Szenario 1 mit Stauziel 1,20 m (Detailansicht).

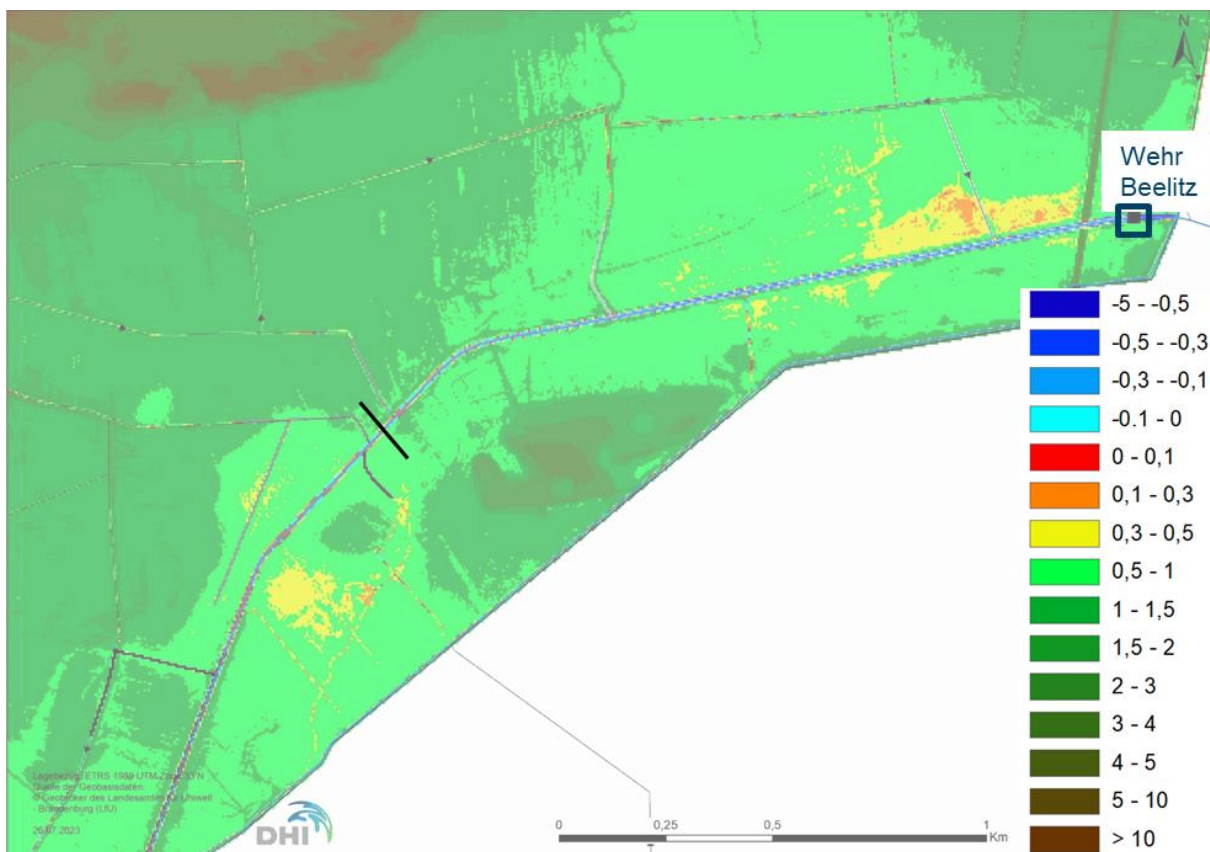


Abbildung 3-6: Flurabstand in [m] bei Szenario 2 mit Stauziel 1,30 m (Detailansicht, Stauwurzel schwarzer Strich).

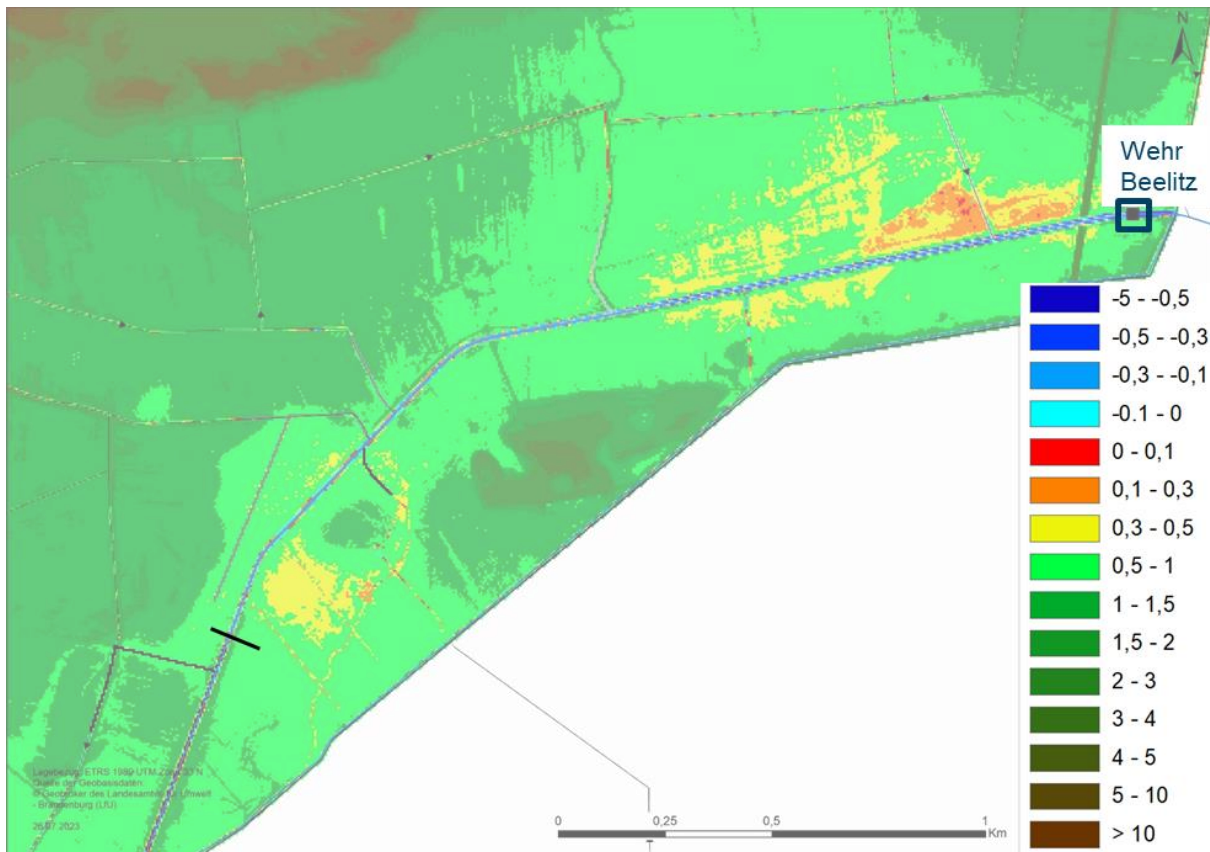


Abbildung 3-7: Flurabstand in [m] bei Szenario 3 mit Stauziel 1,40 m (Detailansicht).

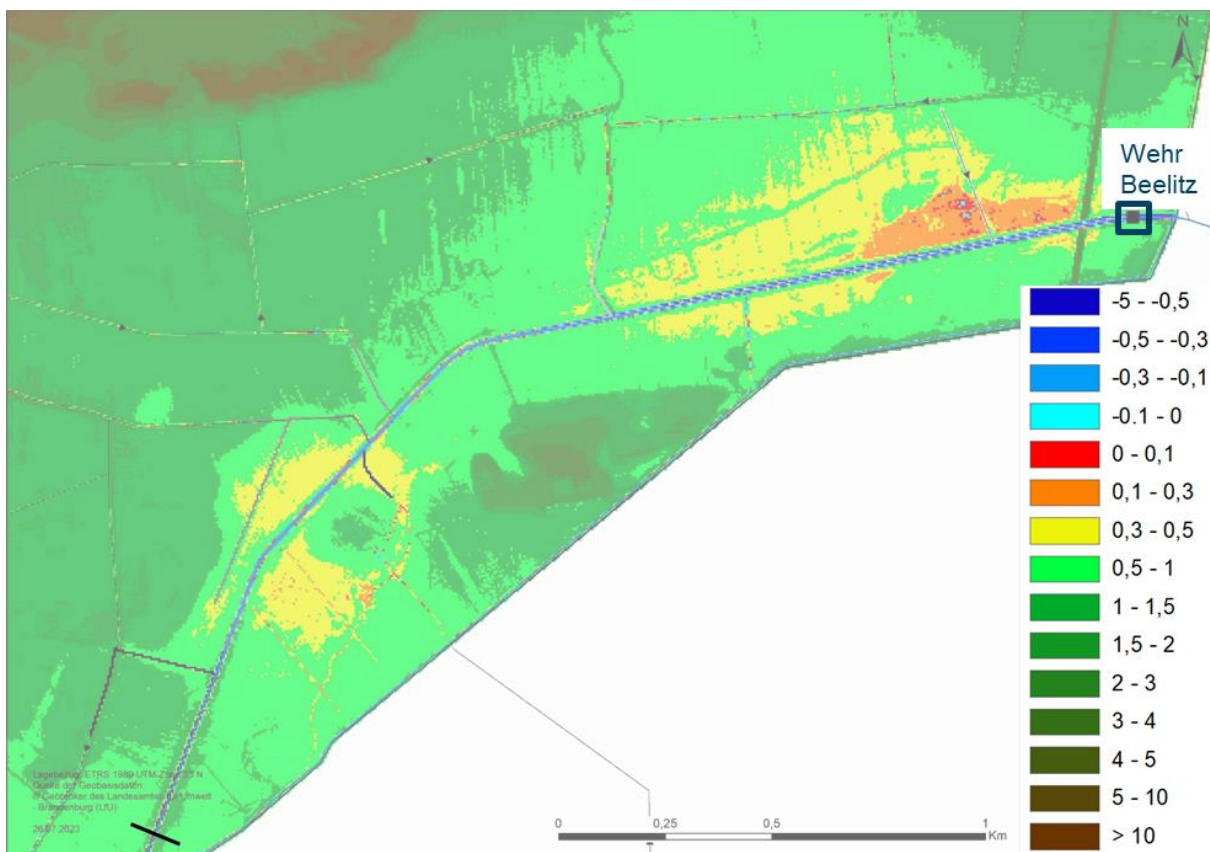


Abbildung 3-8: Flurabstand in [m] bei Szenario 4 mit Stauziel 1,50 m (Detailansicht).



Abbildung 3-9: Differenz der Grundwasserstände in [m] zwischen Szenario 2 (Stauziel 1,3 m) und Szenario 1 (Stauziel 1,2 m).

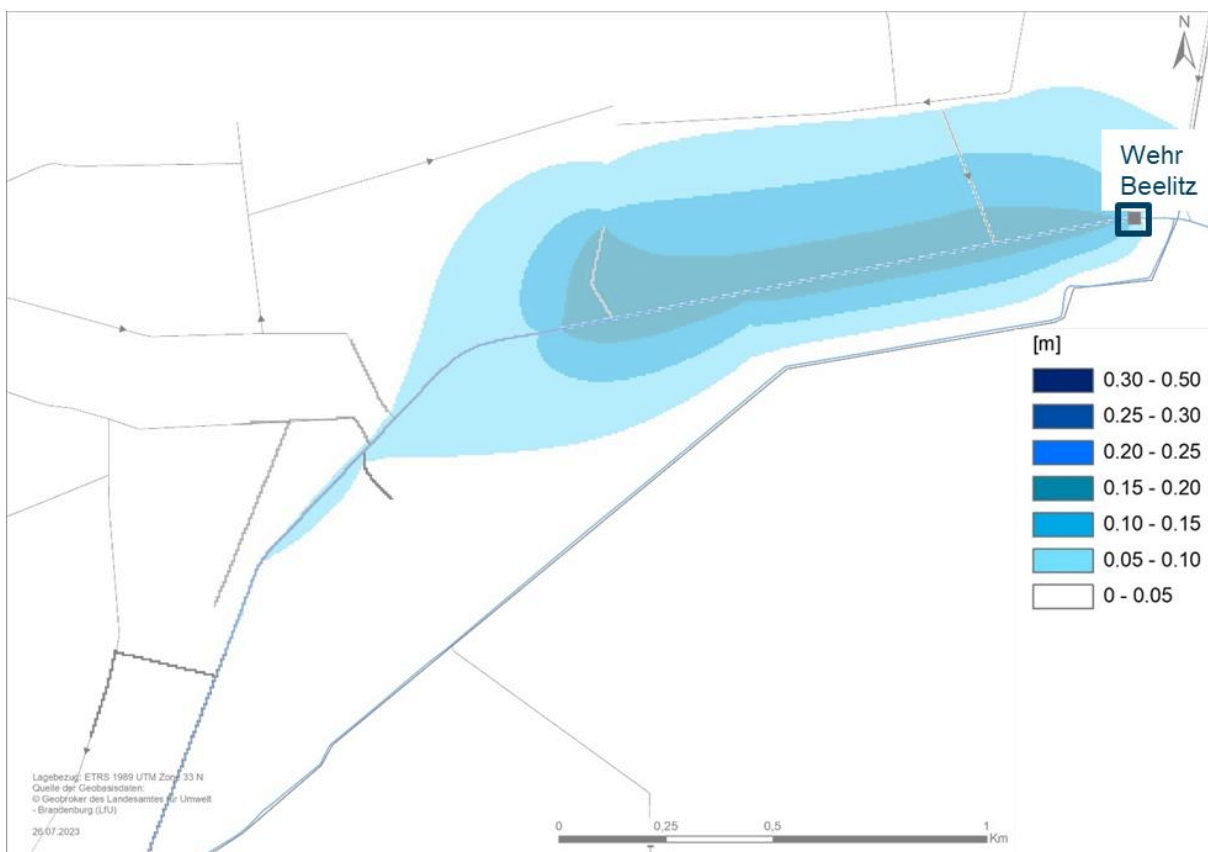


Abbildung 3-10: Differenz der Grundwasserstände in [m] zwischen Szenario 3 (Stauziel 1,4 m) und Szenario 1 (Stauziel 1,2 m).

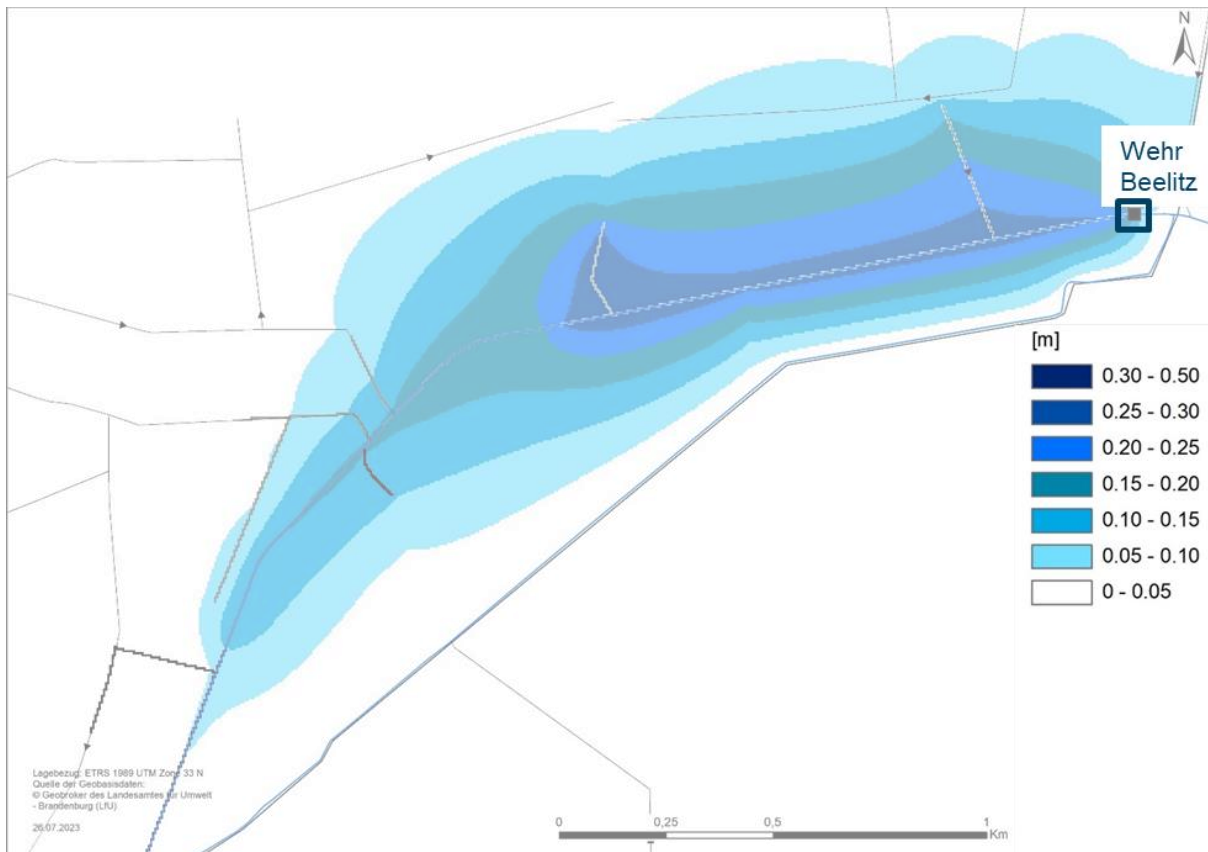


Abbildung 3-11: Differenz der Grundwasserstände in [m] zwischen Szenario 4 (Stauziel 1,5 m) und Szenario 1 (Stauziel 1,2 m).

Die folgende Tabelle 3-3 zeigt, welche Wassermengen zusätzlich im Vergleich zum Referenzstauziel (1,2 m) bei Ansatz einer effektiven Porosität von 0,25 zurückgehalten werden können.

Tabelle 3-3: Abschätzung des Wasserrückhaltevolumens.

Stauhöhe [m]	Wasserstand [m NHN]	Bezeichnung	Wasserrückhalt bei n_e von 0,25 [m³]
1,2	37,47	aktuelles Sommerstauziel	
1,3	37,57		11.896
1,4	37,67	aktuelles Winterstauziel	34.765
1,5	37,77		65.024

Das als Wasserrückhalt ausgewiesene Volumen stellt das zusätzliche Volumen an Wasser dar, welches jährlich zu Beginn des Sommerhalbjahres im Vergleich zum Referenzstauziel von 1,2 m mehr zur Verfügung steht. Durch das höhere Winterstauziel stellt sich im umliegenden Grundwasserleiter ein entsprechend höherer Grundwasserstand ein. Bei ausreichend Wasserverfügbarkeit würde somit nach jedem Winterhalbjahr ein höheres Ausgangsniveau im Grundwasserspiegel vorhanden sein.

Der zusätzlich mögliche Wasserrückhalt hängt dabei stark von der Reichweite eines höheren Stauziels ab. Diese Reichweite wird am Wehr Beelitz nach Südosten durch den Salzgraben begrenzt. Nach Norden und Nordwesten zu den Talflanken der Niederung hin wird der Einflussbereich auf das Grundwasser durch die Reichweite der Stauwurzel in den Seitengräben festgelegt. Der Grundwassergradient von den Talflanken begrenzt die Auswirkung des Wehreinstaus.

Bei einer Erhöhung des Winterstauziels über 1,4 m sind die möglichen Restriktionen des Bahndamms im Oberwasser zu berücksichtigen. Bei einer Erhöhung des Sommerstauziels über 1,2 m kann es zu Einschränkungen der bisherigen Flächenbewirtschaftung kommen. Aufbauend auf den Modellergebnissen wird die Kommunikation mit den Flächennutzern empfohlen, um Nutzungsanforderungen und Lösungsansätze zu diskutieren. Für die Flächenbewirtschaftung von Grünland- bzw. Ackernutzung werden Flurabstände im Bereich zwischen 0,3 – 0,6 m angestrebt /7/.

Die Prüfung der Regulierbarkeit der Stauanlage Beelitz war nicht Gegenstand der Untersuchungen.

3.6 Aussagefähigkeit des Prinzipmodells, Ausblick zur Erweiterung des Untersuchungsumfangs und der Modellkomplexität

Mit der Anwendung eines vereinfachten Prinzipmodells sind gewisse Einschränkungen verbunden, welche die Belastbarkeit der Ergebnisse beeinflussen können.

- 1-Schicht-Modell,
- stationäre Betrachtung,
- Belegung der Modellränder,
- Vorgabe/ Belegung der Wasserspiegel,
- fehlende Kalibrierung.

Zur Abschätzung der Relevanz der Auswirkungen von verschiedenen Stauzielen auf den Grundwasserraum wird der gewählte Ansatz jedoch als ausreichend betrachtet. Grundlegend sind vielmehr die notwendigen Fachkenntnisse für die Erarbeitung eines hydrogeologischen Systemverständnisses, um darauf aufbauend das Modellgebiet abzugrenzen, die Randbedingungen und Parameter zu belegen und die Berechnungsergebnisse plausibilisieren zu können. Über Sensitivitätsanalysen lässt sich die Spannweite der Parameter eingrenzen (v.a. hydraulische Durchlässigkeit und Kolmation des Gewässerbetts).

Prinzipiell ist es wünschenswert, dass Messdaten zur Kalibrierung des Grundwassermodells vorliegen. Das können Pumpversuche, Grundwasserstandsmessungen, Wasserspiegelmessungen oder idealerweise mit einem Monitoring begleitete Stauversuche sein. Um belastbare Ergebnisse zu erhalten, ist bei entsprechender Datenverfügbarkeit die Erweiterung zu einem 3D-Modell mit differenzierten Untergrunddurchlässigkeiten und die Durchführung instationärer Berechnungen zur Ermittlung der Grundwasserdynamik sinnvoll. Das bedeutet aber einen erheblich höheren Zeit- und Kostenaufwand.

Für die im Zusammenhang mit den Untersuchungen am Wehr Beelitz weiteren diskutierten Fragestellungen zur Modellierung und Steuerung verschiedener Abflussverhältnisse und deren Auswirkung auf die Grundwasserstände müsste

zudem mindestens eine Kopplung zu einem Gewässer-/ Hydraulikmodell erfolgen.

Es wird empfohlen, für die weiteren Planungen nicht nur das Wehr Beelitz als Einzelstandort zu betrachten, sondern vielmehr die gesamte Nieplitz sowie die Grabensysteme und Kleinstau im Einzugsgebiet. Um ein nachhaltiges Bewirtschaftungskonzept zur Niedrigwasservorsorge erarbeiten zu können, wird eine einzugsgebietsbezogene Modellierung zur Ermittlung des Dargebots (Grundwasserneubildung, Abflüsse) und zur Ableitung von Steuerungsregeln für die Bewirtschaftung der Wehre (Stichwort gestaffelter Wasserrückhalt in der Nieplitz) und Kleinstauanlagen (Wasserrückhalt in der Fläche) empfohlen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Software MIKE SHE verwendet. MIKE SHE fällt in die Kategorie der sogenannten „Integrierten Wasserhaushaltsmodelle“, die im Gegensatz zu herkömmlichen Grundwassermodellen den gesamten Wasserhaushalt mit Niederschlags-Abflussbildung, Bodenwasserhaushalt und Grundwasser vollintegriert (gekoppelt) und somit mit allen Interaktionen abbilden können und damit die Berechnung geschlossener Wasserbilanzen ermöglichen. Zudem können steuerbare Strukturen zur Unterstützung der Erarbeitung von Planungsvarianten für die technische Umsetzung und Ableitung von Steuerungsregeln (Stauziele und Stauzeiten) berechnet werden. Entsprechend der Aufgabenstellung zur Abschätzung der Auswirkungen von Gewässereinstauen im Grundwasser mit vereinfachten Methoden wurde nur das Grundwassermodul genutzt, um damit ein Prinzipmodell für den Standort Wehr Beelitz zu erstellen. Das Modell ist aber durch den modulartigen Aufbau leicht zu erweitern, um die weiterführenden Fragestellungen belastbar zu beantworten.

4 Entwicklung eines excelbasierten 2D-Tools

4.1 Definition, Anwendungsbereiche

Zur vereinfachten Prüfung der Auswirkungen von Stauzielen auf die Grundwasserspiegel ohne spezifische Erfahrungen in der Grundwassermodellierung und Softwarekenntnisse - die für die Erstellung eines numerischen Prinzipmodells trotz vereinfachter Modellannahmen Voraussetzung sind - wurde von DHI zusätzlich ein excelbasiertes 2D-Tool entwickelt.

Die Anwendung erfordert dennoch grundlegenden hydrogeologischen Sachverstand, um plausible Annahmen für die erforderlichen Eingaben zu treffen. Weiterhin sind grundlegende Kenntnisse im Umgang mit Geoinformationssystemen hilfreich, um den Bezug zu räumlich differenzierten Daten, wie zum Beispiel zur Geländeoberkante, herzustellen.

Die Datengrundlagen und Modellannahmen sind analog zur Prinzipmodellierung mit einem numerischen Grundwassermodell (s. Kapitel 3). Es werden folgende Daten benötigt:

- Basis/ Mächtigkeit des Aquifers,
- Durchlässigkeit des Aquifers,
- Grundwassergradient,
- Breite des Gewässers,
- Grundwasserneubildung,
- Durchlässigkeit der Gewässersohle,
- ober- und unterstromiger Wasserstand am Wehr.

Im Vergleich zur numerischen Modellierung sind die Anwendungsbereiche jedoch eingeschränkt:

- starke Abstraktion der realen Geometrie,
- grobe Auflösung,
- gerader Flusslauf,
- plausible Ergebnisse lediglich im näheren Einflussbereich (entlang und lateral zum Gewässer) des betrachteten Wehres,
- starker Einfluss der angenommenen Randbedingungen entlang der Ränder.

Für die angedachte Anwendung zur Prüfung von Stauzielen in Meliorationsgebieten sind diese Einschränkungen jedoch akzeptabel.

Die Untersuchungen konnten jedoch nicht am Wehr Beelitz durchgeführt werden, da die Standorteigenschaften zu komplex sind. Für die beispielhafte Betrachtung wurde das Wehr Fuchsberg am Kleinen Havelländischen Hauptkanal gewählt. (s. Kap. 4.3).

4.2 Beschreibung des Excel-Tools

4.2.1 Grundlagen, Anpassungen durch DHI

Die Berechnung von vereinfachten stationären Grundwasserfragestellungen erfordert nicht zwingend ein komplexes Grundwassermodell. Die mathematischen Formeln, die in einem stationären Grundwassermodell verwendet werden, können auch in einem excelbasierten Tabellenblatt gelöst werden. Online finden sich Anleitungen, wie solche excelbasierten Tabellenblätter aufgebaut sein können, z.B. unter „[Teaching Numerical Groundwater Flow Modeling with Spreadsheets | Mathematical Geosciences \(springer.com\)](https://link.springer.com/article/10.1007/s11004-022-10002-4)¹“ oder [Snímek 1 \(muni.cz\)](https://www.muni.cz)².

Im Internet finden sich allerdings überwiegend nur Lösungen für „gespannte Grundwasserverhältnisse“. Die Bewertung von Auswirkungen in oberflächennahen Grundwasserleitern erfordert allerdings die Berücksichtigung „ungespannter“ Verhältnisse. Deshalb wurde im Rahmen dieses Projekts durch DHI WASY eine Vorlage entwickelt, welche das deutlich komplexere Gleichungssystem für ungespannte Verhältnisse lösen kann.

Das Gleichungssystem basiert auf der Annahme, dass bei stationären Bedingungen die Summe aller Zu- und Abflüsse in einer Zelle Null ergeben muss. Die zu berücksichtigenden Flüsse sind in Abbildung 4-1 veranschaulicht.

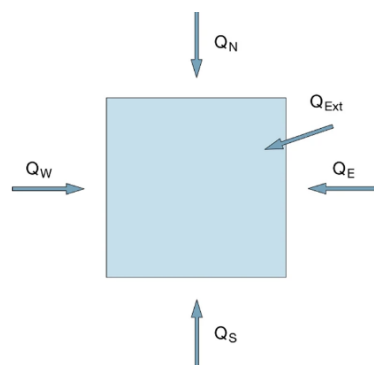


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung Zu- und Abflüsse in einer Zelle.

Zu der im Rahmen dieses Projektes benötigten Bewertung verschiedener Stauziele auf die Grundwasserstände wurden durch DHI folgende weitere Anpassungen an der eingangs zuerst genannten Excel-Vorlage durchgeführt:

- höhere Auflösung/ Erhöhung der Rechenzellen (33 Spalten / 19 Zeilen zu 75 Spalten / 50 Zeilen)
- Erweiterung der Vorlage zur räumlich verteilten Eingabe folgender Größen:
 - Geländeoberkante
 - Basis des Grundwasserleiters (Stauoberkante)
 - Untergrunddurchlässigkeit (k_f -Wert)

¹ <https://link.springer.com/article/10.1007/s11004-022-10002-4>

² [Snímek 1 \(muni.cz\)](https://www.muni.cz)

Auf dem ersten Tabellenblatt befindet sich eine Eingabemaske mit dem Namen „*Eingabe*“. Hier können die meisten Modellparameter angepasst werden.

Das Modellgebiet ist mit einer Länge (Ost-West) von 75 Zellen und einer Breite (Nord-Süd) von 50 Zellen vorgegeben. Die aktuelle Umsetzung in Excel geht von quadratischen Modellzellen aus. Theoretisch wären auch nicht quadratische Modellzellen möglich, würden aber eine Anpassung der aktuellen Umsetzung erfordern. Dieses Verhältnis kann nicht ohne weiteres geändert werden. Weitere Zellen müssten auf allen Tabellenblättern hinzugefügt und die Verknüpfungen zwischen den Tabellenblättern entsprechend angepasst werden. Die Zellbreite und Höhe ergibt sich automatisch aus dem frei wählbaren Modellgebiet und der vorgegebenen Anzahl an Zellen in Höhe und Breite. Das Modellgebiet wird idealerweise an markanten Stellen, wie zum Beispiel den nächstgelegenen Wehrstandorten oder den Talflanken abgegrenzt.

Für das Modellgebiet kann ein Ursprung mit Rechtswert x_0 und Hochwert y_0 festgelegt und in die Eingabemaske eingetragen werden. Die Werte gehen nicht in die Berechnungen mit ein. Sie können aber verwendet werden, um die Modellergebnisse räumlich einzuordnen und bspw. GIS-Daten zu importieren oder zu exportieren.

Die Parameter können entweder in der Eingabemaske konstant für das Modellgebiet oder aber teilweise auch individuell in den jeweiligen Tabellenblättern für jede Zelle angepasst werden - händisch oder durch einen GIS-Import.

Das Gewässer verläuft in der einfachsten Standardkonfiguration mittig im Modell und parallel zur Ost-West-Richtung (langen Seite) des Modells. Das Wehr befindet sich zwischen zwei Zellen des Modells und wird durch den Wasserstand im Oberwasser und Unterwasser definiert. In der Standardkonfiguration befindet sich das Wehr nahezu mittig im Modellgebiet (zwischen 36. und 37. Zelle von der westlichen Modellgrenze entfernt).

Eingabeparameter		Wert	Einheit
<u>Diskretisierung</u>			
x	Zellbreite	66.24	m
y	Zellhöhe	66.24	m
Länge (Ost-West)	Zellenanzahl	75	
Breite (Nord-Süd)	Zellenanzahl	50	
Az	Zellfläche	4387.74	m ²
x0	Rechtswert Ursprung	330291.3	m
y0	Hochwert Ursprung	5846821.6	m
<u>Geometrie</u>			
GOK	Geländeoberkante	28	m NHN
Basis	Oberkante Stauer	25	m NHN
<u>Festpotentiale</u>		<i>nur zwei Ausfüllen</i>	
H_nord	Grundwasserstand Nord		m NHN
H_sued	Grundwasserstand Süd		m NHN
H_ost	Grundwasserstand Ost	27	m NHN
H_west	Grundwasserstand West	26	m NHN
<u>Randbedingung</u>			
lateral Grundwasserzustrom		1.00E-06	m ³ /s
<u>Hydrogeologie</u>			
k	kf Wert	1.00E-04	m/s
l	GW-Gradient	0.020%	
<u>Gewässer</u>			
K'	Flussbett Konduktivität	1.00E-06	m/s
b	Flussbett Dicke	0.1	m
w	Flussbreite	12	m
ARiv	Wasseroberfläche	794.88	m ²
R	Flusswasser Infiltration	7.9E-03	m ² /s
<u>Grundwasserneubildung</u>			
N1	Niederschlag	0	mm/Jahr
QN1	Versickerung	0.00E+00	m ³ /s
<u>Brunnen</u>			
Q1	Entnahme	0	m ³ /s
<u>Wehr</u>			
lo	Fließgefälle Oberwasser	2.23E-05	m/m
lu	Fließgefälle Unterwasser	1.57E-05	m/m
ho	Wasserstand Oberwasser	26.12	m NHN
hu	Wasserstand Unterwasser	25.62	m NHN

Abbildung 4-3: Eingabemaske des 2D-Excel-Tools.

4.2.3 Ergebnisse, Visualisierung

Die wesentlichen Ergebnisse der Grundwassermodellierung werden auf den Tabellenblättern **h1** bzw. **h2 (Grundwasserstände)**, **Flurabstand 1** bzw. **Flurabstand 2** und **Differenzendiagramm** visualisiert.

Grundwasserstände

Auf den Tabellenblättern h1 und h2 befindet sich jeweils die räumliche Darstellung der Grundwasserstände für das abgegrenzte Modellgebiet mit 75 x 50 Zellen. Der für jede Zelle iterativ nach Darcy berechnete Grundwasserstand ist in der jeweiligen Zelle angegeben. Aufgrund einer bedingten Formatierung mit Farbskala werden Zellen mit hohen Grundwasserständen grün und Zellen mit niedrigen Grundwasserständen rot hervorgehoben. Beeinflussungen des Grundwasserleiters z.B. durch Brunnen oder einen Fluss werden so veranschaulicht.

Differenzendiagramm

Die Excelmappe des Grundwassermodells ist so konfiguriert, dass zwei Szenarien gleichzeitig berechnet werden können. So kann die Differenz der jeweils resultierenden Grundwasserstände aus Szenario 1 und Szenario 2 als Ergebnis ausgegeben werden. Beispielsweise kann Szenario 1 einen Ausgangszustand und Szenario 2 eine Maßnahme darstellen.

Die Differenz der Grundwasserstände ist als „Auswirkung“ mit Isolinien in 10 cm Schritten auf dem Tabellenblatt Dia_Differenz dargestellt. Zusätzlich wird der maximale laterale Abstand mit bis zu 10 cm Auswirkung berechnet und in der Abbildung angegeben.

Flurabstand

Der Abstand zwischen der Geländeoberkante und dem Grundwasserstand wird als Flurabstand bezeichnet. Die Flurabstände sind in cm-Auflösung durch Farben und Schattierungen klassifiziert und die Konturen der jeweiligen Klassen mit Isolinien abgegrenzt. Zonen mit negativen Flurabständen sind grün dargestellt. Mit geringer werdenden Flurabstand wird die Grünfärbung heller. Der Bereich nahe der Geländeoberkante wird mit einem Farbübergang vom Gelben ins Rote (Flurabstand = 0) dargestellt. Überschwemmungen (Flurabstand < 0) werden mit zunehmend dunkleren Blautönen dargestellt. Die Darstellung und Farbgebung ist so gewählt, dass die resultierenden Flurabstände der beiden Szenarien optisch leicht verglichen werden können.

Zurückgehaltene Wassermenge

Aus der Differenz der jeweils resultierenden Grundwasserstände aus Szenario 1 und Szenario 2 wird die zurückgehaltene Wassermenge berechnet. Das Ergebnis wird in der zusätzlichen Eingabemaske auf dem Eingabe-Tabellenblatt als zurückgehaltenes Volumen ausgegeben.

<u>Zurückgehaltene Wassermenge</u>	
Effektives Porenvolumen	0.25
zurückgehaltenes Volumen	228,300 m ³

Abbildung 4-4: Zusätzliche Eingabemaske für die Eingabe des Porenvolumens und die Ausgabe der zurückgehaltenen Wassermenge.

4.3 Anwendungsbeispiel Wehr Fuchsberg im Kleinen Havelländischen Hauptkanal (KHHK)

4.3.1 Kurzbeschreibung des Standorts Wehr Fuchsberg

Im Folgenden wird die Anwendung des excel-basierten 2D-Tools zur vereinfachten Abschätzung der Auswirkung von Querbauwerken auf das Stauregime im Oberwasser beispielhaft für das Wehr Fuchsberg im Kleinen Havelländischen Hauptkanal (KHHK) beschrieben. Das Wehr Fuchsberg liegt zwischen dem oberstromig gelegenen Wehr Friesacker Luch und dem unterstromig gelegenen Wehr Bartschendorf. Eine Übersichtskarte mit dem Modellgebiet ist in Abbildung 4-5 dargestellt.

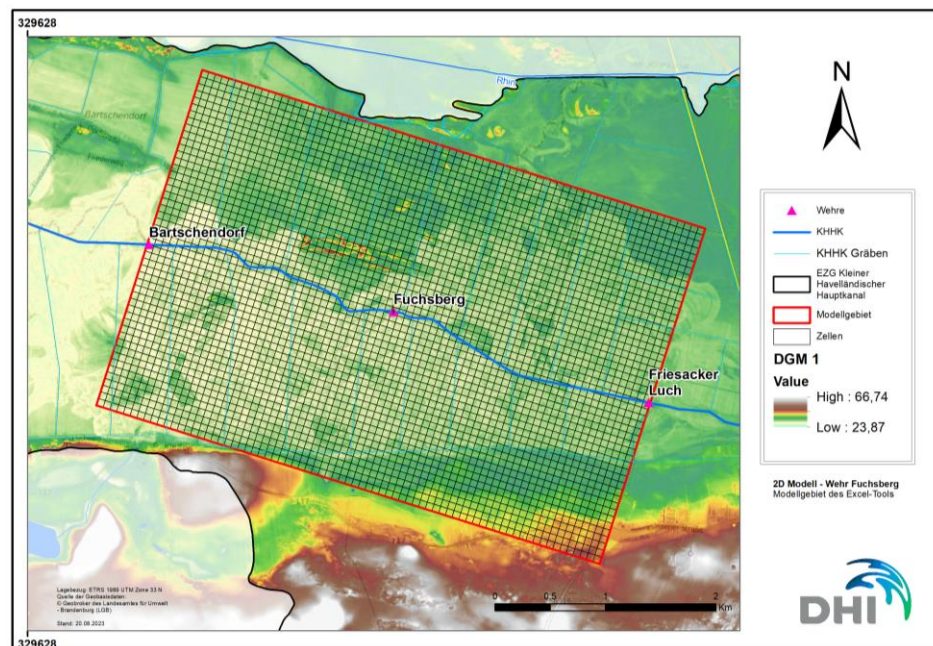


Abbildung 4-5: Modellgebiet für die beispielhafte Anwendung am Wehr Fuchsberg am KHHK.

Für den unteren Abschnitt des Kleinen Havelländischen Hauptkanals wurde 2021 eine Machbarkeitsstudie zur „Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit und zur Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Verbesserung für den KHHK zwischen dem Mahlbusenwehr am Schöpfwerk Klessen und dem Wehr Jahnberge sowie Planung und Umsetzung von gewässerökologischen Maßnahmen“ erstellt /8/. In der Machbarkeitsstudie erfolgten auch Untersuchungen zur Sanierung, Neuerrichtung bzw. dem Rückbau von Wehren. Die Wehre am KHHK sind nicht mehr voll funktionsfähig. Bei der Prüfung zum Umbau oder Rückbau der Wehre lag der Fokus auf der Hochwasserabführung, Maßnahmen zur Niedrigwasservorsorge wurden nicht geprüft. Der KHHK fließt geradlinig durch flaches, landwirtschaftlich geprägtes Gebiet. Die Wehre sind in regelmäßigen Abständen angeordnet. In Zusammenhang mit der Umsetzung des Landesniedrigwasserkonzeptes /1/ im Flussgebiet Rhin ist das Potential für mehr Wasserrückhalt und zur Stützung des Landschaftswasserhaushalts zu betrachten. Zur Abschätzung und als Grundlage für die weitergehende Diskussion mit dem Wasser- und Bodenverband und den Flächenbewirtschaftern bietet sich die dargestellte Methodik zum 2D-Exceltool an. Ziel ist die Ermittlung der Auswirkungen eines höheren Einstaus auf die Grundwasserstände beispielhaft am Wehr Fuchsberg (mögliche Stauzielerreichung nach einer Ertüchtigung des Wehres, s. Abbildung 4-6).



Abbildung 4-6: Wehr Fuchsberg, Blick vom Unterwasser (Foto vom 23.03.2021, entnommen aus der Machbarkeitsstudie /8/)

4.3.2 Ableitung der Eingabeparameter

In Abbildung 4-3 ist die Eingabemaske des Excel-basierten 2D-Tools dargestellt. Die in der Abbildung eingetragenen Werte entsprechen der Beispielanwendung für das Wehr Fuchsberg. Die gewählten Eingabeparameter werden im Folgenden genauer beschrieben.

Diskretisierung

Entsprechend dem Abstand zwischen dem Wehr Bartschendorf und dem Wehr Friesacker Luch hat das Modellgebiet eine Länge von 4.800 m. Die Breite des Modellgebiets orientiert sich mit rund 3.200 m grob an der Ausdehnung der Niederung. Die aufgrund des gewählten Modellgebiets resultierende Größe der Zellen kann Tabelle 4-1 entnommen werden.

Tabelle 4-1: Diskretisierung des Modellgebiets für die Anwendung des Excel-basierten 2D-Tools am Wehr Fuchsberg.

	Zellenanzahl	Zellengröße [m]	Modellgröße [m]
Länge	75	63,71	4.800
Breite	50	63,71	3.200

Geometrie

Für die Geländeoberkante kann jeder Zelle eine Höhe zugeordnet. Die entsprechenden Werte wurden dem Digitalen Geländemodell mit 1 Meter Rasterauflösung entnommen. Die Zuordnung erfolgte über einen GIS Import. Auf Abbildung 4-7 ist eine 3D Darstellung der Geländeoberkante (links) aus dem entsprechenden Tabellenblatt des Excel-Tools sowie eine Kartendarstellung der realen Geländeoberkante (rechts) zu sehen.

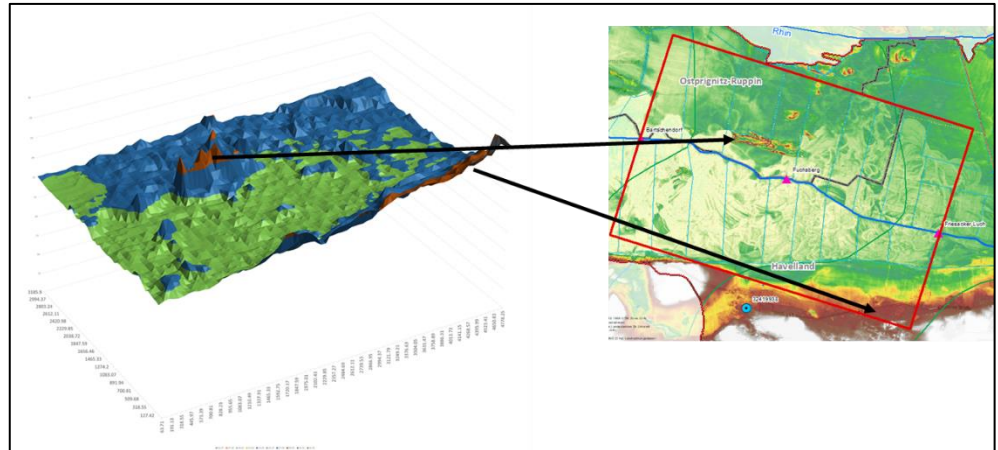


Abbildung 4-7: Import der Geländeoberkante aus dem DGM1.

Festpotentiale

Die Festpotentiale für die Grundwasserstände an den östlichen und westlichen Modellrändern sollten gewissenhaft abgeleitet und ggf. iterativ angepasst werden. In der Regel liegen flächendeckend regionale Grundwassergleichenspläne vor, welche als erster Anhaltspunkt herangezogen werden können.

Im Rahmen des Projektes „Erstellung von Hydroisohypsenplänen für den Hauptgrundwasserleiter 2017“ wurden unter anderem im Frühjahr 2015 Grundwasserstände im Modellgebiet gemessen und Grundwassergleichenspläne abgeleitet. Die Grundwassergleichenspläne für das Frühjahr 2015 sind auf Abbildung 4-8 dargestellt. In der Kartendarstellung ist ersichtlich, wie der Grundwasserleiter in den KHHK entwässert und die Grundwassergleichenspläne entsprechend beeinflusst werden. Diese Beeinflussung wird auch durch das Excel-basierte 2D-Tool berechnet. Folglich sollten nicht immer die tatsächlich gemessenen Grundwasserstände als Festpotential angesetzt werden, sondern es sollte ein Zustand ohne den Einfluss des betrachteten Hauptgewässers rekonstruiert werden. Auf Abbildung 4-8 ist eine entsprechende Rekonstruktion mit in Rot dargestellten Grundwassergleichensplänen ersichtlich.

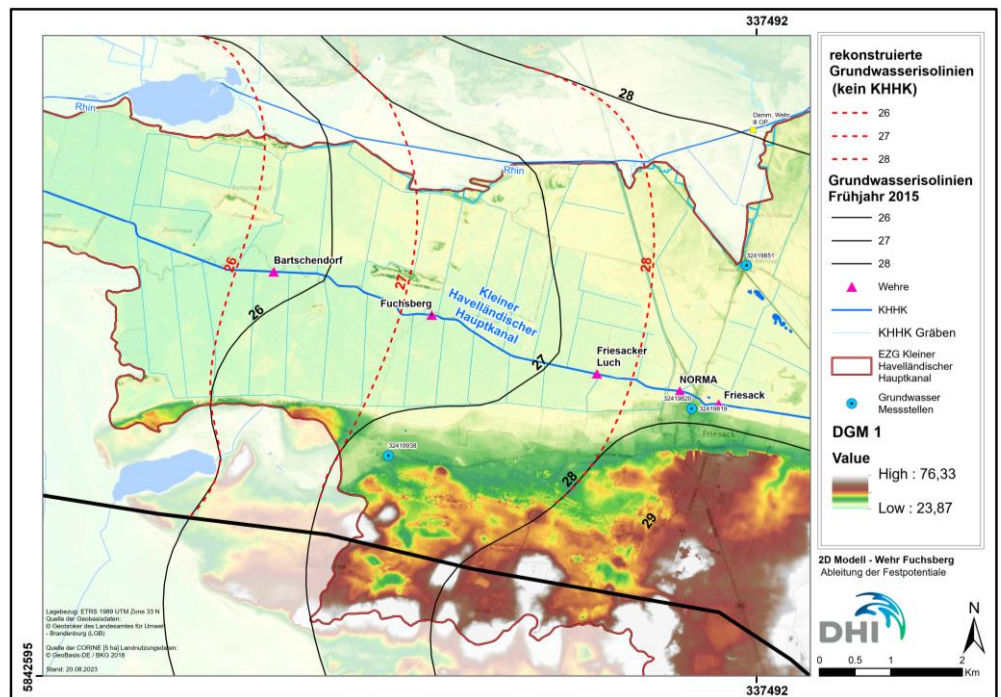


Abbildung 4-8: Aus den Grundwassermessungen im Frühjahr 2015 abgeleitete Grundwassergleichen (schwarz) und eine Rekonstruktion (rot) der Grundwassergleichen ohne Entwässerung in den KHHK.

Entsprechend der Rekonstruktion der Grundwassergleichen ohne Entwässerung in den KHHK wurde im ersten Schritt im Excel-Tool für das Festpotential im Osten der Grundwasserstand mit 27,9 m ü. NHN und im Westen der Grundwasserstand mit 26,2 m ü. NHN angesetzt. Allerdings wurden für diesen Ansatz anfangs Grundwasserdruckhöhen über Gelände innerhalb der tiefer liegenden Bereiche der Talniederung ermittelt. Deshalb wurden in einem zweiten Schritt die Festpotentiale auf 27 m ü. NHN im Osten und 26 m ü. NHN im Westen verringert. Die daraufhin ermittelten Flurabstände zeigten plausible Bandbreiten. Dieser iterative Abgleich der ermittelten Flurabstände und in der Realität beobachteter Vernässungsbereiche kann dazu beitragen, die Unsicherheit in den seitlichen Randbedingungen zu verringern.

Seitlicher Zustrom an den Talflanken

Im Tabellenblatt zur Berechnung und Darstellung der berechneten Grundwasserdruckhöhen ist zusätzlich eine 2D und 3D Darstellung der Grundwasseroberfläche verfügbar. Diese Darstellungen können zusätzlich verwendet werden, um die Krümmung der Grundwasserisolinien und somit den Grundwassergradienten mit frei verfügbaren Grundwasserisohypsenplänen abzugleichen. Ohne die Annahme eines seitlichen Zustroms an den Talflanken verlaufen die Grundwassergleichen nahezu rechtwinklig zu den Modellrändern. In Abbildung 4-8 ist jedoch eine leichte Krümmung der Grundwassergleichen an den Talrändern zu erkennen, welche auf einen geringen lateralen Zustrom im Grundwasserleiter zurückschließen lässt. Folglich wurde iterativ ein Zustrom an den Talflanken von $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ pro Zelle angesetzt, um den erwarteten Verlauf der Grundwassergleichen besser abbilden zu können.

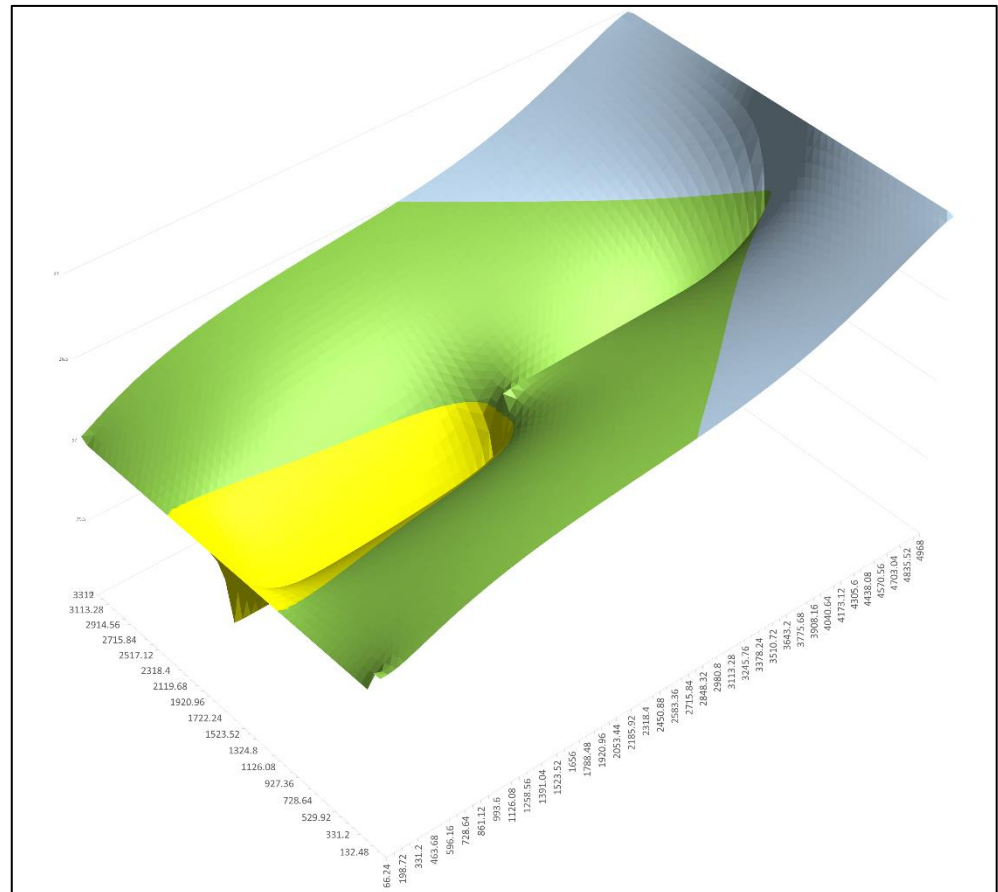


Abbildung 4-9: 3D-Darstellung der berechneten Grundwasseroberfläche.

Hydrogeologie

Für den Durchlässigkeitsbeiwert (k_f Wert) des Grundwasserleiters waren keine Angaben verfügbar. Für die sandigen Böden im Modellgebiet wurde deshalb basierend auf Erfahrungswerten ein k_f Wert von $1 \cdot 10^{-4}$ m/s angesetzt.

Entsprechend der Differenz der Festpotentiale an der östlichen und westlichen Modellgrenze von ca. 1,0 m und einer Länge des Modellgebiets von ca. 5 km beträgt der Grundwassergradient ca. 0,02 %.

Gewässer

Es waren keine Angaben zur benötigten Konduktivität des Flussbetts noch für die Flussbett-Dicke verfügbar. Die Flussbett-Konduktivität wurde deshalb basierend auf Erfahrungswerten annähernd mit $1 \cdot 10^{-6}$ m/s und die Flussbett-Dicke mit 10 cm angenommen.

Am Wehr Fuchsberg wurde aus dem DGM1 ein Querprofil des KHHK erstellt. Anhand des Profils kann eine Gewässerbite von 12 m abgelesen werden. Entsprechend dem Aufbau des Excel-Tools wird die Gewässerbite einheitlich für das Modellgebiet angesetzt.

Wehr

Das Wehr Fuchsberg wird durch zwei Zellen dargestellt, in denen der Wasserstand im Ober- bzw. Unterlauf (Oberwasser OW bzw. Unterwasser UW) angesetzt wird.

Das **Szenario 1** entspricht der aktuellen StauEinstellung am Wehr Fuchsberg mit OW = 26,12 m NHN (Ableitung aus dem DGM1).

Das **Szenario 2** betrachtet ein um 30 cm erhöhtes Stauziel von 26,43 m NHN im Oberlauf des Wehres Fuchsberg.

Das Fließgefälle berechnet sich aus der Differenz aus dem Oberwasserstand eines Wehres und dem Unterwasserstand des Flussaufwärts gelegenen Wehres dividiert durch die Distanz der beiden Wehre. Für das Szenario 1 beträgt das Fließgefälle im Oberwasser des Wehres Fuchsberg $2,2 \cdot 10^{-5}$ m/m und im Unterwasser $1,6 \cdot 10^{-5}$ m/m. Für das Szenario 2 ändert sich das Fließgefälle im Unterwasser nicht. Da für das Szenario 2 das höhere Stauziel angenommen wird, liegt der mittlere Wasserstand im Unterwasser des Wehres Friesacker Luch unterhalb des Stauziels im Oberwasser des Wehres Fuchsberg. Daher wurde auch für das Fließgefälle im Oberwasser der Wert aus Szenario 1 übernommen und in beiden Szenarien das gleiche Fließgefälle angesetzt.

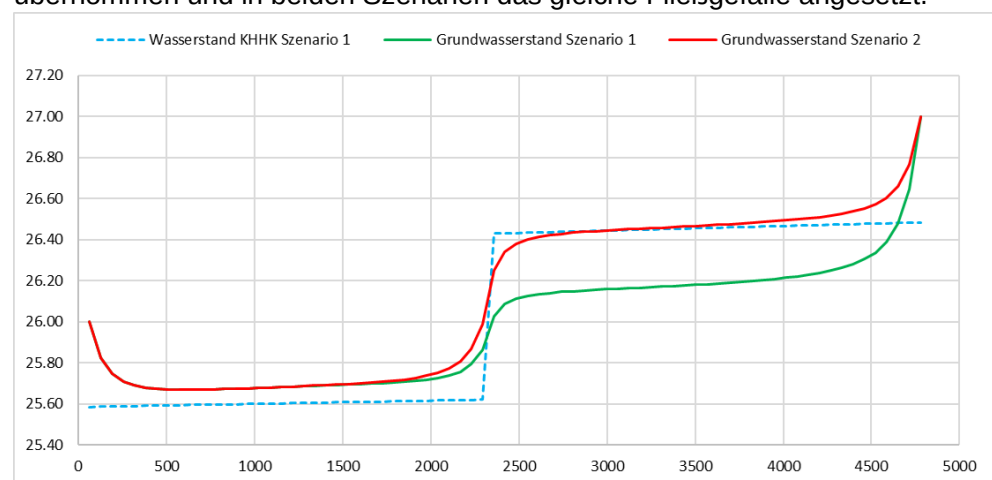


Abbildung 4-10: Schematischer Längsschnitt entlang des KHHK.

Effektives Porenvolumen (zusätzliche Eingabemaske)

Für das effektive Porenvolumen, dass in die Berechnung der zurückgehaltenen Wassermenge eingeht, wird aufgrund der sandigen Böden im Modellgebiet ein Wert von 0,25 gewählt.

4.3.3 Ergebnisse

Das Differenzendiagramm in Abbildung 4-11 stellt die Auswirkung durch das Erreichen des Stauziels (Szenario 2) von 26,43 m NHN am Wehr Fuchsberg im Vergleich zum Istzustand (Szenario 1) mit einem mittleren Wasserstand im Oberwasser des Wehr Fuchsberg von 26,12 m NHN dar.

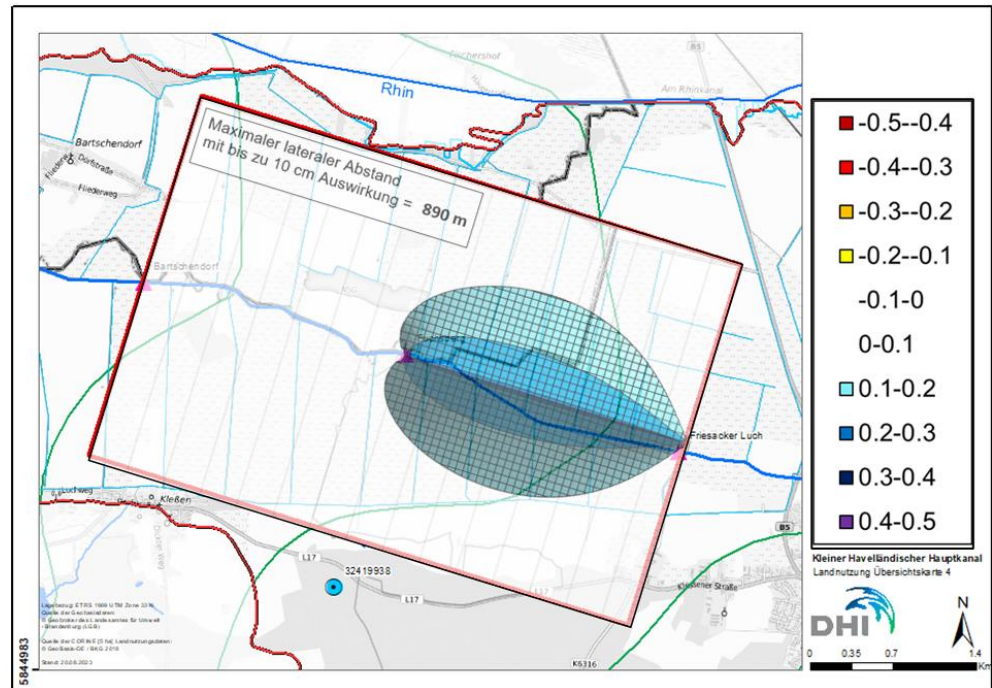


Abbildung 4-11: Differenzendiagramm - Auswirkung durch das Erreichen des Stauziels (Szenario 2) am Wehr Fuchsberg im Vergleich zum Istzustand (Szenario 1).

Die Differenz der Grundwasserstände ist mit Isolinien in 10 cm Schritten dargestellt. Zusätzlich wird der maximale laterale Abstand mit bis zu 10 cm Auswirkung mit 890 m angegeben.

In Abbildung 4-12 wird der Flurabstand (Abstand zwischen der Geländeoberkante und dem Grundwasserstand) für den Ist-Zustand (Szenario 1) dargestellt. Zonen mit Flurabständen deutlich unter Gelände sind grün dargestellt. Diese befinden sich entsprechend der höheren Geländehöhen im südöstlichen und nordwestlichen Bereich des Modellgebiets. Mit geringer werdendem Flurabstand wird die Färbung heller und geht nahe der Geländeoberkante vom Gelben ins Rote über. Berechnete Grundwasserdruckhöhen über Gelände werden hellblau dargestellt und deuten auf eine mögliche Vernässung hin.

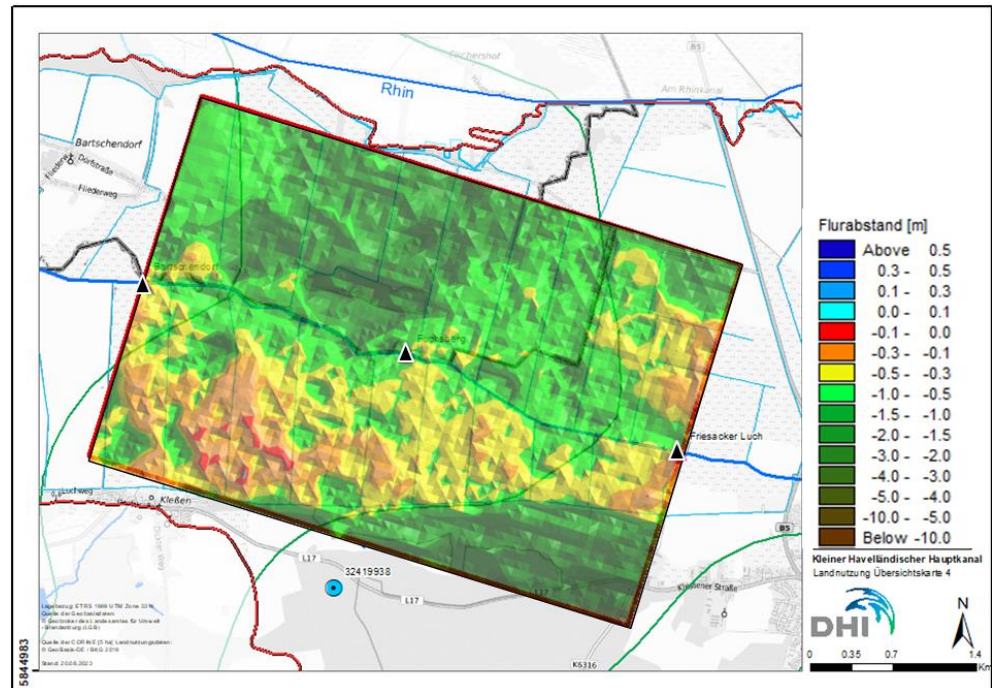


Abbildung 4-12: Flurabstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasserstand für den Istzustand (Szenario 1).

Auf Abbildung 4-13 wird der Abstand zwischen der Geländeoberkante und dem Grundwasserstand (Flurabstand) für das Erreichen des Stauziels (Szenario 2) dargestellt. Im Vergleich zur Abbildung 4-12 sind insbesondere im Oberstrom des Wehres Fuchsberg im Zentrum des Modellgebiets geringere Flurabstände durch einen größeren Anteil an orangenen und gelben Flächen zu sehen.

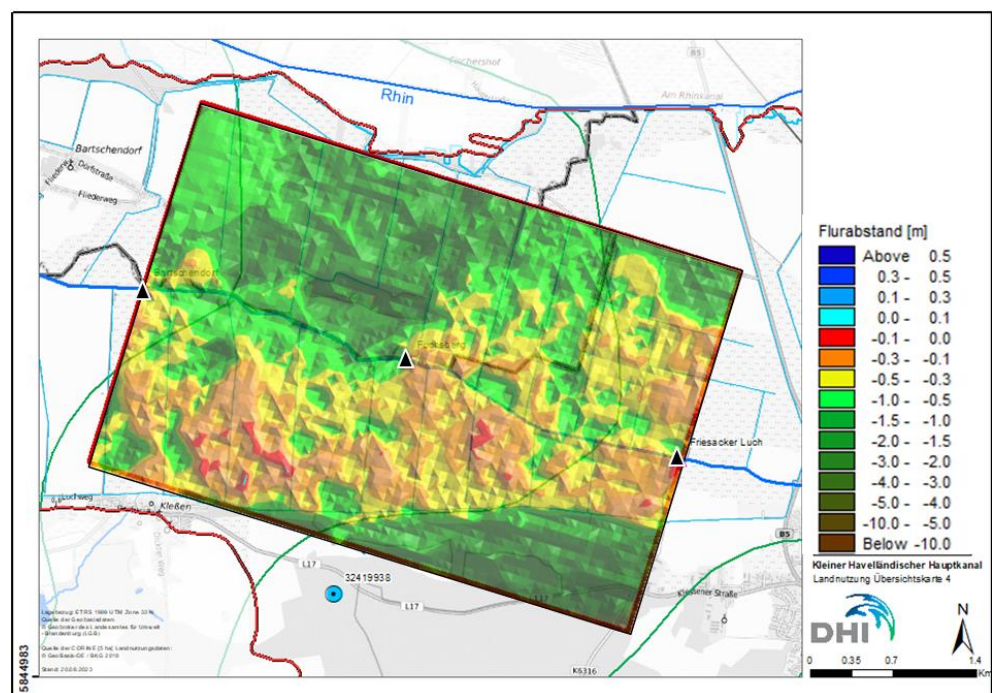


Abbildung 4-13: Flurabstand zwischen Geländeoberkante und Grundwasserstand für das Erreichen des Stauziels (Szenario 2).

Der Vergleich der beiden Szenarien zeigt, dass durch das Erreichen des Stauziels im Oberstrom des Wehr Fuchsberg, das Grundwasserniveau in einem elliptischen Einflussbereich im Oberwasser des Wehrs um bis zu 30 cm steigt. Die Auswirkung eines Grundwasseraufstaus von bis zu 10 cm Auswirkung hat eine laterale Ausdehnung von 890 m.

Ausgehend von einem effektiven Porenvolumen von 25 Vol-%, beträgt die zurückgehaltene Wassermenge, die aufgrund des Erreichens des Stauziels anfällt, rund 228.300 m³.

4.4 Einschränkungen und Grenzen des Excel-Tools

Wie eingangs in Kapitel 4.1 beschrieben, benötigt die Anwendung des Excel-Tools starke Vereinfachungen, um die Berechnung als Tabellenblatt zu ermöglichen. Auf Grund der groben Auflösung ist es nur bedingt möglich, den Einfluss kleinerer Seitengräben mit abzubilden. Somit ist tendenziell mit einer leichten Überschätzung der ermittelten Auswirkungen sowie des möglichen Wasserrückhalts mit dem Excel-Tool zu rechnen.

Zusätzlich müssen viele Annahmen bezüglich der Untergrundkennwerte und randlicher Grundwasserstände getroffen werden, welche ebenfalls einen starken Einfluss auf die Ergebnisse haben können. Deshalb ist es zwingend erforderlich, dass auch diese vereinfachte Anwendung von Fachpersonal durchgeführt wird, welches ein grundlegendes hydrogeologisches Sachverständnis aufweist. Unplausible Annahmen der Untergrunddurchlässigkeit oder der seitlichen Grundwasserstände können zu unplausiblen Ergebnissen führen.

Die Anwendung sollte gewissenhaft durch iterative Überprüfung der Ergebnisse auf Plausibilität und ggf. erneute Anpassung der getroffenen Annahmen erfolgen.

Bei der Anwendung des Excel-Tools sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- starke Abstraktion der Geometrie, um die Berechnung als Tabellenblatt zu ermöglichen (möglichst geradlinige Flussverläufe),
- Anpassungen der „Geometrie“ (Verringerung oder Erweiterung Zellen/Spalten) sind sehr aufwendig, da viele Verlinkungen zwischen den Tabellenblättern bestehen,
- saubere Ableitung der Grundwasserrandbedingungen notwendig (!),
- laterale Randzuströme können nur indirekt über Brunnen-Randbedingungen oder erhöhte Neubildung an den Rändern umgesetzt werden,
- bei zu starken Auswirkungen können die Differenzen bis an den Rand reichen,
- belastbare Ergebnisse der Auswirkungen vorwiegend nur im zentralen Bereich des Tabellenblatts/der Matrix,
- Übertrag einer Topografie oder anderen Werten aus dem GIS ins Excel/Übertrag der Differenzen aus dem Excel ins GIS ist möglich, benötigt aber bestimmte Arbeitsschritte.

Das vorgestellte Excel-Tool bietet sich für die Untersuchung zahlreicher Standorte in den Meliorationsgebieten in Brandenburg ähnlich dem Wehr Fuchsberg an, wo überall analog die Fragstellungen zur Ertüchtigung eines maroden Wehres und den Potentialen eines höheren Einstaus auf die Erhöhung der Grundwasserstände und des Wasserrückhalts bestehen. Die Abschätzung der Reichweite von höheren Stauzielen und die resultierenden Flurabstände bilden eine wesentliche Grundlage für die weitergehende Diskussion mit den Flächenbewirtschaftern (s.a. Abbildung 4-14).

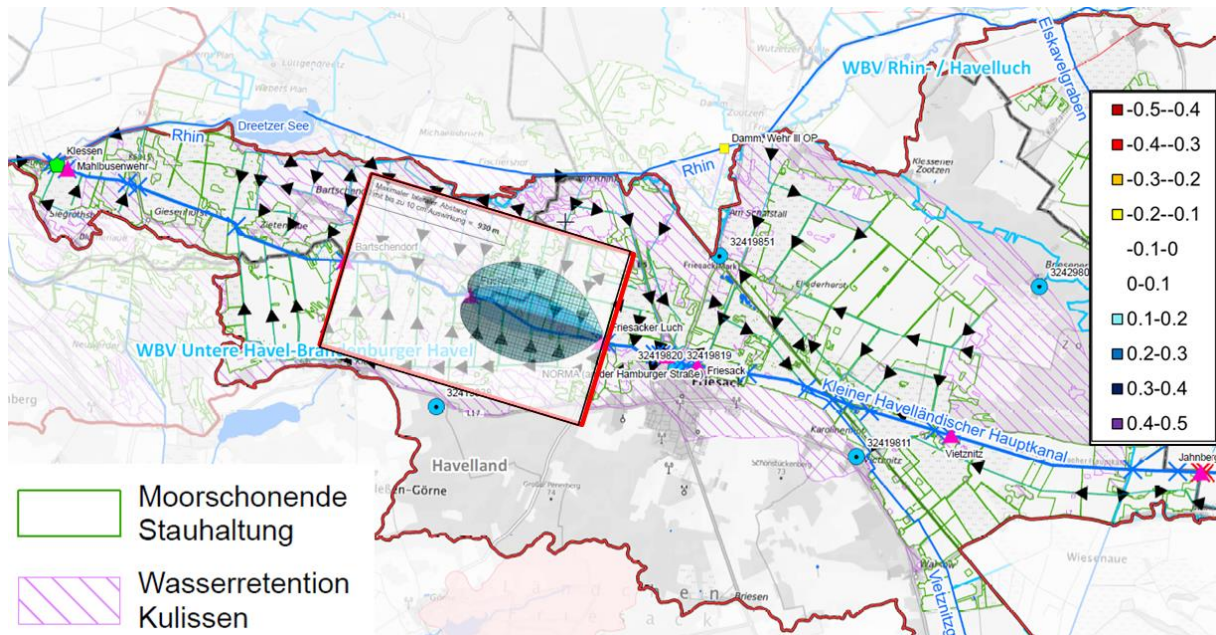


Abbildung 4-14: Nutzung der Ergebnisse zur Abschätzung der Auswirkungen von höheren Stauzielen für die Diskussion mit den Flächenbewirtschaftern zur Erhöhung des Wasserrückhalts in den Flächenkulissen der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) am Beispiel des Wehr Fuchsberg im KHHK.

5 Literaturverzeichnis

- /1/ MLUK (2021): Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, Landesniedrigwasserkonzept Brandenburg, 15.02.2021.
<https://mluk.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Landesniedrigwasserkonzept-Brandenburg.pdf>
- /2/ Dörter, K. et al. (1986): Pflanzenproduktion, Landwirtschaftliche Melioration, (Als Lehrbuch für die Ausbildung an den Universitäten und Hochschulen der DDR). – VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 316 S.
- /3/ LfU (2023): Präsentation UVZV 2-Vorhaben Nieplitz - Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Standort Wehr Beelitz und Verbesserung der Gewässerstruktur zwischen Fließ-km 19+200 bis 18+500. Landesamt für Umwelt, W26, M. Mertens, Potsdam, 14.07.2023.
- /4/ THN (2023): Unterlagen zu analytischen Methoden zur Abschätzung der Auswirkung auf das Grundwasser durch Gewässereinstau in Meliorationsgebieten. Technische Hochschule Nürnberg, August 2023, unveröffentlicht.
- /5/ IPROconsult GmbH (2022): Entwurfs- und Genehmigungsplanung für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Wehr Beelitz und Verbesserung der Gewässerstruktur zwischen Fließ-km 19+200 und 18+500. IPROconsult GmbH, Berlin, 12.04.2022.
- /6/ LfU (2022): Plangenehmigung OWB/051/19/PG für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Wehr Beelitz und die Verbesserung der Gewässerstruktur zwischen Fließ-km 19+200 und 18+500. Landesamt für Umwelt, Obere Wasserbehörde, Potsdam, 22.12.2022.
- /7/ WBV Nuthe-Nieplitz (2012): Wasserstandsplan für das Einzugsgebiet Nuthe-Nieplitz. Wasser- und Bodenverband Nuthe-Nieplitz, Großbeuthen, 21.12.2021.
- /8/ Wasser - Boden – Landschaft (2021): Machbarkeitsstudie zur Untersuchung der hydraulischen Leistungsfähigkeit und zur Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Verbesserung für den KHHK zwischen dem Mahlbuserwehr am Schöpfwerk Klessen und dem Wehr Jahnberge sowie Planung und Umsetzung von gewässerökologischen Maßnahmen. Ingenieurbüro Wasser - Boden – Landschaft, Potsdam, November 2021.

Anhang

Mit dem Bericht werden folgende Dokumente zum excelbasierten 2D-Tool übergeben:

- 20240314_Tool_2D_GWM_Unconfined_Excel.xlsx
- 20240314_Tool_2D_GWM_Unconfined_Excel_Doku_GIS.pdf