



## Ergebnisbericht

**Vorhaben:** Revitalisierung der Schnellen Havel

**Maßnahme:** Bewertung der geohydraulischen Wirkung der  
Wehre in der Schnellen Havel auf die  
Grundwasserdynamik

**Auftraggeber:** Büro für Ingenieurbiologie, Umweltplanung und Wasserbau  
Kovalev & Spundflasch  
Hönower Straße 79  
12623 Berlin

**Datum/Rev.:** 2015-07-22, rev. 1

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. M. Rembe

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "M. Rembe".

M. Rembe  
Dipl.-Ingenieur

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
1 Grundlagen .....	4
1.1 Veranlassung .....	4
1.2 Lage der Profile .....	4
1.3 Lage der Wehre .....	6
1.4 Untersuchte Szenarios .....	7
1.5 Generelle Vorgehensweise .....	8
1.5.1 Aufbau der Vertikalschnittmodelle .....	8
1.5.2 Simulation Winterhochwasser Profile 1 und 2 .....	8
1.5.3 Hydrogeologische Bewertung Profile 3, 4 und 5 .....	11
1.5.4 Simulation des Sommerhochwassers Profile 3, 4 und 5 .....	12
1.6 Simulationsprogramm .....	14
1.7 Verwendete Unterlagen/Quellen .....	14
1.8 Koordinatensystem .....	15
2 Bewertung eines Winterhochwassers .....	15
2.1 Vertikalschnittmodell Profil 1 .....	15
2.1.1 Modellaufbau .....	15
2.1.2 Simulation des Jahresgangs .....	20
2.1.2.1 Quasi stationäre Strömung .....	20
2.1.2.2 Zeitabhängige Strömung .....	23
2.2 Vertikalschnittmodell Profil 2 .....	25
2.2.1 Modellaufbau .....	25
2.2.2 Simulation des Jahresgangs .....	30
2.2.2.1 Quasi stationäre Strömung .....	30
2.2.2.2 Zeitabhängige Strömung .....	33
2.3 Bewertung .....	35
3 Hydrogeologische Bewertung der Wirkung der Wehre .....	37
3.1 Vertikalschnittmodell Profil 3 .....	37
3.1.1 Modellaufbau .....	37
3.1.2 Szenario 1: Aktives Wehr .....	41
3.1.2.1 Quasi stationäre Strömung .....	41
3.1.2.2 Zeitabhängige Strömung .....	43
3.1.3 Szenario 2: Ohne Wehr .....	46
3.1.3.1 Quasi stationäre Strömung .....	46
3.1.3.2 Zeitabhängige Strömung .....	47
3.1.4 Bewertung .....	49
3.2 Vertikalschnittmodell Profil 4 .....	51
3.2.1 Modellaufbau .....	51
3.2.2 Szenario 1: Aktives Wehr .....	55

3.2.2.1	Quasi stationäre Strömung .....	55
3.2.2.2	Zeitabhängige Strömung .....	56
3.2.3	Szenario 2: Ohne Wehr .....	59
3.2.3.1	Quasi stationäre Strömung .....	59
3.2.3.2	Zeitabhängige Strömung .....	60
3.2.4	Bewertung .....	62
3.3	Vertikalschnittmodell Profil 5.....	64
3.3.1	Modellaufbau .....	64
3.3.2	Szenario 1: Aktives Wehr .....	68
3.3.2.1	Quasi stationäre Strömung .....	68
3.3.2.2	Zeitabhängige Strömung .....	70
3.3.3	Szenario 2: Ohne Wehr .....	73
3.3.3.1	Quasi stationäre Strömung .....	73
3.3.3.2	Zeitabhängige Strömung .....	74
3.3.4	Bewertung .....	76
4	Simulation des Sommerhochwassers Profile 3, 4 und 5 .....	78
4.1	Vertikalschnittmodell Profil 3.....	78
4.1.1	Modellaufbau .....	78
4.1.2	Simulationsergebnisse .....	80
4.2	Vertikalschnittmodell Profil 4.....	82
4.2.1	Modellaufbau .....	82
4.2.2	Simulationsergebnisse .....	84
4.3	Vertikalschnittmodell Profil 5.....	87
4.3.1	Modellaufbau .....	87
4.3.2	Simulationsergebnisse .....	88
5	Zusammenfassung.....	91
6	Empfehlungen .....	92
	Abbildungsverzeichnis.....	93
	Tabellenverzeichnis.....	97
	Anlagenverzeichnis.....	98

## **1 Grundlagen**

### **1.1 Veranlassung**

Für die Revitalisierung der Schnellen Havel werden Maßnahmen entwickelt und umgesetzt, um die Ziele der WRRL zu erreichen. Dabei ist die Einhaltung von Mindestabflüssen in der Schnellen Havel Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung zahlreicher geplanter Maßnahmen [U9].

Mit den durch den 4. NT zur Renaturierung der Schnellen Havel beauftragten modelltechnischen Untersuchungen sollen folgende Abschätzungen vorgenommen werden:

1. Quantifizierung der Befüllungs- bzw. Entleerungseigenschaften des Grundwasserspeichers bei Winterhochwasser (Profile 1+2)
2. Vergleich der Auswirkungen auf den Grundwasserstand durch eine fachgerechte Wehrsteuerung an den Standorten Neuholland, Maihof und Knüppeldamm mit dem Ersatz durch Stützschnellen bzw. einem Altarmanschluss am Standort Maihof (Profile 3 bis 5)
3. Vergleich der Auswirkungen auf den Grundwasserstand durch eine offene Wehrstellung an den Standorten Neuholland, Maihof und Knüppeldamm mit dem Ersatz durch Stützschnellen bzw. einem Altarmanschluss (Maihof)

Für die Untersuchungen I bis III werden im Nachfolgenden die Kurzbezeichnungen verwendet:

1. Winterhochwasser unabhängig von Wehren
2. Jahresgang der Abflüsse aktuell / Vergleich Wehre mit Stützschnellen bzw. Altarmanschluss
3. Sommerhochwasser / Vergleich Wehre mit Stützschnellen bzw. Altarmanschluss

### **1.2 Lage der Profile**

Die Lage der Profile zeigen Abbildung 1 und Abbildung 2. Ihre Lage im Rückstau der zu untersuchenden Wehre wurde gemeinsam mit dem LUGV festgelegt, so dass sie entlang generalisierter Stromlinien senkrecht zu den verallgemeinerten Grundwasserisohypsen des Grundwasserisohypsenplanes des Landes verlaufen.

Die gewählte Darstellung der Grundwasserdynamik durch Vertikalschnittmodelle setzt voraus, dass die Vertikalschnitte immer entlang von Stromlinien verlaufen, also keine Querströmung senkrecht zum Profil auftritt. Diese Vereinfachung ist für eine langjährig mittlere Grundwasserdynamik gegeben und gestattet somit den gewählten Ansatz. Dieser stellt einen Kompromiss zwischen Aufwand der Bearbeitung, der bei einer 3D Modellierung wesentlich größer wäre, dem erzielten Nutzen sowie der Datengrundlage dar.

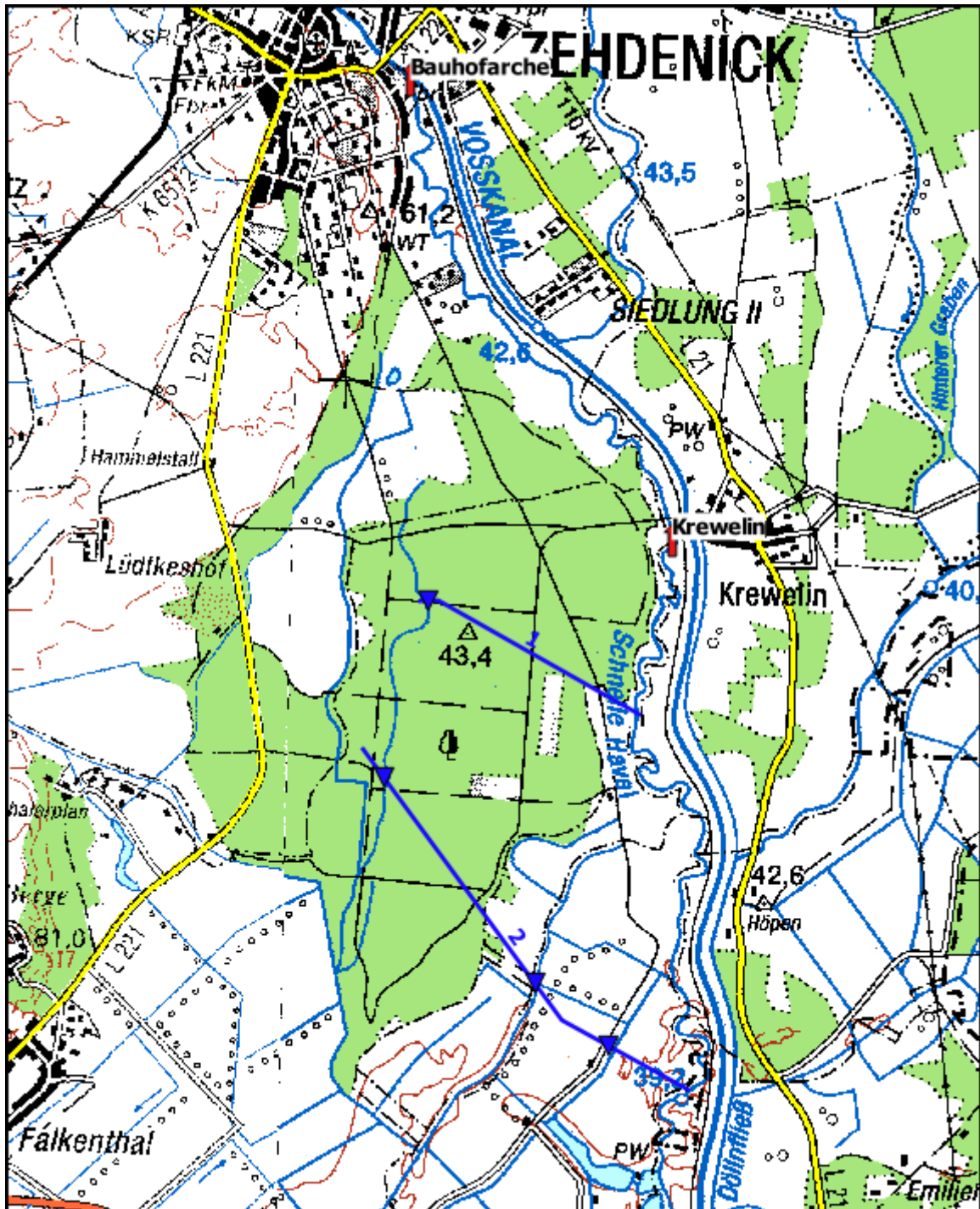


Abbildung 1: Lage der Profile 1 und 2 sowie der Wehre Bauhofarche und Krewelin (rückgebaut)

Die Profile 1 und 2 queren die Schnelle Havel an folgenden Stationen:

- Profil 1: +37,3 km
- Profil 2: +31,72 km



- Wehr Neuholland: +23,5 km
- Wehr Maihof: +20,2 km
- Wehr Knüppeldamm: +17,45 km

## 1.4 Untersuchte Szenarios

Die modelltechnischen Untersuchungen gliedern sich in drei Themenschwerpunkte:

1. Winterhochwasser unabhängig von Wehren
2. Jahrgang der Abflüsse aktuell / Vergleich Wehre mit Stützwällen bzw. Altarmanschluss
3. Sommerhochwasser / Vergleich Wehre mit Stützwällen bzw. Altarmanschluss

### 1. Winterhochwasser unabhängig von Wehren

Ausgehend von einem quasi-stationären Ausgangszustand mit einer mittleren Grundwasserneubildung und einem abgesenkten Wasserspiegel in der Vorflut wird die Grundwasserspiegelentwicklung über das hydrologische Jahr simuliert. Dazu werden die mittleren monatlichen Sickerwasserraten [U6] als Grundwasserneubildung und die zeitabhängigen Vorflutwasserstände angesetzt.

Für das Winterhochwasser in der Schnellen Havel wurde eine vereinfachte synthetische Oberflächenwasserspiegelhöhe in der Schnellen Havel und der Talau während des Winterhochwassers Januar (Befüllung,  $HQ=8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) bis April (Entleerung) angenommen. Mai bis Dezember herrscht ein mittlerer Abfluss  $MQ=1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der berücksichtigte Abfluss für MQ orientiert sich an dem aktuell angestrebten MQ.

### 2. Jahrgang der Abflüsse aktuell / Vergleich Wehre mit Stützwällen bzw. Altarmanschluss

Zielstellung der Untersuchungen war, eine hydrogeologische Bewertung des Einflusses der Wehre Neuholland (Profil3), Maihof (Profil 4) und Knüppeldamm (Profil 5) sowie ihres Rückbaus auf die Grundwasserdynamik im direkten Umfeld der Wehre vorzunehmen.

Ausgehend von einem quasi-stationären Ausgangszustand mit einer mittleren Grundwasserneubildung und einem abgesenkten Wasserspiegel in der Vorflut wird die Grundwasserspiegelentwicklung über das hydrologische Jahr simuliert. Dazu werden die mittleren monatlichen Sickerwasserraten [U6] als Grundwasserneubildung und die zeitabhängigen Vorflutwasserstände angesetzt. Die Vorflutwasserstände repräsentieren das vereinfachte aktuelle Regime sowie das Regime mit rückgebauten Wehren.

### 3. Sommerhochwasser / Vergleich Wehre mit Stützwällen bzw. Altarmanschluss

Als Sommerhochwasser wurde ein hypothetisches Sommerhochwasser in der Schnellen Havel in Anlehnung an das Sommerhochwasser August 2002 ([http://de.wikipedia.org/wiki/Hochwasser\\_in\\_Mitteleuropa\\_2002](http://de.wikipedia.org/wiki/Hochwasser_in_Mitteleuropa_2002)) generiert.

Ausgehend von einem quasi-stationären Ausgangszustand mit einer mittleren Grundwasserneubildung und einem abgesenkten Wasserspiegel in der Vorflut wird die Grundwasserspiegelentwicklung über den Zeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2003 simuliert. Dazu werden die mittleren täglichen Sickerwasserraten [U12] als Grundwasserneubildung und die zeitabhängigen Vorflutwasserstände angesetzt.

Die zeitabhängigen Vorflutwasserstände sind zunächst übereinstimmend mit den untersuchten Szenarios aus „II. Wirkung der Wehre Neuholland, Maihof und Knüppeldamm“. Über den Zeitraum vom 11.08.2002 bis 31.08.2022 wurde die synthetische Hochwasserwelle in der Schnellen Havel in die Daten eingearbeitet.

## **1.5 Generelle Vorgehensweise**

### *1.5.1 Aufbau der Vertikalschnittmodelle*

Für den Aufbau der Vertikalschnittmodelle wurde das Profil der Geländeoberkante aus dem DGM1 ermittelt und als Oberkante des obersten Grundwasserleiters angesetzt. Die Vertikalschnittmodelle repräsentieren den obersten Grundwasserleiter und werden deshalb durch die Unterkante des Obersten Grundwasserleiters oder weiter gefasst durch den liegenden Grundwasserstauerkomplex begrenzt.

Die Information über den vertikalen Aufbau des Untergrundes wurde standortspezifisch den Aufschlussdaten des Landesmessnetzes entnommen.

Entsprechend der hydrogeologischen Situation erfolgte der Ansatz der hydrogeologischen Kennwerte (Durchlässigkeitsbeiwert, Porosität).

Wesentliche Randbedingungen sind die Grundwasserneubildung und die Vorflutrandoberbedingungen. Die mittleren monatlichen Grundwasserneubildungsraten (Sickerwasserraten) wurden für die Profile aus dem Landesmodell [U6] für die Zeitreihe 1971 – 2005 ermittelt.

### *1.5.2 Simulation Winterhochwasser Profile 1 und 2*

Bemessungsgrundlage für das Winterhochwasser ist die quasi stationäre Auenfüllung bei einem Abfluss in der Schnellen Havel von 8 m<sup>3</sup>/s. Die zutreffenden Wasserspiegelhöhen wurden gemäß der Wasserspiegellagenberechnung [U11] berücksichtigt. Die konkreten Wasserspiegelhöhen für die Profile 1 bis 5 dokumentiert Tabelle 1.



**Tabelle 1: Oberflächenwasserspiegelhöhen in der Schnellen Havel an den Querungen der Profile 1 bis 5**

<b>Abfluss [m³/s]</b>	<b>Station</b>	<b>17+998</b>	<b>20+709</b>	<b>24+101</b>	<b>31+785</b>	<b>37+335</b>
1	mit	35,40	36,21	37,47	38,91	39,56
	ohne	35,40	36,21	37,47	38,91	39,55
1,5	mit	35,63	36,53	37,54	39,10	39,81
	ohne	35,63	36,53	37,54	39,10	39,79
2	mit	35,81	36,67	37,65	39,27	40,02
	ohne	35,81	36,67	37,65	39,27	40,00
3	mit	36,12	36,92	37,90	39,57	40,38
	ohne	36,12	36,92	37,90	39,57	40,36
4	mit	36,41	37,16	38,13	39,84	40,69
	ohne	36,41	37,16	38,13	39,84	40,66
6	mit	36,81	37,50	38,44	40,24	41,21
	ohne	36,81	37,50	38,44	40,24	41,16
8	mit	37,09	37,69	38,62	40,4	41,47
	ohne	37,09	37,69	38,62	40,40	41,47
9	mit	37,32	34,76	38,69	40,45	41,54
	ohne	37,20	37,76	38,69	40,45	41,54
Schnelle Havel - Vergleich der WSP <u>mit</u> und <u>ohne</u> Altarmanschluss						

Für den Ansatz des Oberflächenwasserspiegels der Schnellen Havel war die Generierung einer idealisierten synthetischen Ganglinie erforderlich. Grundlage ist ein mit dem AG abgestimmtes Szenario für die gezielte Einleitung eines Winterhochwassers:

- November bis Dezember: Normalwasser MQ=1,5 m³/s
- Januar-März: Winterhochwasser HQ=8 m³/s mit einer linearen Auffüllphase über 14 Tage
- April: Entleerungsphase über 4 Wochen als Exponentialfunktion

Die Näherung der Entleerungsphase über 30 Tage erfolgte durch den Ansatz folgender Funktion (Parameter exemplarisch für das Profil 1):

$$y = \frac{a}{b \cdot x + c} + n$$

mit:	y	Oberflächenwasserspiegelhöhe [m]
	x	Zeit [d]
	a	Faktor [m]; a=12,24 m
	b	Faktor [1/d]; b=1 1/d
	c	Summand; c=5
	n	Summand [m]; n=39,46 m

Die daraus resultierenden Oberflächenwasserspiegelhöhen wurden als Randbedingung 3. Art (potentialabhängiger Volumenstrom) angesetzt. Dabei wurde berücksichtigt, dass sich die Überflutungsfläche mit steigendem Wasserspiegel lateral ausweitet und dass bei einem Rückgang des Wassersiegels der Grundwasserleiter an Böschungen frei ausläuft. Folgender Ansatz wurde gewählt:

$$q = \begin{cases} H_{SH} > H_{GOK}: (H_{SH} - H_{GW}) \cdot \frac{k_f}{M} \cdot B \\ H_{SH} \leq H_{GOK}: \begin{cases} H_{GW} > H_{GOK}: (H_{GOK} - H_{GW}) \cdot \frac{k_f}{M} \cdot B \\ H_{GW} \leq H_{GOK}: 0 \end{cases} \end{cases}$$

mit:	q	spezifischer Volumenstrom bezogen auf 1 m Profillänge [m <sup>3</sup> /(m·s)]
	k <sub>f</sub>	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]; des Grundwasserleiters
	M	Mächtigkeit der Kolmationsschicht [m]; 0,1 m
	B	Breite des Profils [m]; Breite 1 m
	H <sub>SH</sub>	Potentialhöhe der Schnellen Havel [m]
	H <sub>GOK</sub>	Höhe der Geländeoberkante [m]
	H <sub>GW</sub>	Grundwasserspiegelhöhe [m]

Die Integration über die Profillänge L erfolgt durch das Lösungsverfahren.

Das generalisierte Betriebsregime der wasserwirtschaftlichen Anlagen und der Grabenstau wurde wie folgt berücksichtigt:

- bis Juni abgesenkte Wasserspiegel (Wehr offen) für die landwirtschaftliche Nutzung
- Juli/August eingestaute Wasserspiegel (Wehr geschlossen)
- ab September abgesenkte Wasserspiegel in den Meliorationsgräben (Wehr offen) für die landwirtschaftliche Nutzung

Vereinfacht wurde für die Grabenstau eine Staulamelle von 0,7 m angenommen. Der eingestaute Wasserspiegel liegt 0,3 m unter Flur, der abgesenkte Wasserspiegel 1 m unter Flur.

Ausgehend von einer stationären Strömung wurde der Jahresgang für drei hydrologische Jahre gerechnet, um das Einschwingen des Systems zu gewährleisten. Die Auswertung der Ergebnisse wurde für das dritte Jahr vorgenommen.

Simulations- und Ausgabezeiten sind:

Beginn hydrologisches Jahr, 1. November:	0 d
1. Dezember:	30 d
1. Januar:	61 d
1. Februar:	92 d
1. April:	181,25 d
1. Juli:	242,25 d
1. August:	273,25 d
1. September:	304,25 d
1. November:	365,25 d

### 1.5.3 Hydrogeologische Bewertung Profile 3, 4 und 5

Entsprechend den zu untersuchenden Szenarios I mit Wehr und II rückgebautes Wehr wurden die Vorflutwasserstände für die Schnelle Havel, die Meliorationsgräben und andere Vorfluter (z.B. Liebenwalder Havelableiter) aus der Wasserspiegellagenberechnung [U11] oder dem DGM1 ermittelt.

Das generalisierte Betriebsregime der wasserwirtschaftlichen Anlagen und der Grabenstau orientiert sich an den aktuellen Abflüssen und es wird eine fachgerechte (wasserwirtschaftlich vorsorgend) Steuerung der wehre angenommen. Die durch das Modell berücksichtigte Ideallinie der Bewirtschaftung wird folgendermaßen charakterisiert:

- bis Juni abgesenkte Wasserspiegel (Wehr offen) für die landwirtschaftliche Nutzung
- Juli/August eingestaute Wasserspiegel (Wehr geschlossen)
- ab September abgesenkte Wasserspiegel in den Meliorationsgräben (Wehr offen) für die landwirtschaftliche Nutzung
- die Oberflächenwasserspiegel der Schnellen Havel für die Profile resultieren standortspezifisch aus der Wasserspiegellagenberechnung [U11]

Vereinfacht wurde für die Grabenstau eine Staulamelle von 0,7 m angenommen. Der eingestaute Wasserspiegel liegt 0,3 m unter Flur, der abgesenkte Wasserspiegel 1 m unter Flur.

Im Szenario b sind die Wehre in der Schnellen Havel rückgebaut, das Regime der Grabenstau ist unverändert. Bewertet wurden also Auswirkungen bei bestmöglicher Ausnutzung der technischen Möglichkeiten der Wehre für den Wasserrückhalt und die Stabilisierung der Wasserstände für die Nutzer.

Es wurde zunächst auf der Grundlage abgesenkter Oberflächenwasserspiegel die Grundwasserdynamik für eine quasi stationäre Strömung ermittelt. Ausgehend von dieser Lösung wurde die zeitabhängige Strömung für drei hydrologische Jahre gerechnet. Die ersten zwei Jahre dienen dem einschwingen des Modells. Das dritte Jahr wurde für die Bewertung herangezogen.

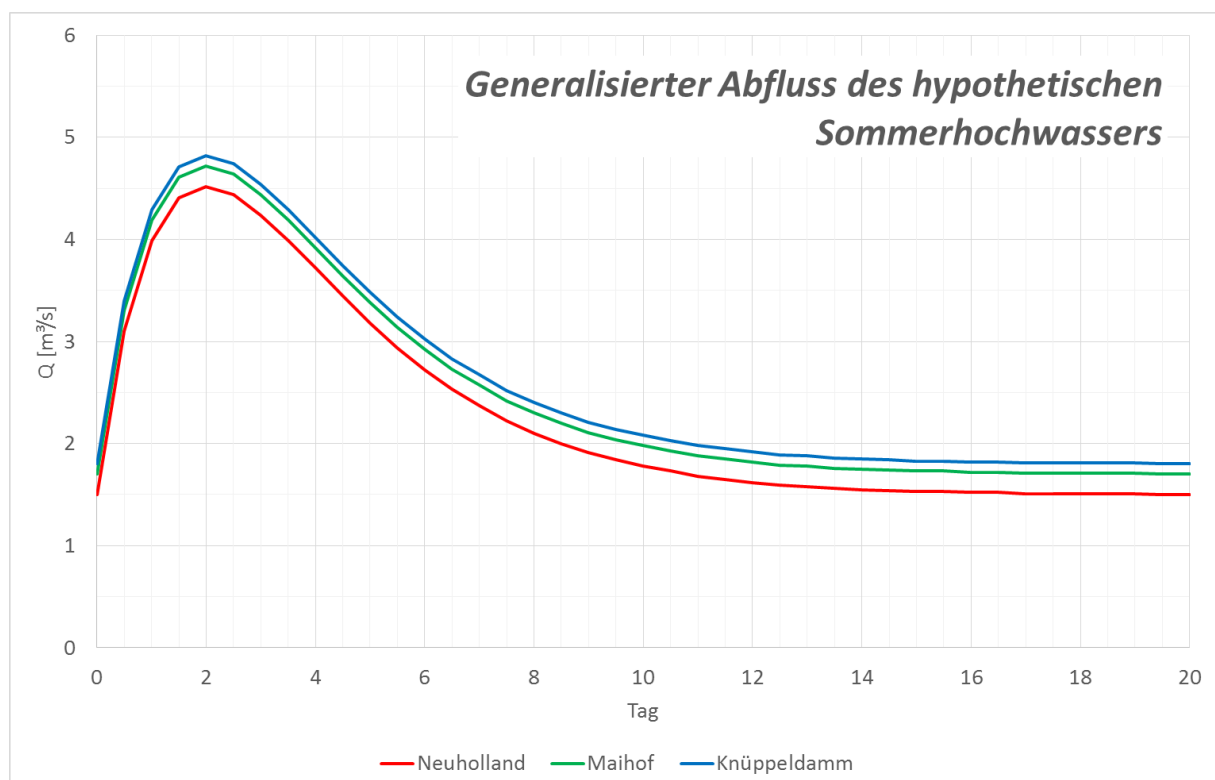
Simulations- und Ausgabezeiten sind:

Beginn hydrologisches Jahr, 1. November:	0 d
1. Dezember:	30 d
1. Januar:	61 d
1. Februar:	92 d
1. April:	181,25 d
1. Juli:	242,25 d
1. August:	273,25 d
1. September:	304,25 d
1. November:	365,25 d

#### 1.5.4 Simulation des Sommerhochwassers Profile 3, 4 und 5

Für die Simulation eines Sommerhochwassers in der Schnellen Havel war auf Grund unzureichender Daten und der Zuflusssteuerung an der Freiarche die Generierung eines synthetischen Sommerhochwasserereignisses erforderlich. In Abstimmung mit dem AG wurde ein Sommerhochwasser in Anlehnung an das Hochwasserereignis August 2002 definiert.

Abbildung 3 zeigt die Abflusskurven an den Wehren Neuholland, Maihof und Knüppeldamm.



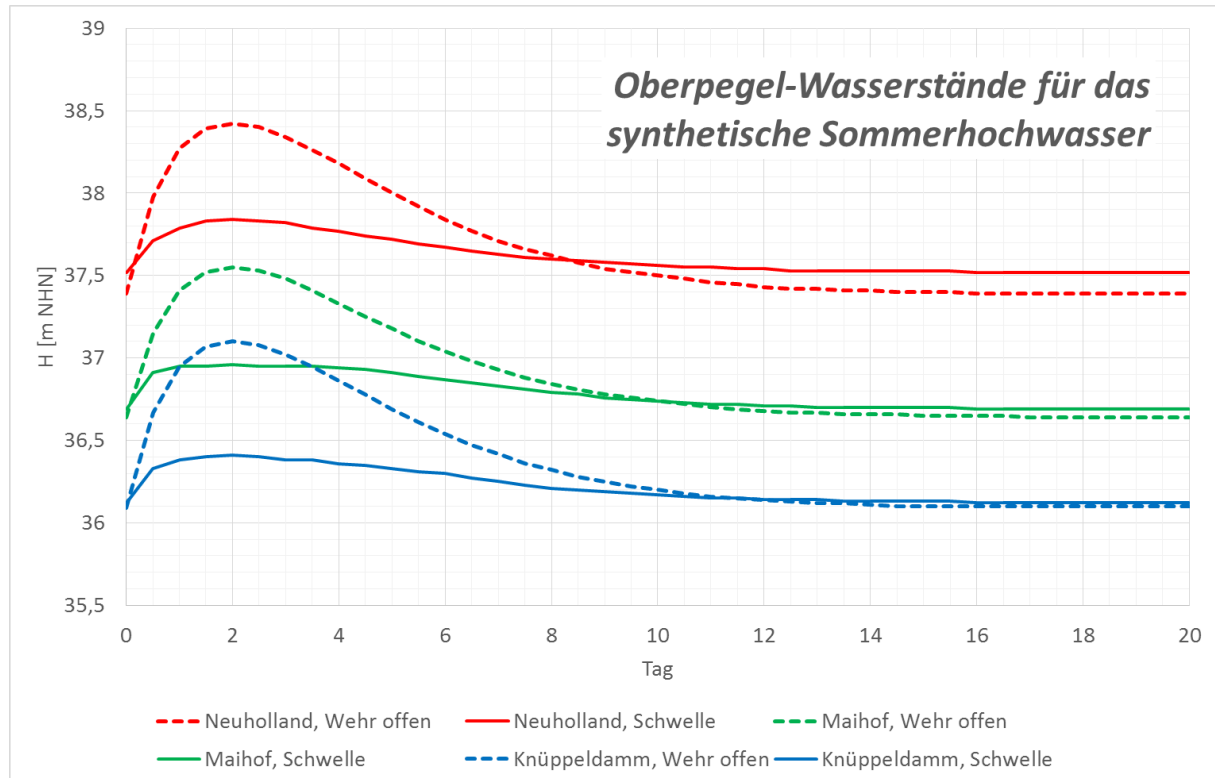
**Abbildung 3: Generalisierter Abfluss an den Wehren Neuholland, Maihof und Knüppeldamm für ein Sommerhochwasser**

Abbildung 4 zeigt die zugehörigen Oberpegel-Wasserstände für die Szenarios:

- I. Wehr offen und

## II. Schwelle.

Die daraus für die Profile resultierenden Oberflächenwasserspiegelhöhen in der Schnellen Havel wurden als Randbedingung 3. Art (potentialabhängiger Volumenstrom) entsprechend der in Abschnitt 1.5.2 dargelegten Beziehung angesetzt.



**Abbildung 4: Oberpegelwasserstände an den Wehren Neuholland, Maihof und Knüppeldamm für ein Sommerhochwasser**

Für die Simulation des Sommerhochwassers wurde das synthetische Hochwasserereignis in die im Abschnitt 1.5.3 beschriebenen Abflussregime der Schnellen Havel (Szenario 1 gesteuertes Wehr und Szenario 2 Schwelle) und der Meliorationsgräben eingearbeitet. Grundlage der betrachteten Zeitreihe sind die für den Zeitraum vom 01.11.2001 bis 31.10.2003 berechneten Tageswerte der Sickerwasserraten an den Lokationen der Profile 1 bis 5 [U12] mit einer Auflösung von 100 m.

Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 5 die über die Profillänge integrierten täglichen Sickerwassersummen.

Das in die genannte Zeitreihe eingearbeitet Sommerhochwasserereignis von 20 Tagen beginnt am 11.08.2002 und endet am 31.08.2002. Der Hochwasserscheitel ist am 13.08.2002, bezogen auf den Beginn der Zeitreihe am 286. Tag.

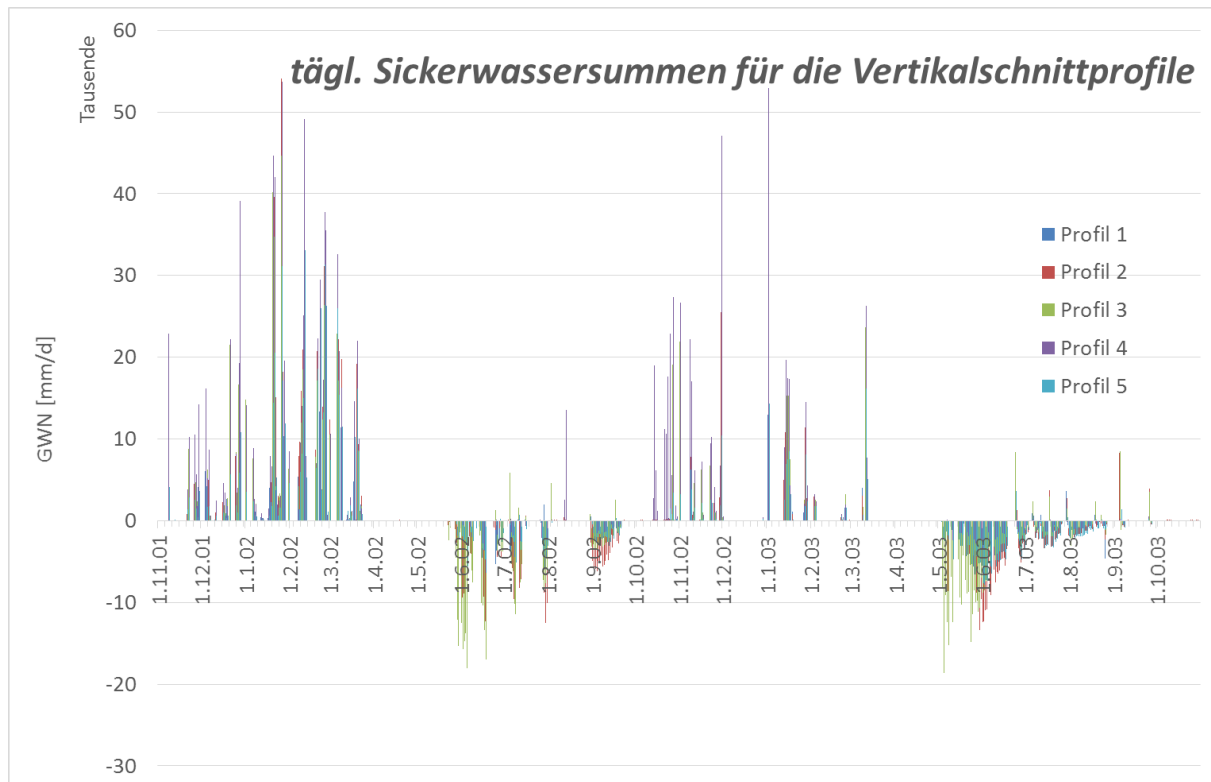


Abbildung 5: Tägliche Sickerwassersummen für die Profile 1 bis 5

## 1.6 Simulationsprogramm

Als Simulationsprogramm wurde die Software COMSOL Multiphysics® gewählt. COMSOL Multiphysics® ([www.comsol.com](http://www.comsol.com)) löst die Differentialgleichung mit dem Finite-Elemente-Verfahren und ist sehr gut für die Simulation multiphysikalischer Probleme geeignet. Das Auffüllen und Leerlaufen des Grundwasserleiters wurde durch den Ansatz einer deformierten Geometrie für die Abbildung des wassergefüllten Porenraums berücksichtigt.

## 1.7 Verwendete Unterlagen/Quellen

Der Bearbeitung liegen folgende Unterlagen und Quellen zu Grunde:

- [U1] Deutscher Wetterdienst (DWD): Monatswerte korrigierter Niederschlagshöhen und Verdunstungshöhen 1975 bis 2004 im Einzugsgebiet der Schnellen Havel. – Berlin, 14.11.2013.
- [U2] Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV, 04/2009): Dokumentation – Mittlere Abflusspende für die Zeitreihe 1976 – 2005 [wh\_abimo].
- [U3] Büro für Angewandte Hydrologie (08/2008): Beschreibung des Datenbestandes – Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg auf Basis der Hydrotopklassen, Reihe 1986 – 2005.

- [U4] Büro für Angewandte Hydrologie (07/2008): Beschreibung des Datenbestandes – Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg auf Basis der oberirdischen Teileinzugsgebiete, Reihen 1971 – 2005 und 1986 – 2005.
- [U5] Büro für Angewandte Hydrologie (02/2005): Beschreibung des Datenbestandes – Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg, Reihe 1981 – 2000 [WH BB].
- [U6] Büro für Angewandte Hydrologie (01/2014): Modellierung des Bodenwasserhaushaltes im Einzugsgebiet der Schnellen Havel, Reihe 1971 – 2005.
- [U7] WSA Eberswalde (09.05.2014): Ergänzungs-/Änderungshinweise zum Wasserbewirtschaftungsmodell SH vom 6.3.2014.
- [U8] Büro für Ingenieurbiologie, Umweltplanung und Wasserbau Kovalev & Spundflasch (11.08.2014): Durchflussmessungen entlang der Schnellen Havel 13.9.13, 11.10.13, 3.1.14, 18.6.14 und 7.8.14.
- [U9] Rembe, M. (09.09.2014): Revitalisierung der Schnellen Havel - Wasserbewirtschaftungsmodell Schnelle Havel. W/T Geoingenieure, Nordhausen.
- [U10] LUGV, Referat Ö4 (11.09.2014): Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an der Schnellen Havel Planungsstand und Zwischenergebnisse der Modellbetrachtungen. - Tischvorlage zur Beratung am 11.09.2014 im MUGV, Potsdam.
- [U11] BIUW (2015): Revitalisierung der Schnellen Havel, Anlage 11: Bestands- und Entwurfshydraulik.
- [U12] Büro für Angewandte Hydrologie (05/2014): Modellierung des Bodenwasserhaushaltes im Einzugsgebiet der Schnellen Havel, Reihe 1971 – 2005. Berechnung und Ausgabe der Tageswerte 01.11.2001-31.10.2003 für die hydrogeologischen Profile 1 bis 5

## 1.8 Koordinatensystem

Alle Angaben zu Lage und Höhe sind in folgenden Bezugssystemen:

- Lage: ETRS89 / UTM Zone 33N Brandenburg 7 stellig, ESPG 325833
- Höhe: Deutschen Haupthöhennetzes 1992 (DHHN92) [m NHN]

## 2 Bewertung eines Winterhochwassers

### 2.1 Vertikalschnittmodell Profil 1

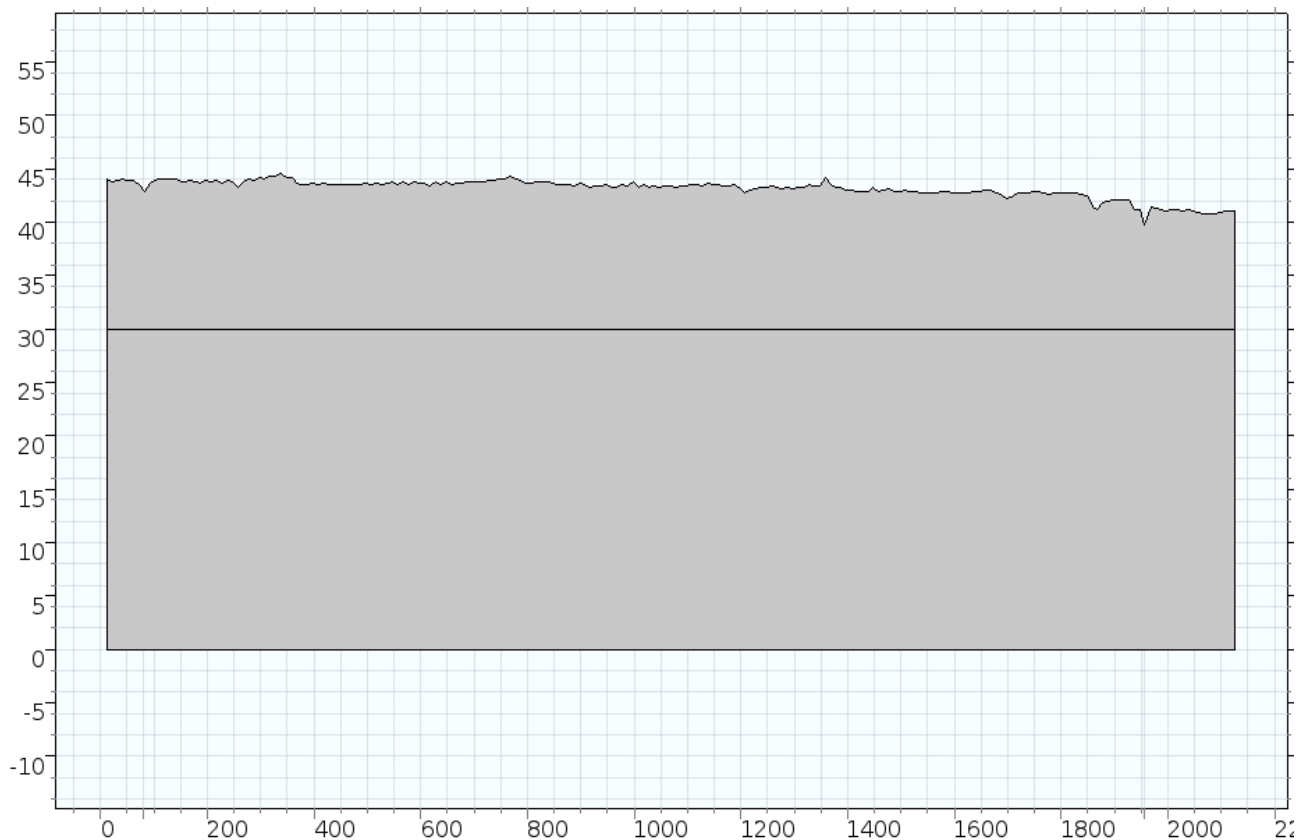
#### 2.1.1 Modellaufbau

Die Geländeoberkante entlang des Profils 1 wurde aus dem DGM1 extrahiert und für den Modellaufbau berücksichtigt.

Repräsentativ für das Profil 1 sind die Aufschlüsse (GWM des Landesmessnetzes) 31464700 (im Profil 3) und 30463569 (Nähe Großer Berg bei Liebenthal), die mit ihrer Teufe von 26 m und 24 m tief genug sind und im Liegenden des obersten Grundwasserleiters im Tal einen mächtigen Grundwasserstauerkomplex (>15m) nachweisen. Daraus ergibt sich für das Profil 1 eine Unterkante des obersten Grundwasserleiters bei ca. 30 m NHN.

Abbildung 6 zeigt den Aufbau des Vertikalschnittmodells, welches den obersten Grundwasserleiter und schematisch den liegenden Grundwasserstauerkomplex abbildet. Das Profil 1 wird von der Eiserlake bei  $x=80$  m und der Schnellen Havel bei  $x=1.956$  m gequert.

Die Geometrie wurde mit einem Finite-Elemente-Netz mit einer maximale Gitterweite von 5 m diskretisiert.



**Abbildung 6: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 1. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].**

#### Geohydraulische Kennwerte:

	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Porosität [%]
Oberster Grundwasserleiter	$1 \cdot 10^{-4}$	25
Stauerkomplex	$1 \cdot 10^{-6}$	5

#### Randbedingungen:



Die Grundwasserneubildung wurde entsprechend der Profillage aus dem Landesmodell entnommen [U6]. Das Profil liegt in den Hydrotopen mit den Flächen-IDs 445614, 442234 und 451582. Abbildung 32 verdeutlicht den innerjährlichen Gang der mittleren monatlichen Sickerwasserrate der Zeitreihe 1971 – 2005.

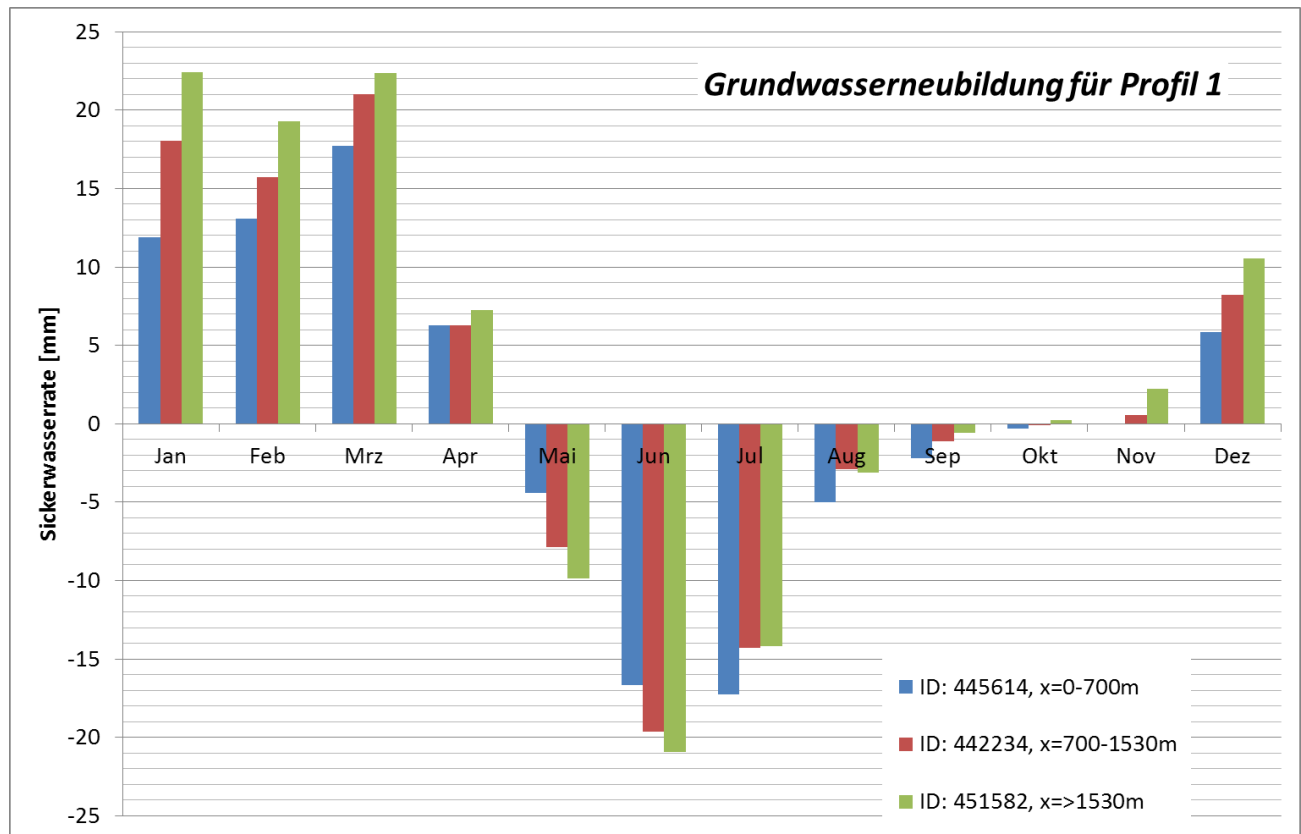


Abbildung 7: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 1 bezogen auf die Profillänge x.

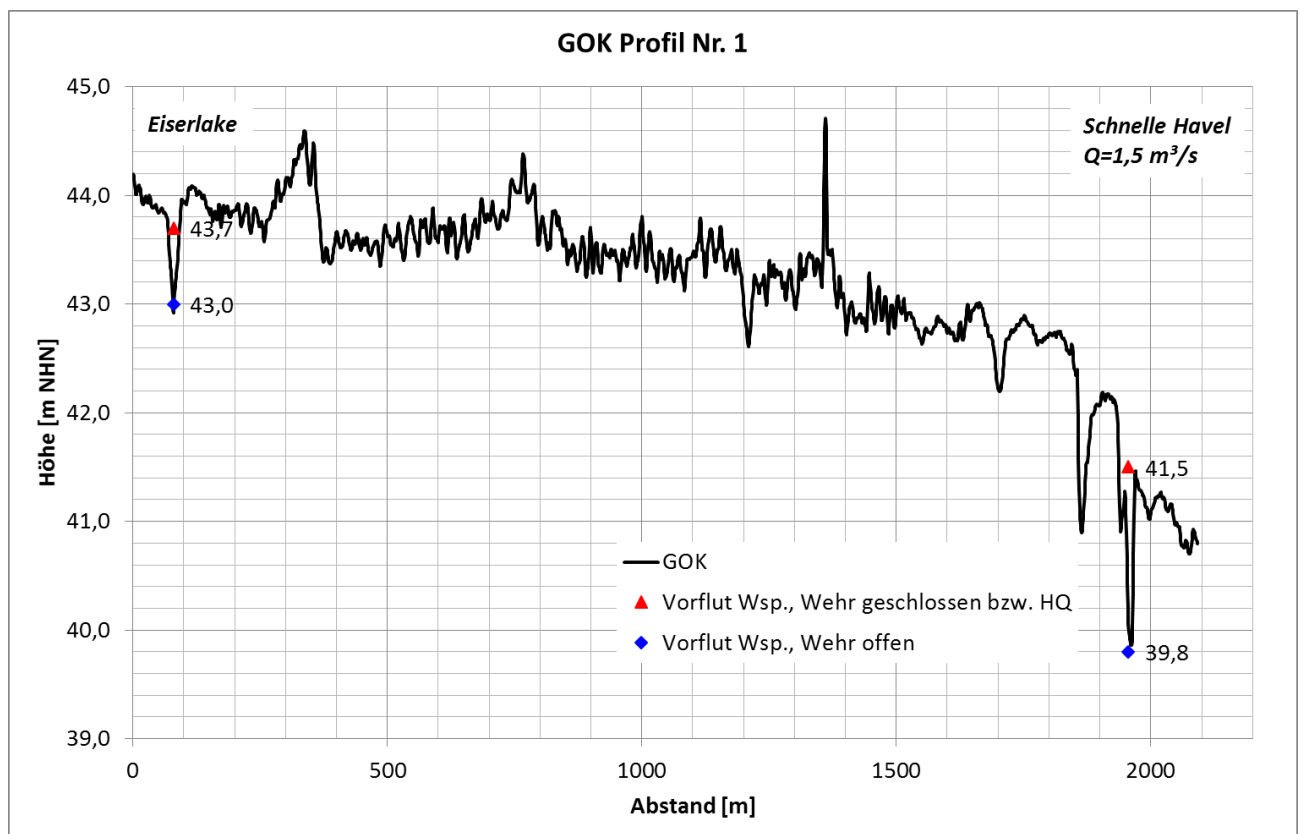
Tabelle 4 dokumentiert die Simulationszeit und die durch das Modell berücksichtigten zugehörigen Sickerwasserraten.

Tabelle 2: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 1

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]		
	von	bis	ID: 445614, x=0-700m	ID: 442234, x=700-1530m	ID: 451582, x=>1530m
Jan	61	92	11,87	18,05	22,41
Feb	92	120,25	13,09	15,71	19,31
Mrz	120,25	151,25	17,73	21,00	22,39
Apr	151,25	181,25	6,30	6,30	7,25
Mai	181,25	212,25	-4,44	-7,85	-9,89

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]		
	von	bis	ID: 445614, x=0-700m	ID: 442234, x=700-1530m	ID: 451582, x=>1530m
Jun	212,25	242,25	-16,68	-19,61	-20,92
Jul	242,25	273,25	-17,27	-14,29	-14,20
Aug	273,25	304,25	-5,00	-2,92	-3,14
Sep	304,25	334,25	-2,21	-1,13	-0,57
Okt	334,25	365,25	-0,29	-0,09	0,24
Nov	0	30	-0,01	0,58	2,23
Dez	30	61	5,84	8,21	10,55
Jahr			8,93	24,77	35,66

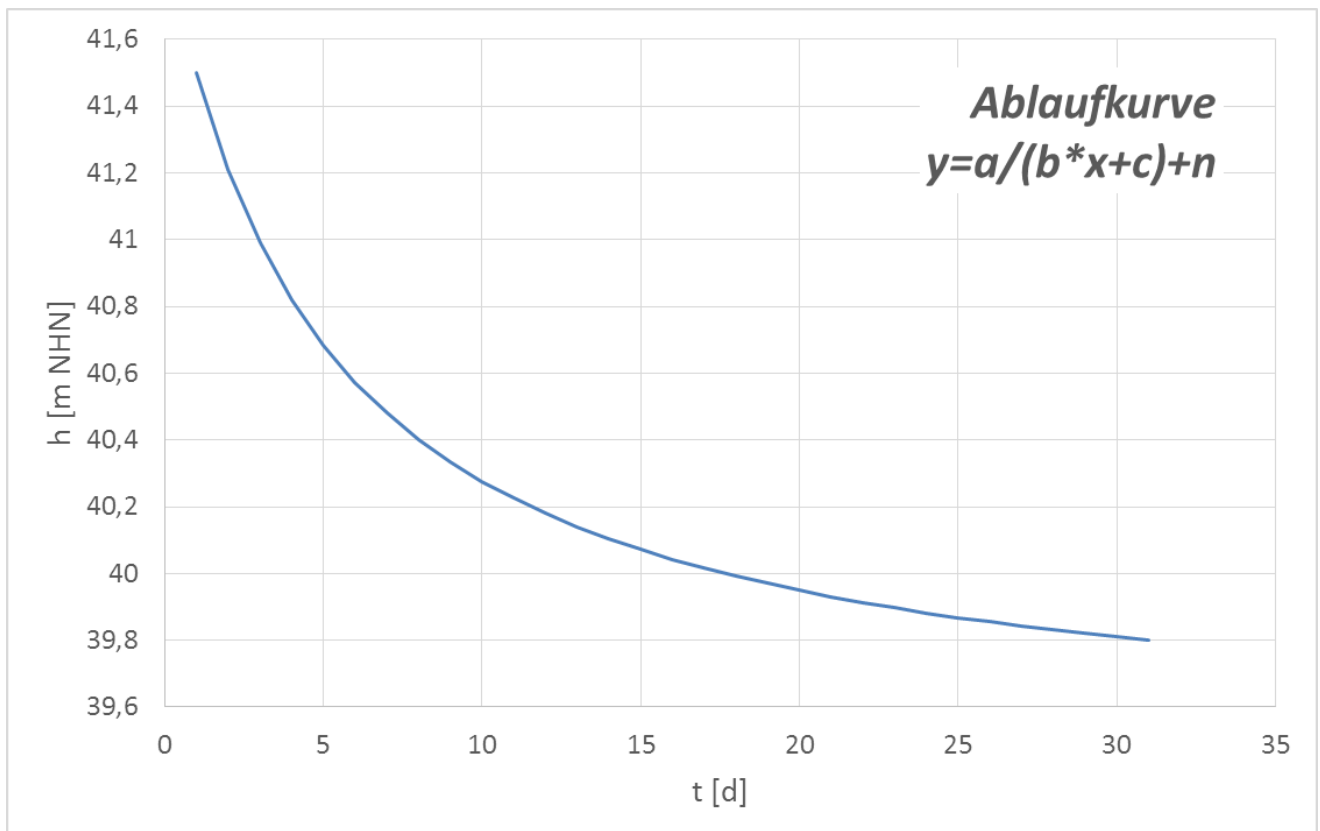
Abbildung 33 zeigt die Oberflächenwasserspiegel der Eiserlake und der Schnellen Havel (vereinfacht) für die Staubewirtschaftung der Gräben und für das Winterhochwasser der Schnellen Havel. Der Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel wurde der Wasserspiegellagenberechnung [U11] für  $MQ=1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $HQ=8 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen.



**Abbildung 8: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 1 für das Szenario Winterhochwasser**

Durch das Winterhochwasser Januar bis März mit  $HQ=8 \text{ m}^3/\text{s}$  kommt es gegenüber dem langjährig mittleren Abfluss zu einer Erhöhung des Oberflächenwasserspiegels in der Schnellen Havel und damit verbunden mit einer Auffüllung der Talau. Der Wasserspiegelanstieg von 39,8 m NHN bis 41,5 m NHN [U11] vollzieht sich linear in den ersten 14 Tagen dieses Zeitraums.

Der Wasserspiegelrückgang durch das Leerlaufen des Überschwemmungsgebietes wird durch eine Exponentialfunktion innerhalb von 4 Wochen im April genähert. Abbildung 9 dokumentiert die mit den in Abschnitt 1.5.2 dokumentierten Parametern ( $a=12,24$ ;  $b=1$ ;  $c=5$ ;  $n=39,8$ ) ermittelte Ablaufkurve.

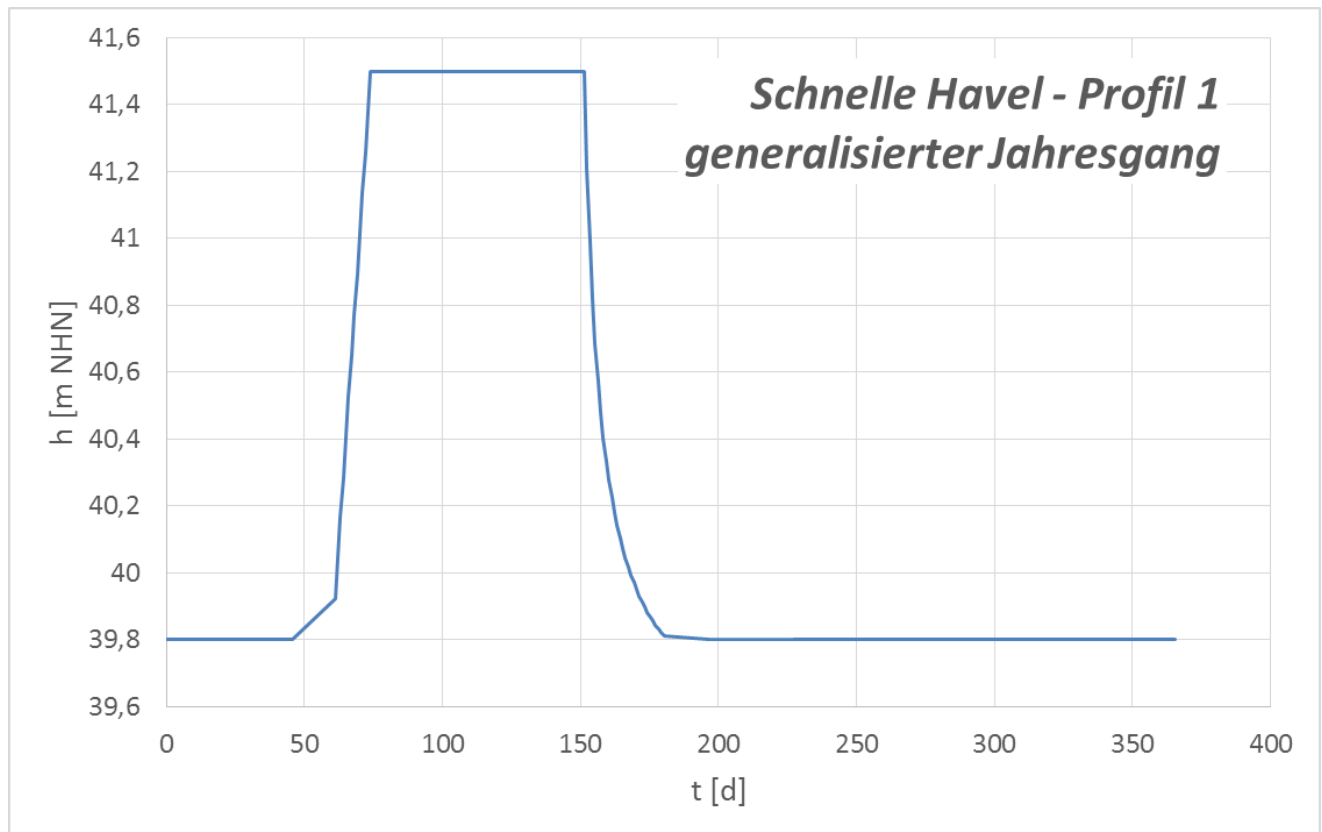


**Abbildung 9: Ablaufkurve der Schnellen Havel am Profil 1**

Abbildung 10 zeigt den zeitabhängigen Oberflächenwasserspiegel (Jahresgang) für die Schnelle Havel am Profil 2 unter Berücksichtigung des Winterhochwassers.

Das Winterhochwasser findet bezogen auf das hydrologische Jahr in drei Phasen statt:

- der Einstau vom 45. bis 74. Tag,
- die Plateauphase vom 75. bis 151. Tag und
- der Ablauf vom 152. bis 180. Tag.



**Abbildung 10: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 1**

## 2.1.2 Simulation des Jahresgangs

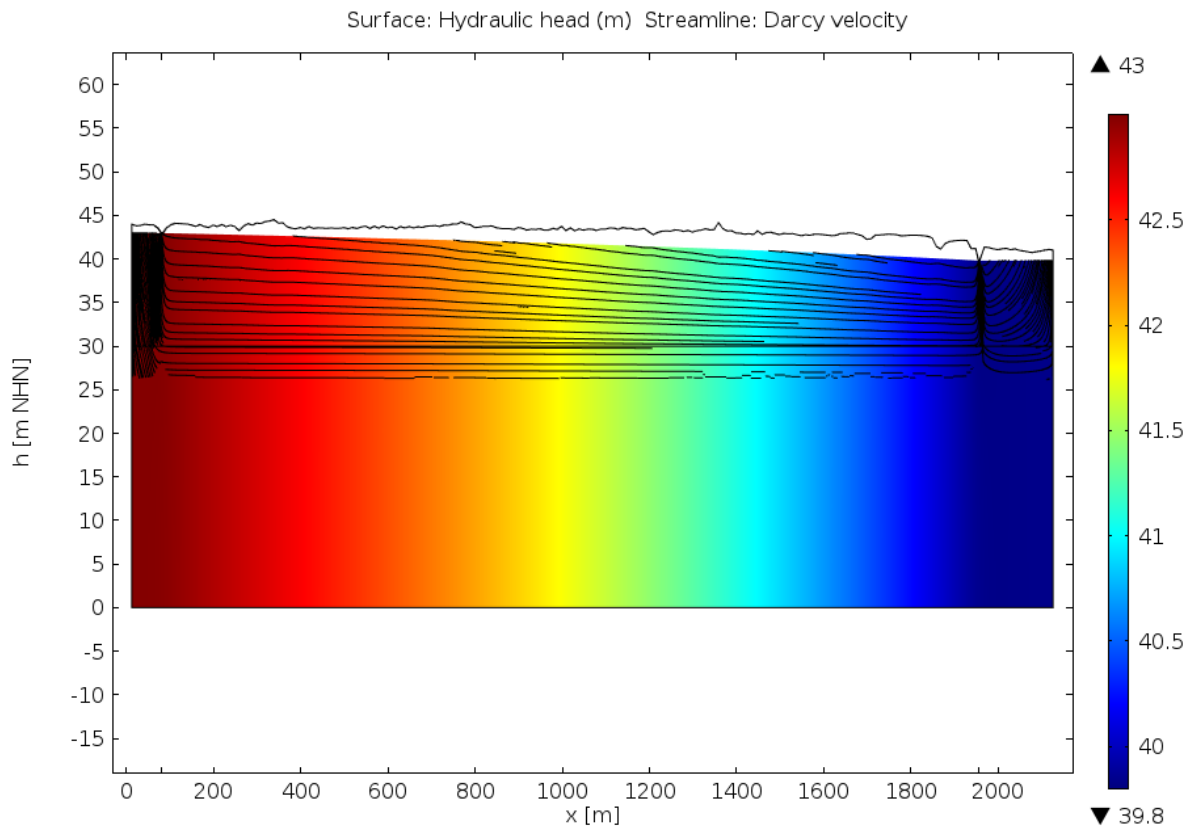
### 2.1.2.1 Quasi stationäre Strömung

Für die Bewertung der langfristig mittleren Grundwasserströmung erfolgte zunächst die Simulation der quasi stationären Strömung, welche ebenfalls als Anfangsbedingung für die Simulation der zeitabhängigen Strömung dient.

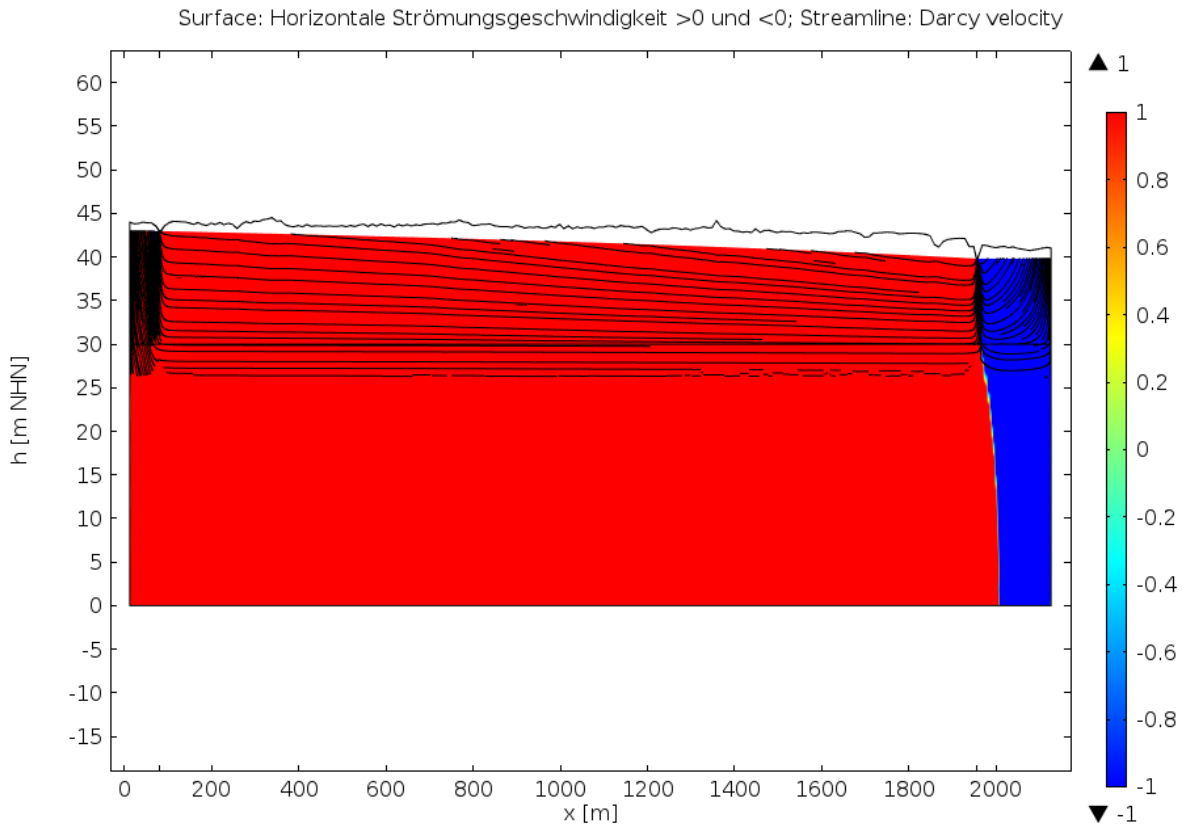
Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Grundwasserspiegelhöhen im obersten Grundwasserleiter und den berücksichtigten liegenden Grundwasserstauer gemeinsam mit den Stromlinien für den obersten Grundwasserleiter.

Deutlich erkennbar ist der Einfluss der Eiserlake bei  $x=80$  m auf die Grundwasserdynamik. Auf Grund ihrer Oberflächenwasserspiegelhöhe wirkt sie bzgl. des Grundwasserkörpers influent.

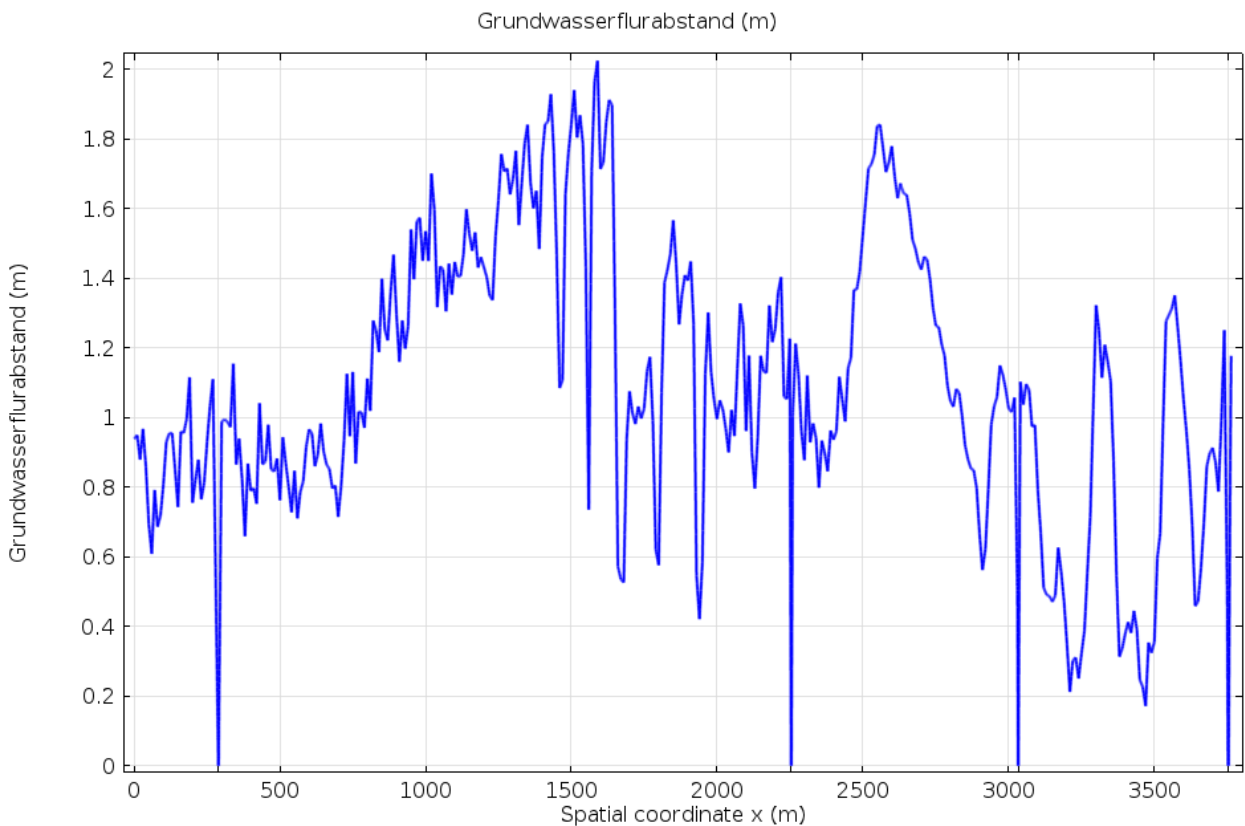
Abbildung 12 zeigt in einer Klassifizierung der Darcy-Geschwindigkeiten (Grundwasserströmungsgeschwindigkeit) die Strömungsrichtung West nach Ost bzw. Ost nach West. Demnach ist eine Beeinflussung des Grundwasserfernfeldes durch eine Oberflächenwasserspiegelerhöhung in der Schnellen Havel möglich, die durch die Eiserlake begrenzt wird.



**Abbildung 11: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung, Profil 1**



**Abbildung 12: Horizontale Grundwasserströmungsgeschwindigkeit im Profil 1 >0 (W nach E) und <0 (E nach W)**



**Abbildung 13: Grundwasserflurabstand für die quasi stationäre Strömung im Profil 1**

Abbildung 13 zeigt den Grundwasserflurabstand im Profil 1 für die quasi stationäre Grundwasserströmung.

### 2.1.2.2 Zeitabhängige Strömung

Das Winterhochwasser bewirkt eine Grundwasseranreicherung, da die Schnelle Havel während dieser Zeit nicht mehr entwässernd sondern infiltrierend wirkt. Die Wirkung wird im Profil 1 erst durch die Eiserlake eingeschränkt.

Abbildung 14 zeigt die berechneten Grundwasserspiegelhöhen für das Profil 2 zu unterschiedlichen Ausgabezeiten. Die Linie für den 151. Tag markiert den Wasserspiegel am Ende der Plateauphase. Deutlich zu erkennen ist, dass sich die Grundwasseraufhöhung im Profil im Wesentlichen auf die Profillänge  $x > 1.400$  m beschränkt. Der Grundwasserspiegel im Profil  $x < 1.400$  m liegt in der Schwankungsbreite des Grundwassergangs verursacht durch die zeitabhängige Grundwasserneubildung.

Abbildung 15 zeigt den zugehörigen Grundwasserflurabstand. Negative Abstände markieren die überschwemmten Bereiche.

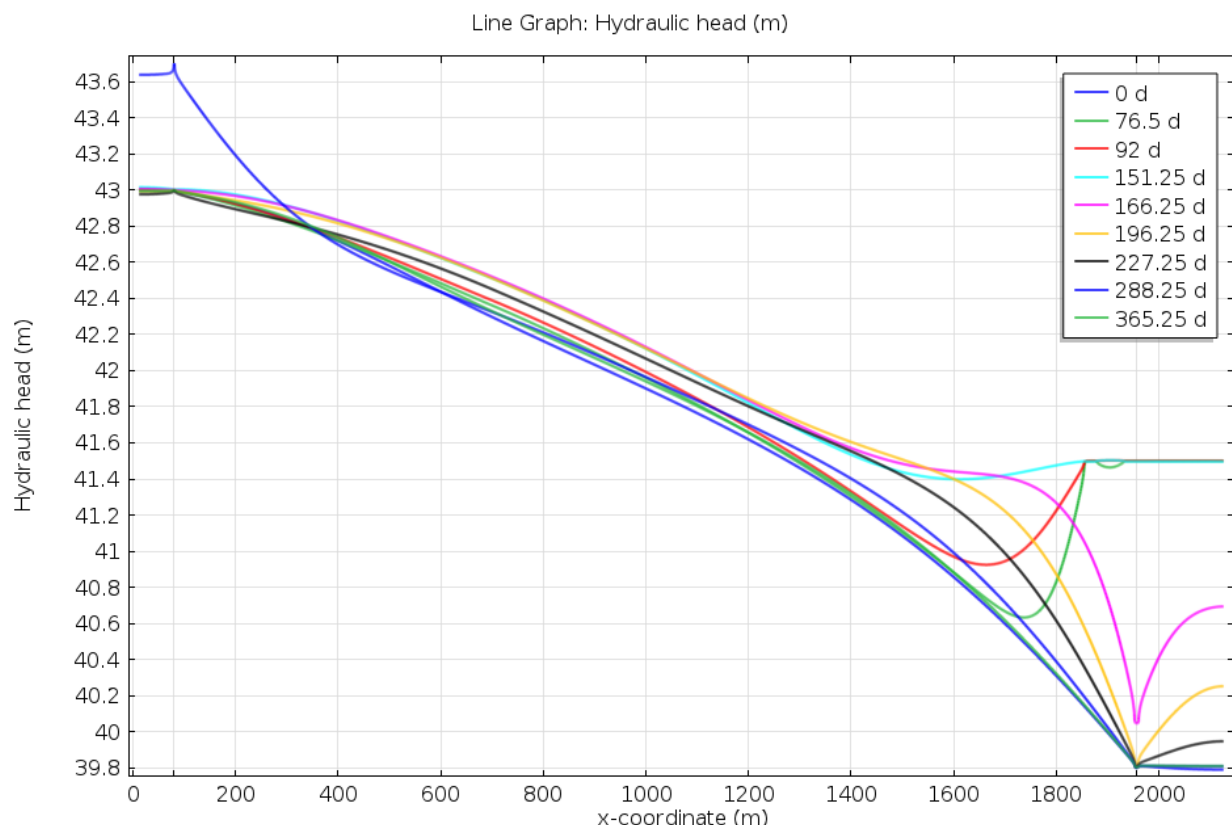
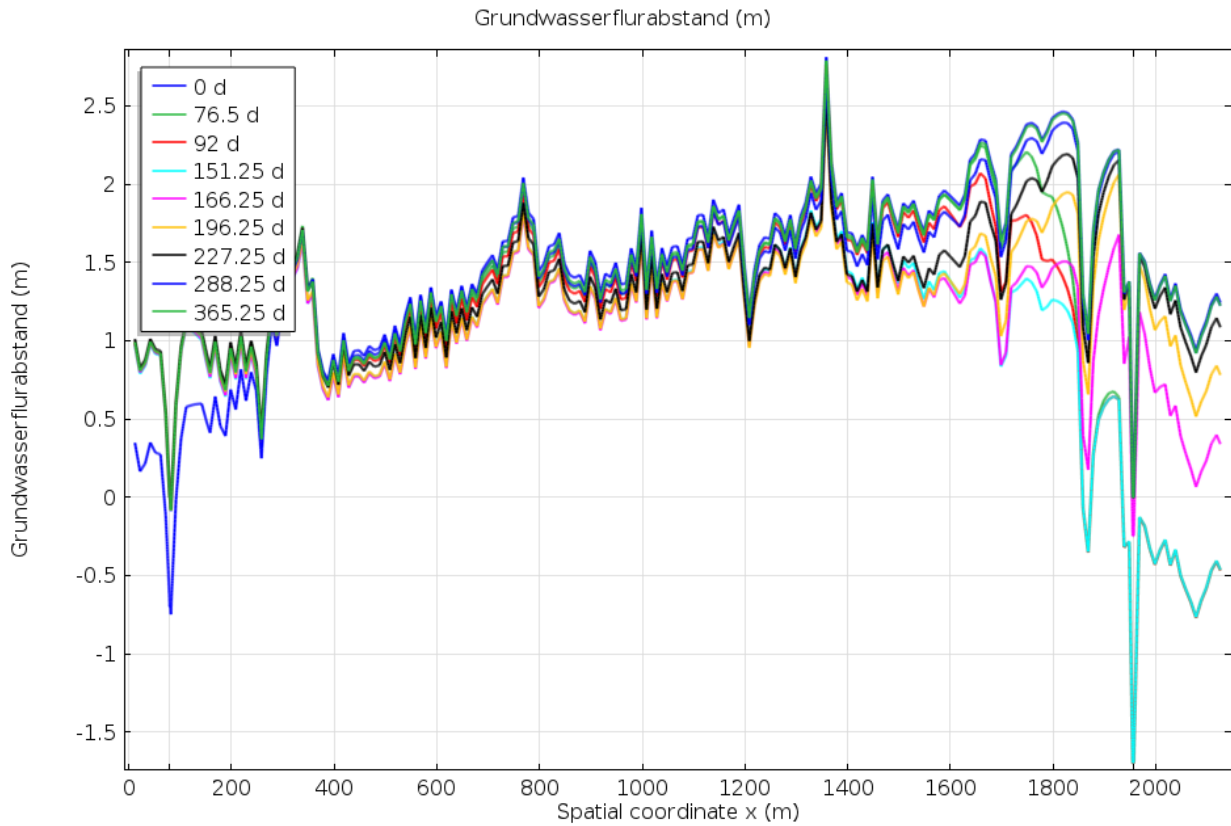
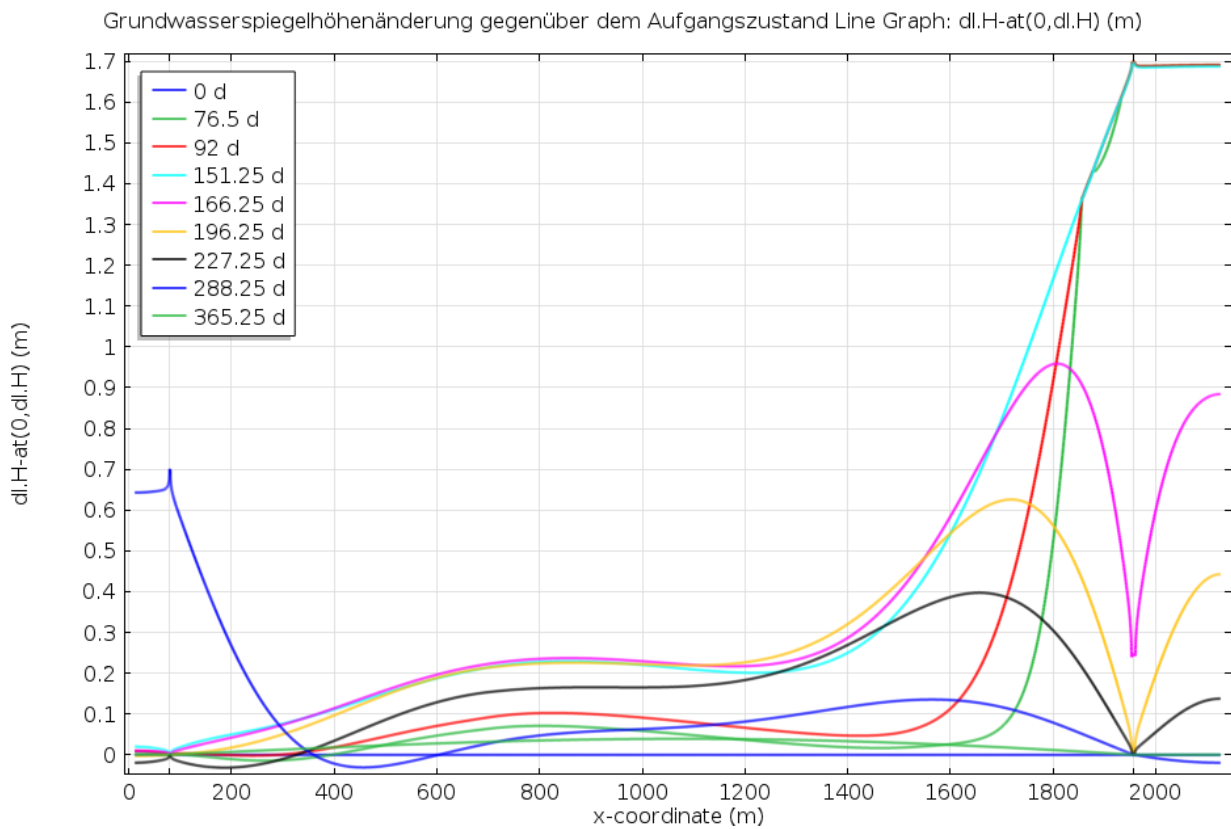


Abbildung 14: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 1

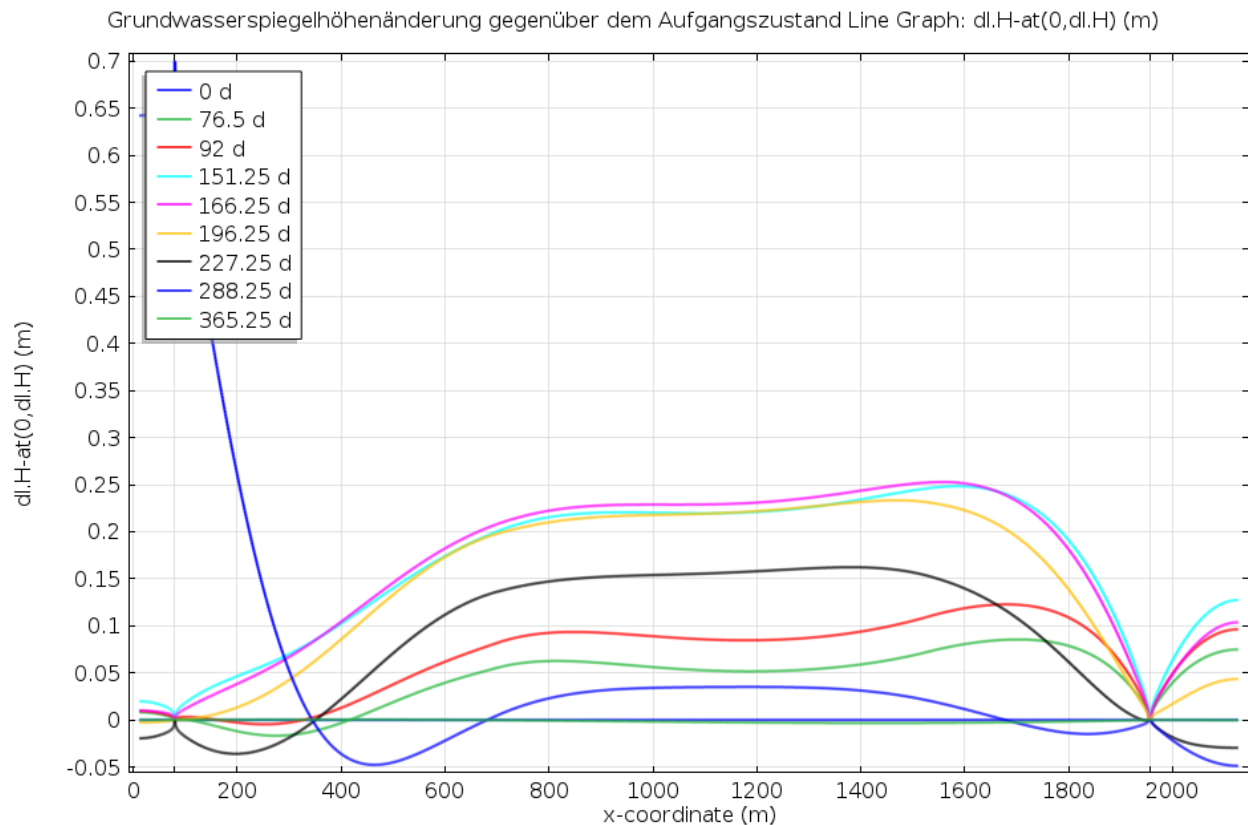


**Abbildung 15: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 1**



**Abbildung 16: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 1**





**Abbildung 17: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr ohne Winterhochwasser für das Profil 1**

Abbildung 16 dokumentiert die Grundwasserspiegeländerung gegenüber der quasi stationären Strömung am Ende des hydrologischen Jahres. Deutlich zu erkennen ist der Grundwasserspiegelanstieg durch das Winterhochwasser. Im Vergleich zu Abbildung 17 ohne Winterhochwasser zeigt sich, dass sich der durch das Winterhochwasser verursachte Grundwasserspiegelanstieg ca. bis zur Profillänge  $x > 1.000$  m ausdehnt. Der absolute Anstieg beträgt 1,7 m, der effektive<sup>1</sup> Anstieg im Mittel ca. 0,73 m  $((1,7 \text{ m} - 0,25 \text{ m})/2)$ .

Die Ablaufzeit des Grundwasserspeichers ergibt sich als Differenz aus 288 d und 151 d und beträgt 137 d.

## 2.2 Vertikalschnittmodell Profil 2

### 2.2.1 Modellaufbau

Die Geländeoberkante entlang des Profils 2 wurde aus dem DGM1 extrahiert und für den Modellaufbau berücksichtigt.

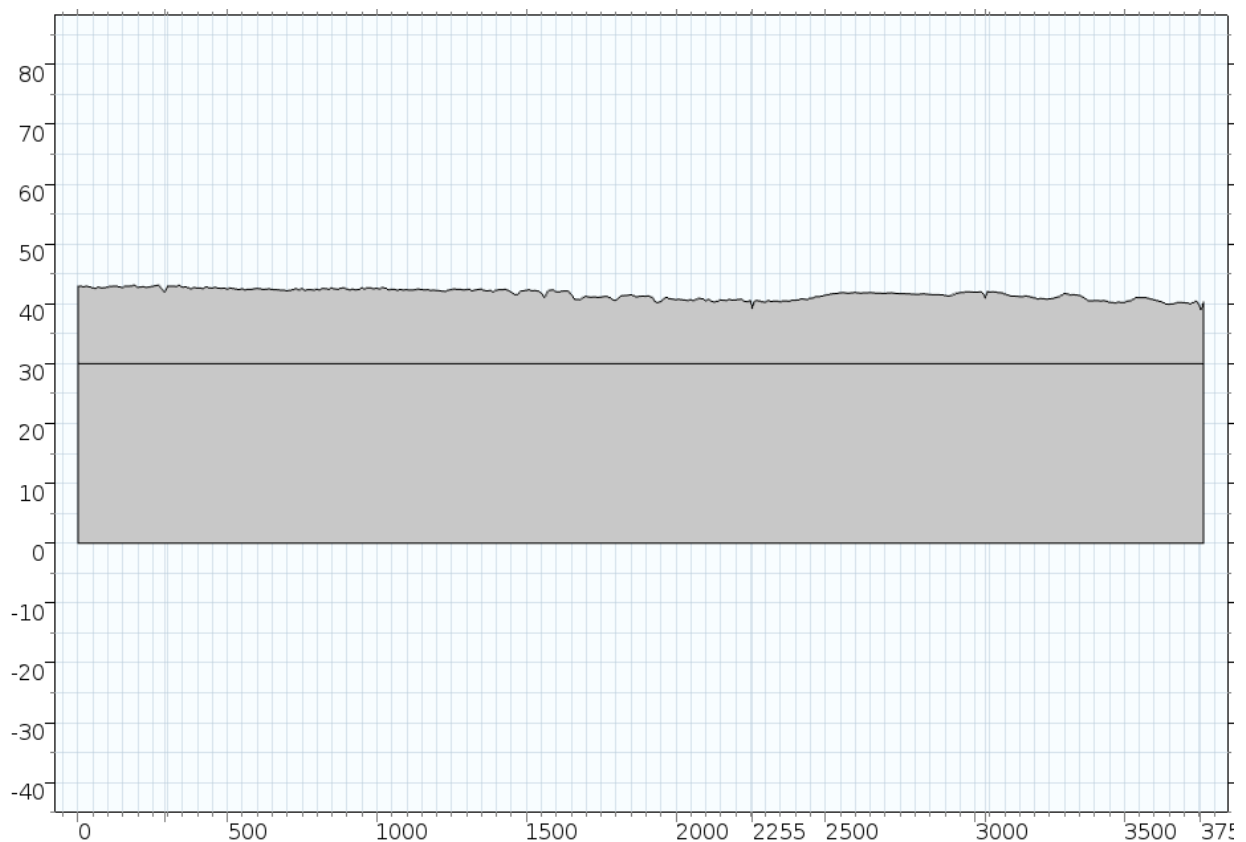
Repräsentativ für das Profil 2 sind wie für das Profil 1 die Aufschlüsse (GWM des Landesmessnetzes) 31464700 (im Profil 3) und 30463569 (Nähe Großer Berg bei Liebenthal),

<sup>1</sup> Der nutzbare Gewinn für den Grundwasserspeicher.

die mit ihrer Teufe von 26 m und 24 m tief genug sind und im Liegenden des obersten Grundwasserleiters im Tal einen mächtigen Grundwasserstauerkomplex (>15m) nachweisen. Daraus ergibt sich für das Profil 2 eine Unterkante des obersten Grundwasserleiters bei ca. 30 m NHN.

Abbildung 18 zeigt den Aufbau des Vertikalschnittmodells, welches den obersten Grundwasserleiter und schematisch den liegenden Grundwasserstauerkomplex abbildet. Das Profil 2 wird von der Eiserlake bei  $x=289$  m, dem Fließgraben Freienhagen bei  $x=2.255$  m, den Entwässerungsgraben L018 bei  $x=3.034$  m und der Schnellen Havel bei  $x=3.755$  m gequert.

Die Geometrie wurde mit einem Finite-Elemente-Netz mit einer maximale Gitterweite von 5 m diskretisiert.



**Abbildung 18: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 2. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].**

#### Geohydraulische Kennwerte:

	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Porosität [%]
Oberster Grundwasserleiter	$1 \cdot 10^{-4}$	25
Stauerkomplex	$1 \cdot 10^{-6}$	5

#### Randbedingungen:

Die Grundwasserneubildung wurde entsprechend der Profillage aus dem Landesmodell entnommen [U6]. Das Profil liegt in den Hydrotopen mit den Flächen-IDs 453518, 460936, 470902 und 484376. Abbildung 19 verdeutlicht den innerjährlichen Gang der mittleren monatlichen Sickerwasserrate der Zeitreihe 1971 – 2005.

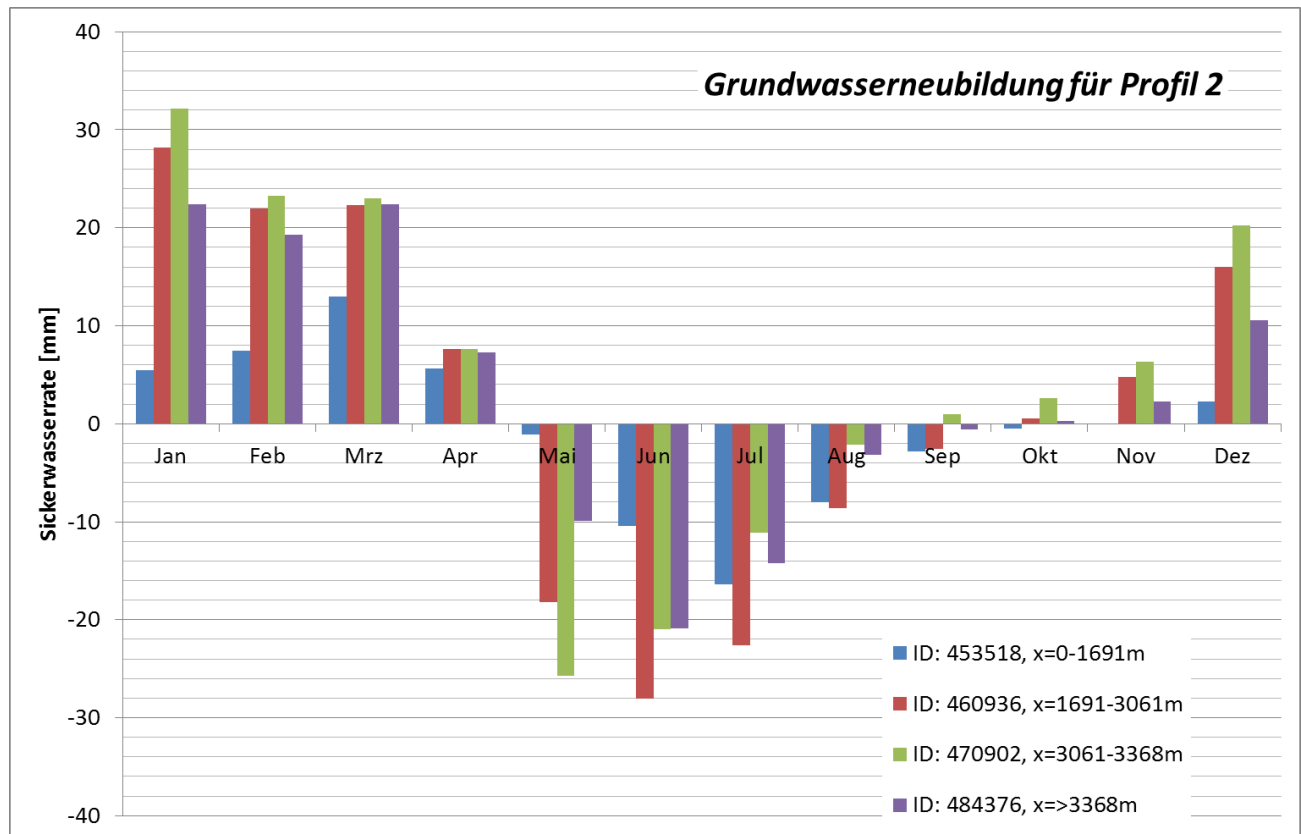


Abbildung 19: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 2 bezogen auf die Profillänge x.

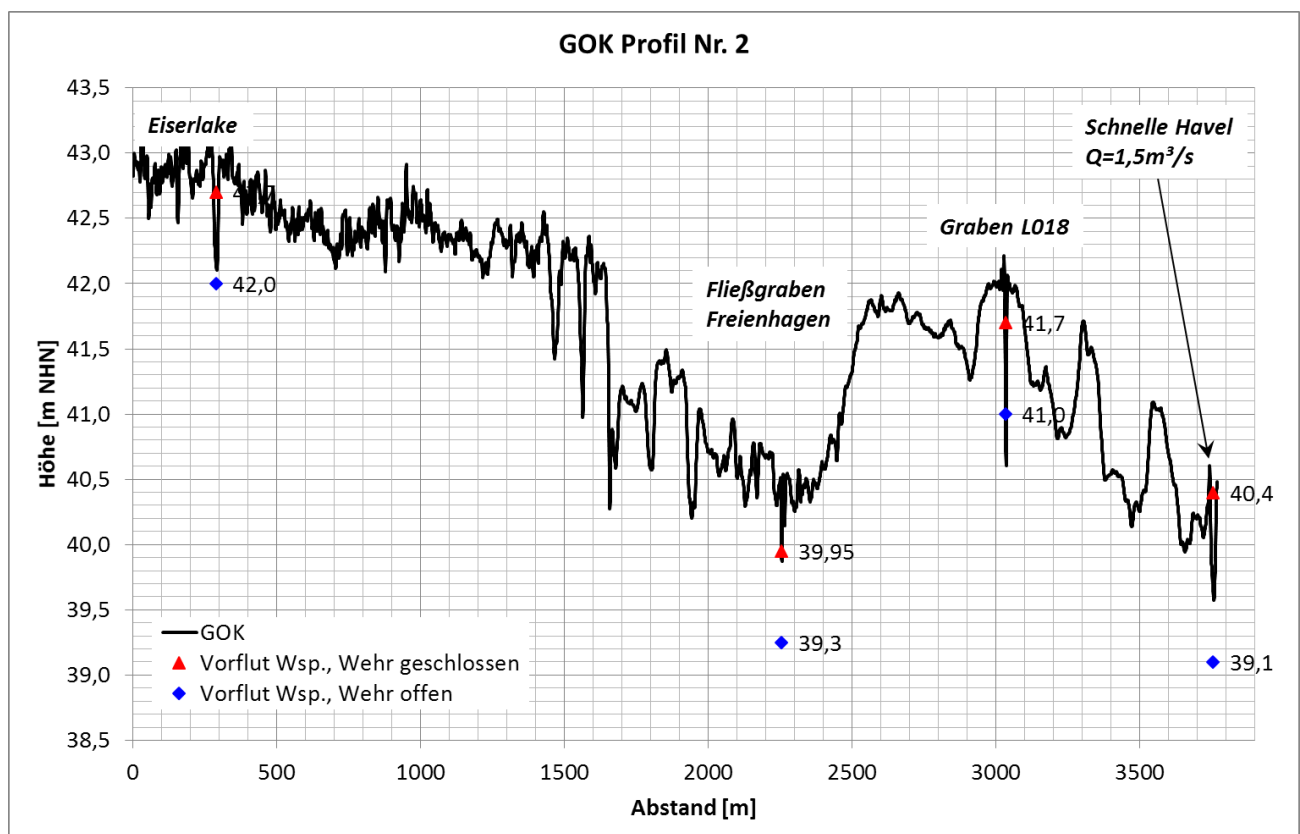
Tabelle 3 dokumentiert die Simulationszeit und die durch das Modell berücksichtigten zugehörigen Sickerwasserraten.

Tabelle 3: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 2

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]			
	von	bis	ID: 453518, x=0-1691m	ID: 460936, x=1691-3061m	ID: 470902, x=3061-3368m	ID: 484376, x=>3368m
Jan	61	92	5,43	28,20	32,17	22,41
Feb	92	120,25	7,46	21,97	23,24	19,31
Mrz	120,25	151,25	13,00	22,35	22,99	22,39
Apr	151,25	181,25	5,67	7,61	7,61	7,25
Mai	181,25	212,25	-1,06	-18,22	-25,72	-9,89
Jun	212,25	242,25	-10,44	-28,03	-20,93	-20,92
Jul	242,25	273,25	-16,40	-22,63	-11,13	-14,20

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]			
	von	bis	ID: 453518, x=0-1691m	ID: 460936, x=1691-3061m	ID: 470902, x=3061-3368m	ID: 484376, x=>3368m
Aug	273,25	304,25	-8,05	-8,65	-2,13	-3,14
Sep	304,25	334,25	-2,86	-2,54	0,96	-0,57
Okt	334,25	365,25	-0,48	0,56	2,62	0,24
Nov	0	30	-0,02	4,77	6,33	2,23
Dez	30	61	2,30	16,00	20,19	10,55
Jahr			-5,44	21,38	56,19	35,66

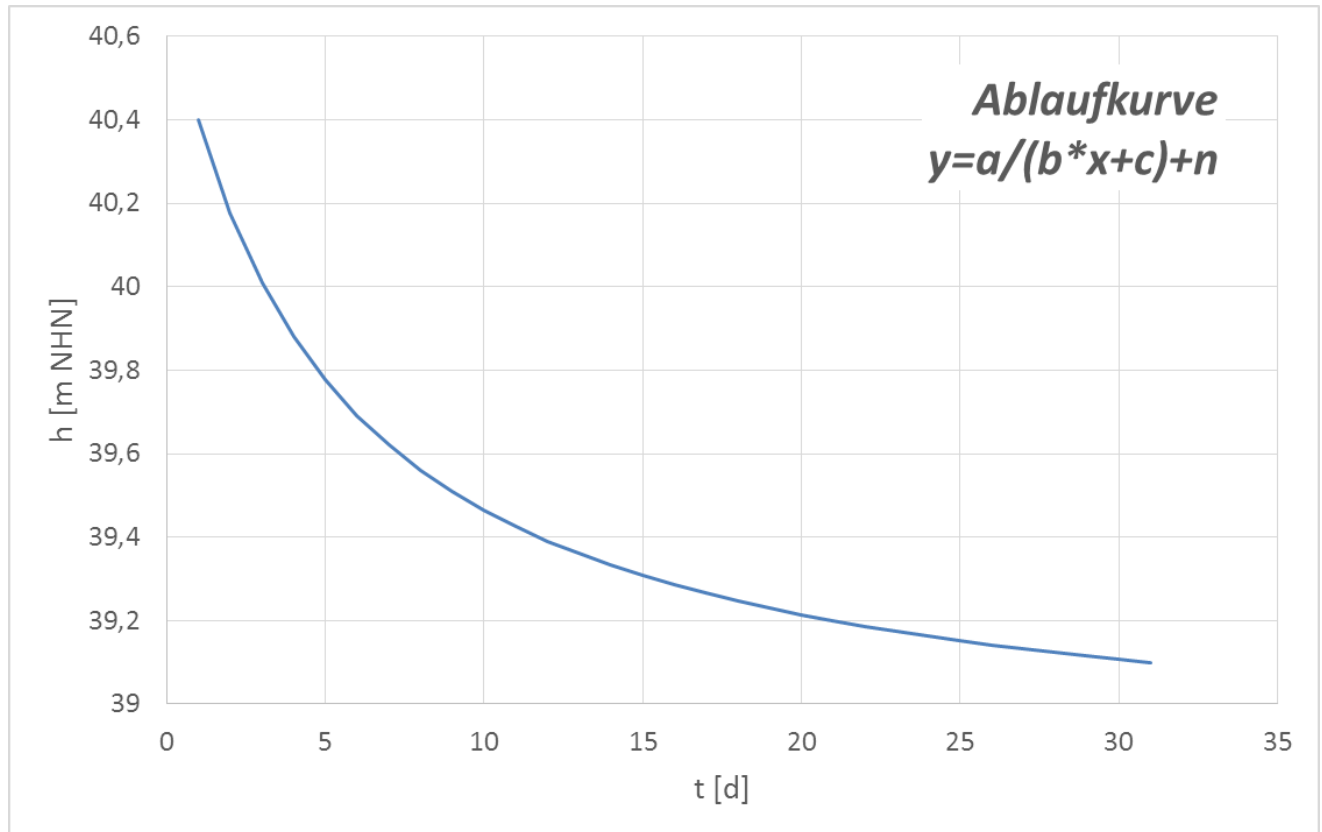
Abbildung 20 zeigt die Oberflächenwasserspiegel in der Eiserlake und der Schnellen Havel (vereinfacht) für die Staubewirtschaftung der Gräben und für das Winterhochwasser der Schnellen Havel. Der Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel wurde der Wasserspiegellagenberechnung [U11] für  $MQ=1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $HQ=8 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen.



**Abbildung 20: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 2 für das Szenario Winterhochwasser**

Durch das Winterhochwasser Januar bis März mit  $HQ=8 \text{ m}^3/\text{s}$  kommt es gegenüber dem langjährig mittleren Abfluss zu einer Erhöhung des Oberflächenwasserspiegels in der Schnellen Havel und damit verbunden mit einer Auffüllung der Talaue. Der Wasserspiegelanstieg von 39,1 m NHN bis 40,4 m NHN [U11] vollzieht sich linear in den ersten 14 Tagen dieses Zeitraums.

Der Wasserspiegelrückgang durch das Leerlaufen des Überschwemmungsgebietes wird durch eine Exponentialfunktion innerhalb von 4 Wochen im April genähert. Abbildung 21 dokumentiert die mit den in Abschnitt 1.5.2 dokumentierten Parametern ( $a=9,36$ ;  $b=1$ ;  $c=5$ ;  $n=38,84$ ) ermittelte Ablaufkurve.

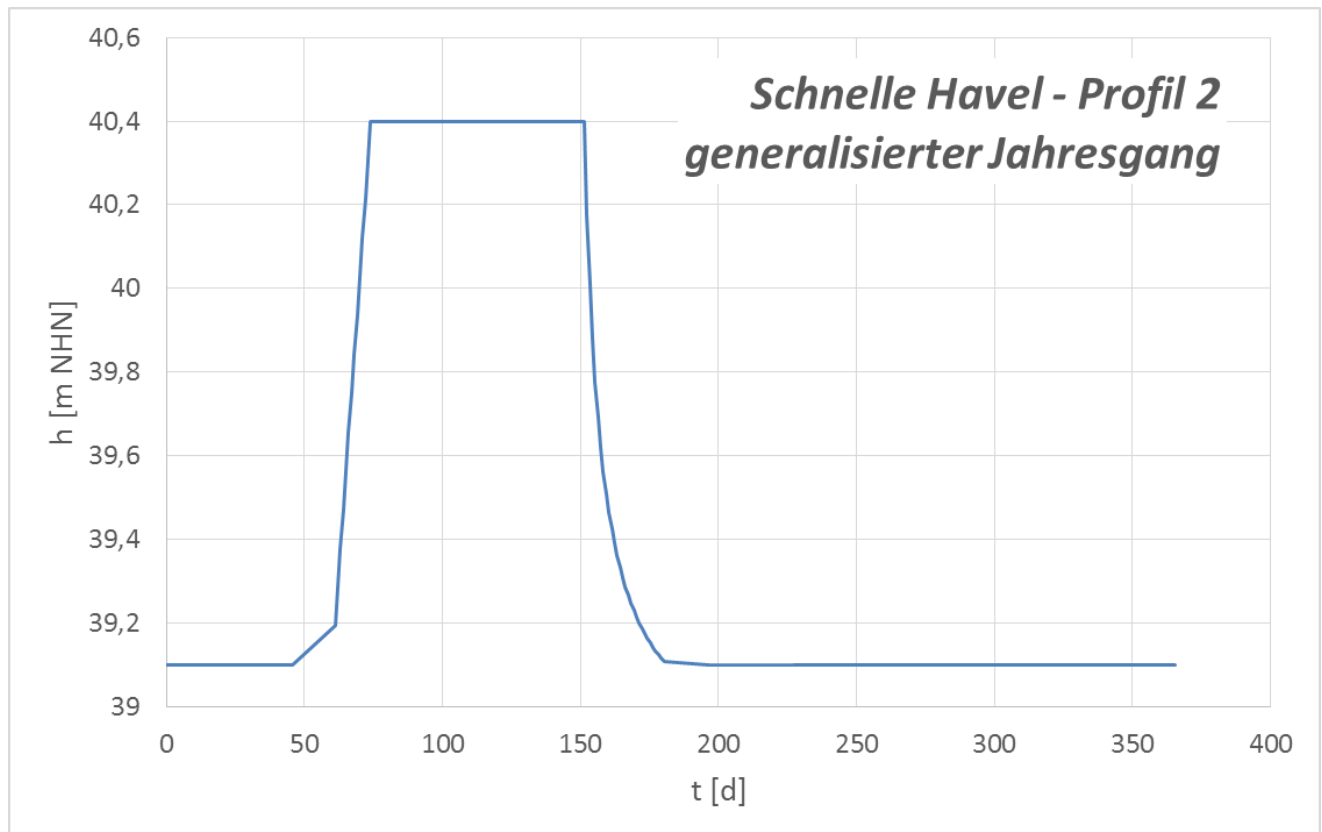


**Abbildung 21: Ablaufkurve der Schnellen Havel am Profil 2**

Abbildung 22 zeigt den zeitabhängigen Oberflächenwasserspiegel (Jahresgang) für die Schnelle Havel am Profil 2 unter Berücksichtigung des Winterhochwassers.

Das Winterhochwasser findet bezogen auf das hydrologische Jahr in drei Phasen statt:

- der Einstau vom 45. bis 74. Tag,
- die Plateauphase vom 75. bis 151. Tag und
- der Ablauf vom 152. bis 180. Tag.



**Abbildung 22: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 2**

## 2.2.2 Simulation des Jahresgangs

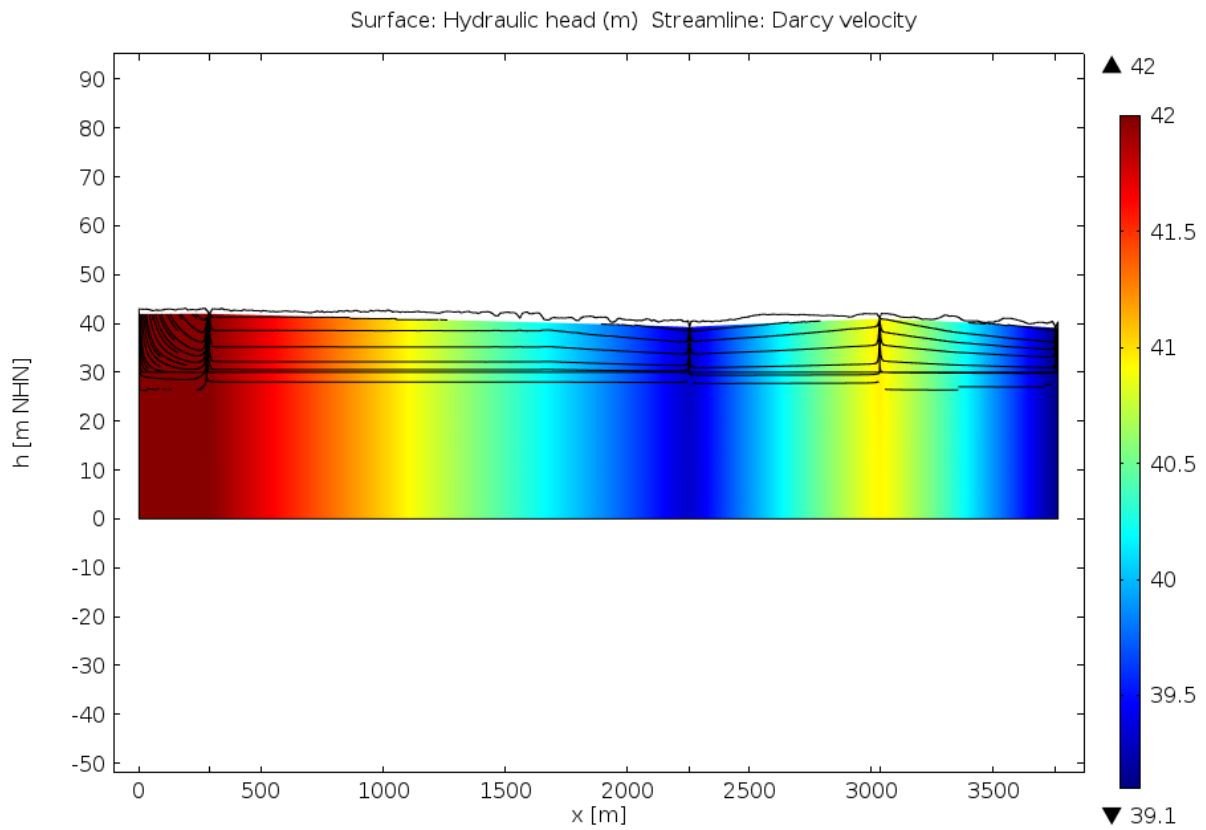
### 2.2.2.1 Quasi stationäre Strömung

Für die Bewertung der langfristig mittleren Grundwasserströmung erfolgte zunächst die Simulation der quasi stationären Strömung, welche ebenfalls als Anfangsbedingung für die Simulation der zeitabhängigen Strömung dient.

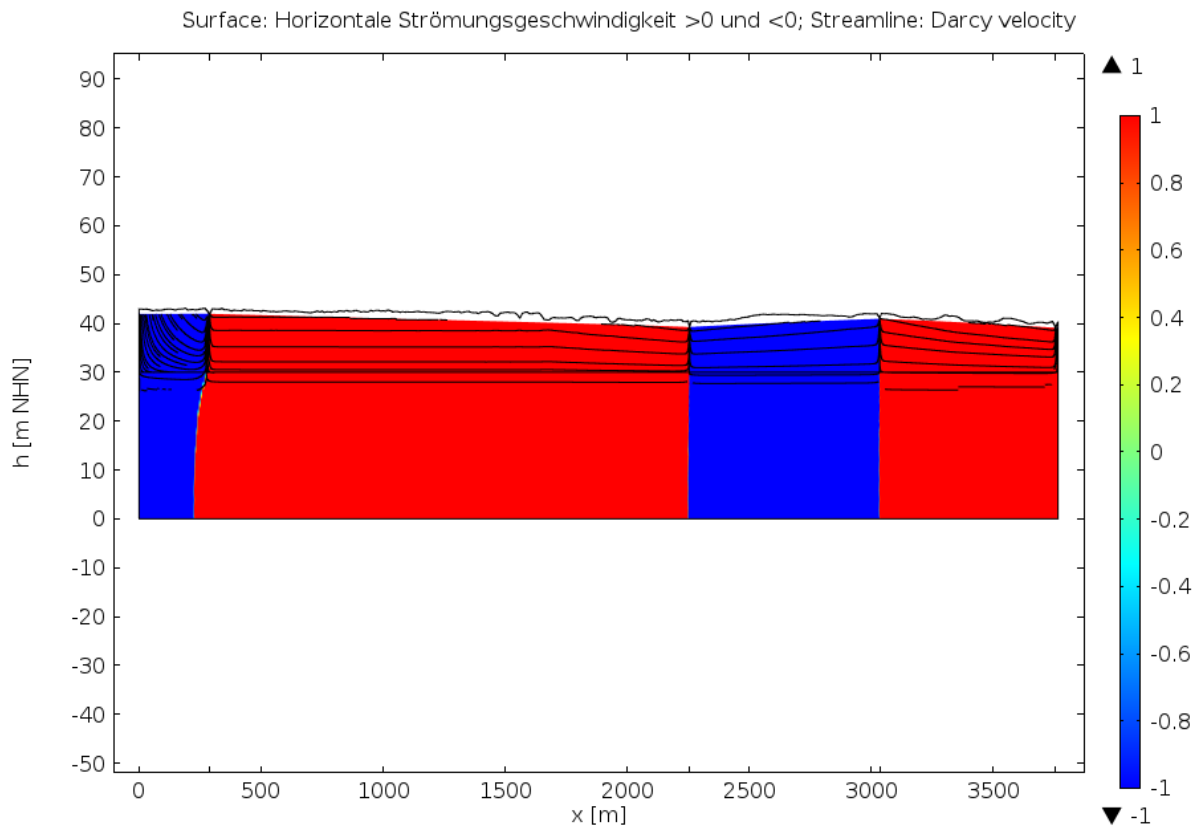
Abbildung 23 zeigt die Verteilung der Grundwasserspiegelhöhen im obersten Grundwasserleiter und den berücksichtigten liegenden Grundwasserstauer gemeinsam mit den Stromlinien für den obersten Grundwasserleiter.

Deutlich erkennbar ist der Einfluss der Meliorationsgräben auf die Grundwasserdynamik. Auf Grund ihrer Oberflächenwasserspiegelhöhen wirken sie bzgl. des Grundwasserkörpers influent bzw. effluent, was zur Ausbildung von Grundwasserscheiden führt.

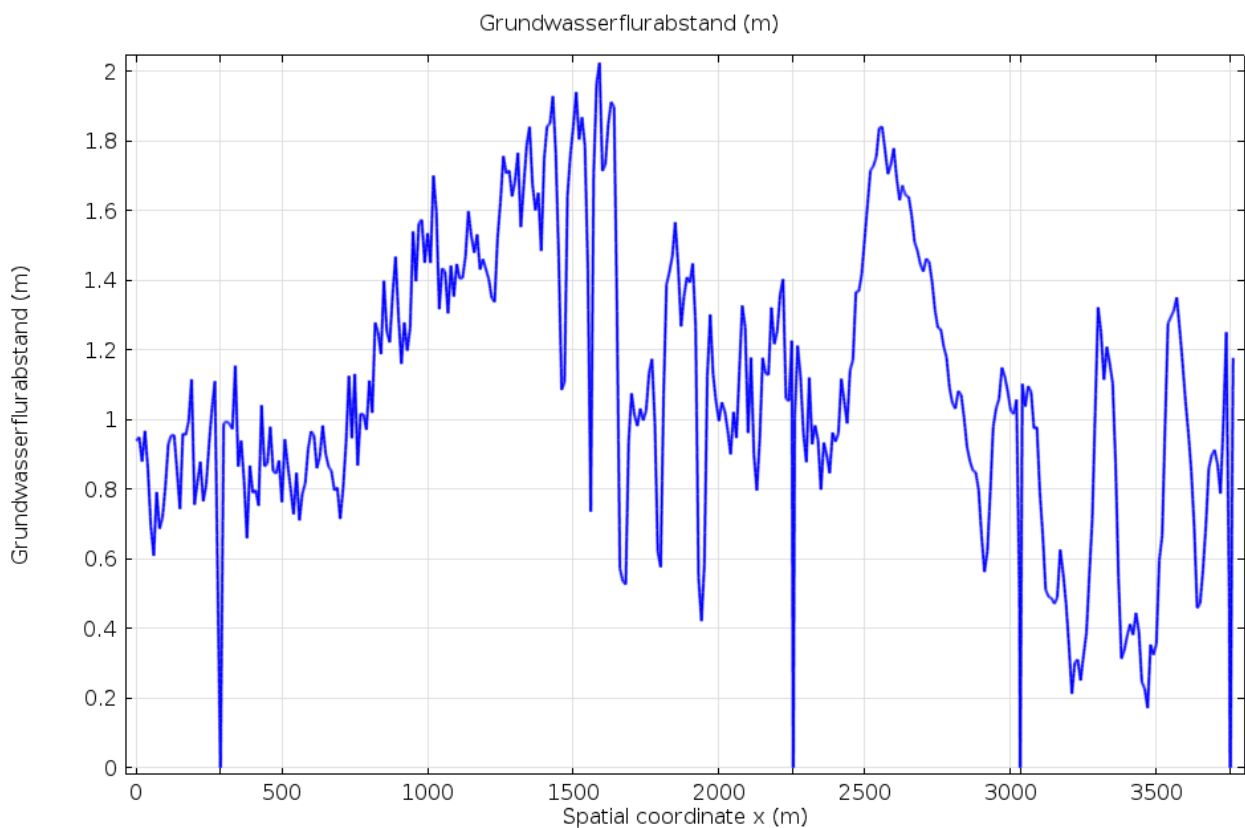
Abbildung 24 zeigt in einer Klassifizierung der Darcy-Geschwindigkeiten (Grundwasserströmungsgeschwindigkeit) die Strömungsrichtung West nach Ost bzw. Ost nach West. Demnach ist eine deutliche Beeinflussung des Grundwasserfernfeldes durch eine Oberflächenwasserspiegelerhöhung in der Schnellen Havel nur gegeben, wenn ihre Wasserspiegelhöhe über der des benachbarten Grabens L018 liegt.



**Abbildung 23: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung, Profil 2**



**Abbildung 24: Horizontale Grundwasserströmungsgeschwindigkeit im Profil 2 >0 (W nach E) und <0 (E nach W)**



**Abbildung 25: Grundwasserflurabstand für die quasi stationäre Strömung im Profil 2**



Abbildung 25 zeigt den Grundwasserflurabstand im Profil 2 für die quasi stationäre Grundwasserströmung.

### 2.2.2.2 Zeitabhängige Strömung

Das Winterhochwasser bewirkt eine Grundwasseranreicherung, da die Schnelle Havel während dieser Zeit nicht mehr entwässernd sondern infiltrierend wirkt. Allerdings ist bereits am Profil 2 die Wirkung durch die Nähe der Meliorationsgräben mit ihrer aktuellen Bewirtschaftung stark eingeschränkt. Der Speichergewinn könnte größer und die Ablaufzeit länger sein, wenn unterstützend in den Gräben gestaut werden würde.

Abbildung 26 zeigt die berechneten Grundwasserspiegelhöhen für das Profil 2 zu unterschiedlichen Ausgabezeiten. Die Linie für den 151. Tag markiert den Wasserspiegel am Ende der Plateauphase. Deutlich zu erkennen ist, dass sich die Grundwasseraufhöhung im Profil im Wesentlichen auf die überflutete Aue beschränkt. Der Grundwasserspiegel im Profil außerhalb der Aue liegt in der Schwankungsbreite des Grundwassergangs verursacht durch die zeitabhängige Grundwasserneubildung.

Abbildung 27 zeigt den zugehörigen Grundwasserflurabstand. Negative Abstände markieren die überschwemmten Bereiche.

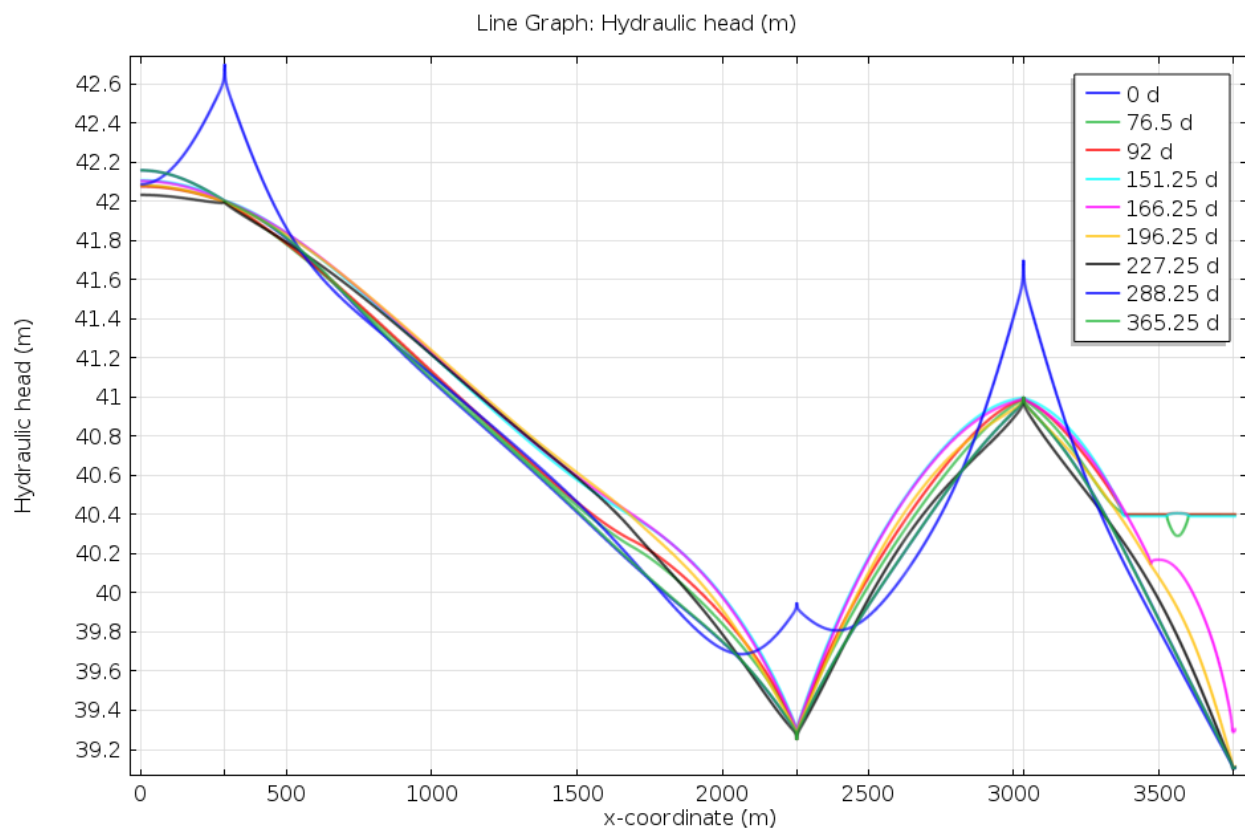


Abbildung 26: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 2

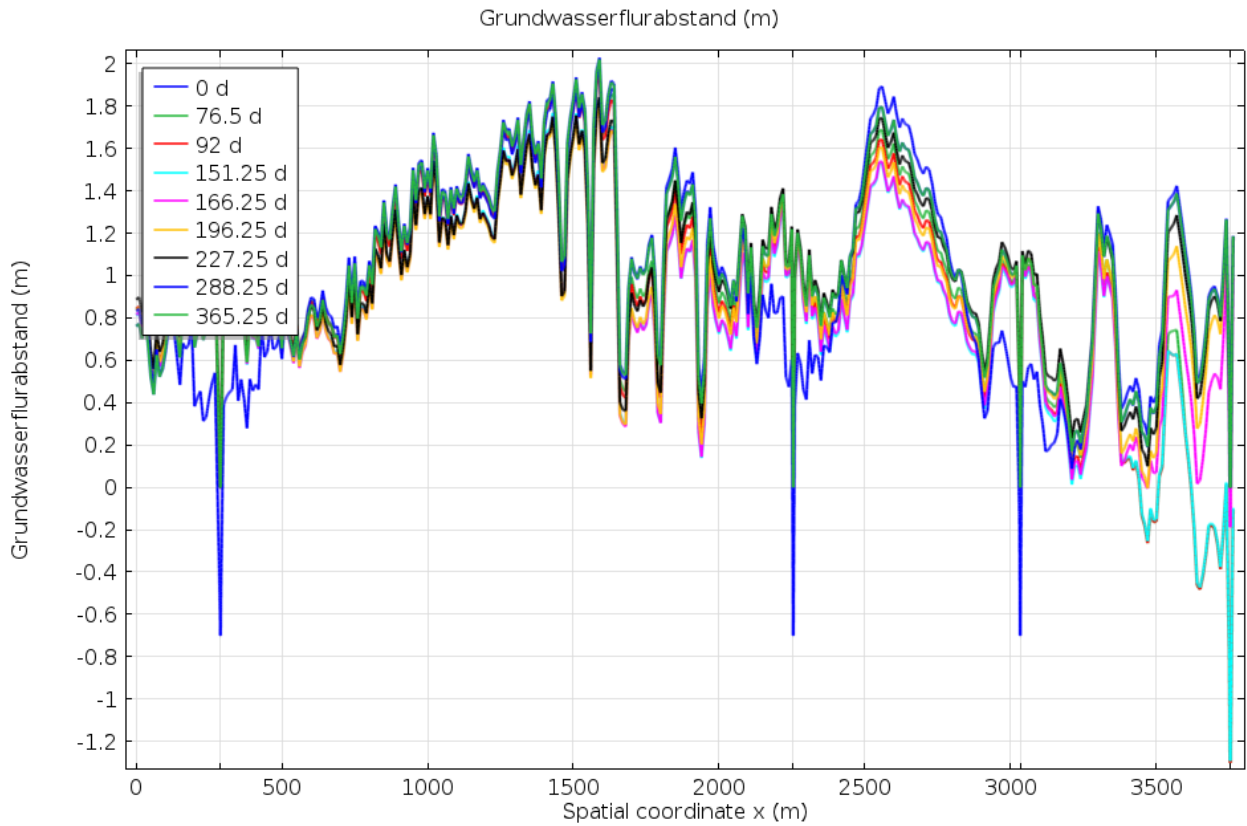


Abbildung 27: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 2

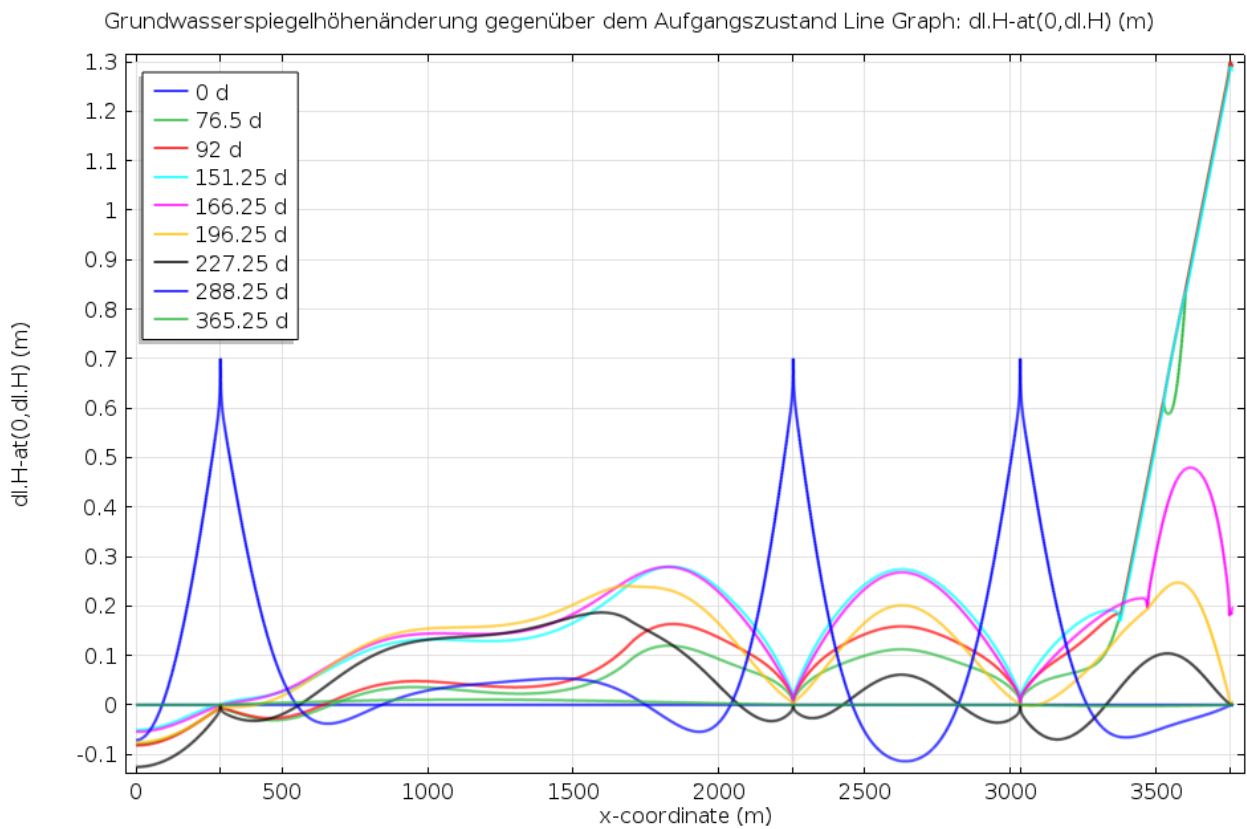
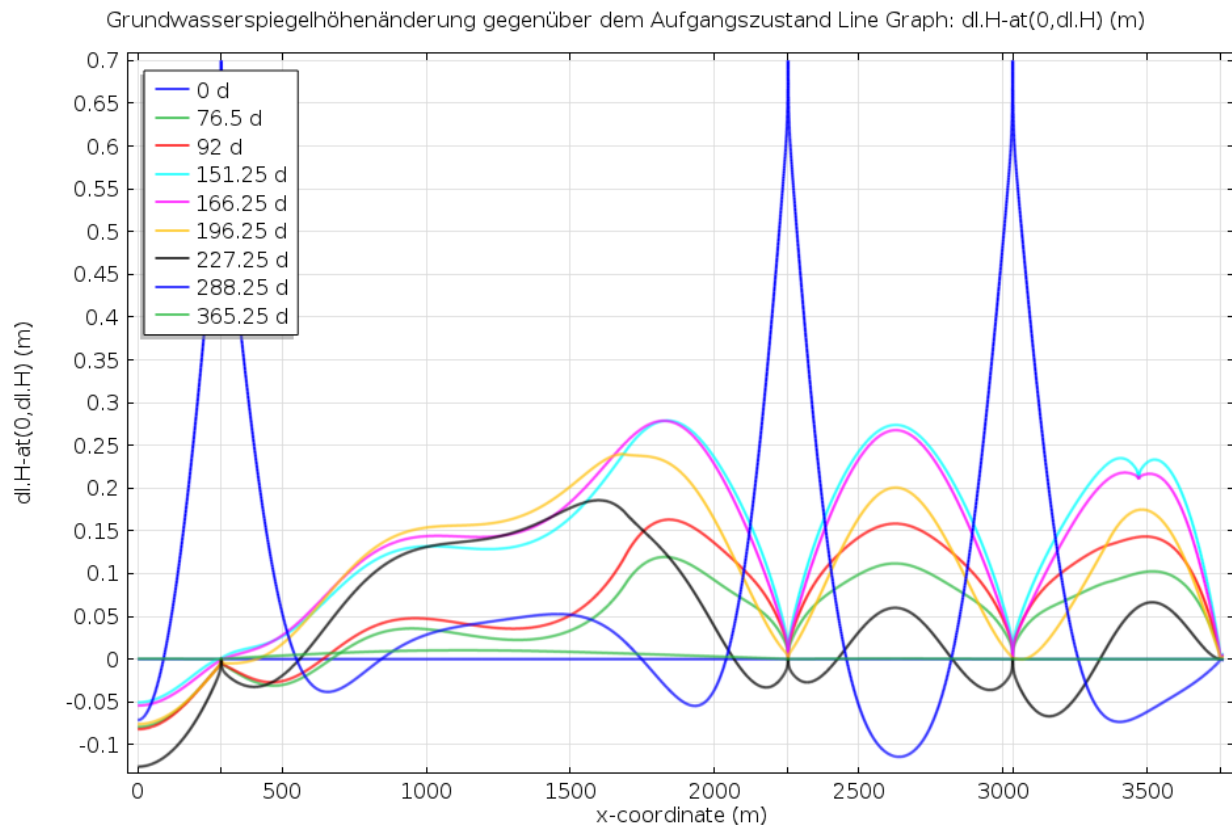


Abbildung 28: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 2



**Abbildung 29: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr ohne Winterhochwasser für das Profil 2**

Abbildung 28 dokumentiert die Grundwasserspiegeländerung gegenüber der quasi stationären Strömung am Ende des hydrologischen Jahres. Zu erkennen ist der Grundwasserspiegelanstieg durch das Winterhochwasser, der sich bedingt durch den Entwässerungsgraben L018 max. bis zur Profillänge  $x=3.034$  m ausdehnen kann. Der Anstieg beträgt 1,3 m, im Mittel 0,65 m.

Im Vergleich zu Abbildung 29 ohne Winterhochwasser beträgt der absolute Anstieg 1,3 m, der effektive<sup>2</sup> Anstieg im Mittel ca. 0,55 m  $((1,3 \text{ m} - 0,2 \text{ m})/2)$ .

Die Ablaufzeit des Grundwasserspeichers ergibt sich als Differenz aus 196 d und 151 d und beträgt 45 d.

### 2.3 Bewertung

In Auswertung der Simulationsergebnisse kann die in Abbildung 30 dargestellte Fläche ausgegrenzt werden, die durch das Winterhochwasser linksseitig des Voßkanals als Grundwasserspeicher wirkt. Ihre Flächengröße (A) beträgt ca. 10 km<sup>2</sup>. Es kann folgendes Speichervolumen abgeschätzt werden:

- mittlere Porosität (n): 0,25

<sup>2</sup> Der nutzbare Gewinn im Grundwasserspeicher.

- mittlere Speicherlamelle ( $M=(0,73 \text{ m}+0,55 \text{ m})/2$ ): 0,64 m
- Volumen ( $V=A*n*M$ ): 1.600.000 m<sup>3</sup>
- Mittlere Ablaufzeit ( $t=(137 \text{ d}+45 \text{ d})/2$ ): 91 d
- Volumenstrom ( $V/t$ ): 0,204 m<sup>3</sup>/s

Der zur Stützung des Abflusses in der Schnellen Havel nutzbare Gewinn beträgt mindestens 0,204 m<sup>3</sup>/s, da nur das linksseitige Einzugsgebiet der Schnellen Havel betrachtet wurde. Unter zusätzlicher Berücksichtigung des rechtsseitigen Einzugsgebiets der Schnellen Havel wird postuliert, dass der nutzbare Gewinn größer ausfällt.

Vorteil ist, dass der Volumenstrom aus dem Grundwasserspeicher in oberen Abschnitt der Schnellen Havel zufließt. So wird die Stützung dort wirksam, wo das Dargebot während der Sommermonate gering ist.

Einschränkend ist die kurze Ablaufzeit. Nach Leerlaufen der Aue steht der Speichergewinn im Grundwasser nur bis Juni zur Verfügung. Der zeitabhängige Zufluss aus dem Grundwasserspeicher wird anfangs am größten sein und mit der Zeit abnehmen, so dass im Juni nur noch ein geringer Volumenstrom zu erwarten ist.

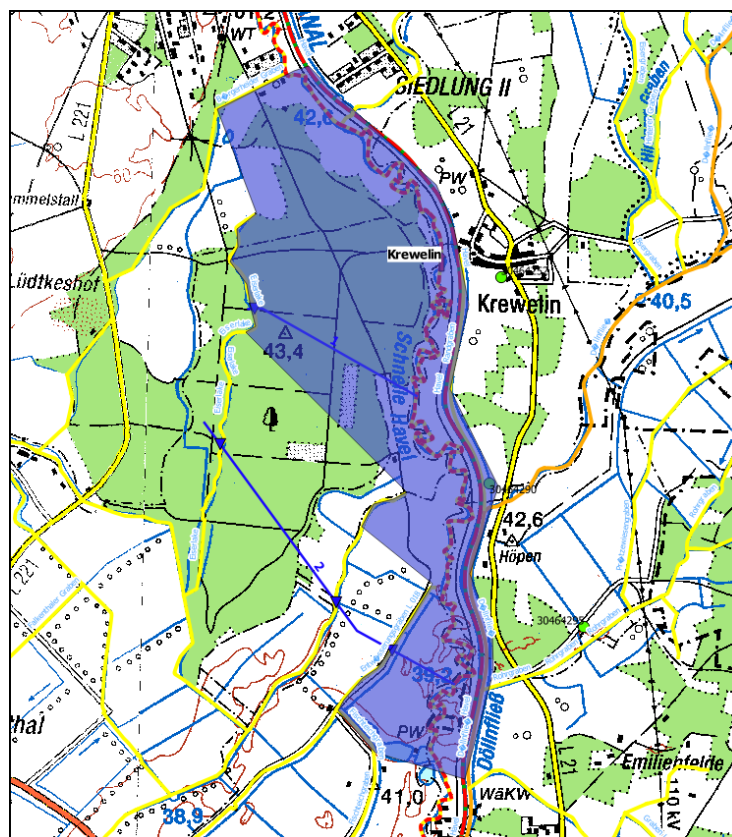


Abbildung 30: Grundwasserspeicher wirksame Fläche

Der Speichergewinn könnte möglicherweise größer und die Ablaufzeit länger sein, wenn unterstützend in den Gräben gestaut werden würde.

### 3 Hydrogeologische Bewertung der Wirkung der Wehre

#### 3.1 Vertikalschnittmodell Profil 3

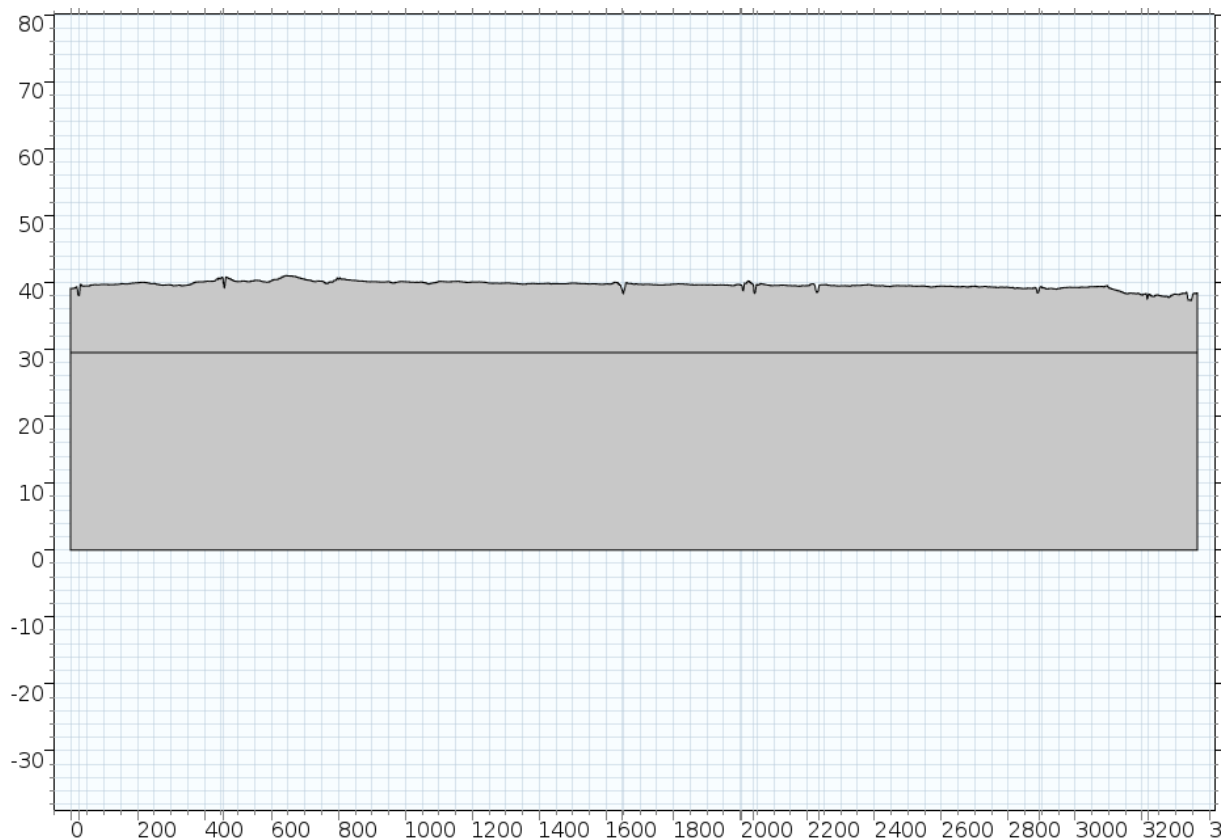
##### 3.1.1 Modellaufbau

Im Rückstau des Wehres Neuholland liegt das Profil 3. Die Geländeoberkante entlang des Profils wurde aus dem DGM1 extrahiert und für den Modellaufbau berücksichtigt.

Repräsentativ für das Profil 3 ist der Aufschluss (GWM des Landesmessnetzes) 31464700, der mit einer Teufe von 26 m tief genug ist und im Liegenden des obersten Grundwasserleiters einen mächtigen Grundwasserstauerkomplex (>15m) nachweist. Daraus ergibt sich für das Profil 3 eine Unterkante des obersten Grundwasserleiters bei 29,5 m NHN.

Abbildung 31 zeigt den Aufbau des Vertikalschnittmodells, welches den obersten Grundwasserleiter und schematisch den liegenden Grundwasserstauerkomplex abbildet. Der Fließgraben quert das Profil bei  $x=25$  m, die Schnelle Havel quert das Profil bei  $x=3.218$  m. Gut zu erkennen sind ebenfalls die Querungen der Meliorationsgräben bei  $x=457$  m, 1.648 m, 2.004 m, 2.039 m, 2.233 m und 2.892 m.

Die Geometrie wurde mit einem Finite-Elemente-Netz mit einer maximale Gitterweite von 5 m diskretisiert.



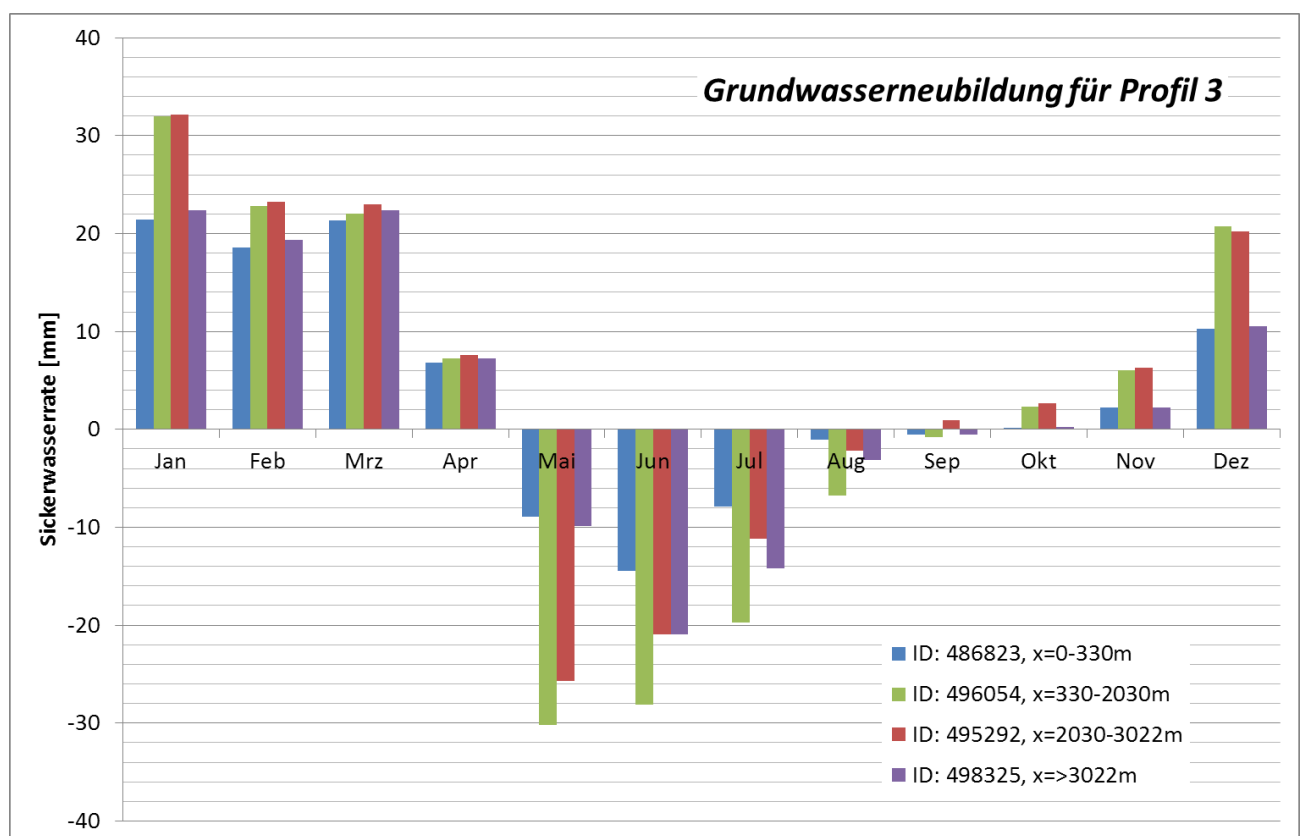
**Abbildung 31: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 3. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].**

Geohydraulische Kennwerte:

	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Porosität [%]
Oberster Grundwasserleiter	$1 \cdot 10^{-4}$	25
Stauerkomplex	$1 \cdot 10^{-6}$	5

Randbedingungen:

Die Grundwasserneubildung wurde entsprechend der Profillage aus dem Landesmodell entnommen [U6]. Das Profil liegt in den Hydrotopen mit den Flächen-IDs 486823, 496054, 495292 und 498325. Abbildung 32 verdeutlicht den innerjährlichen Gang der mittleren monatlichen Sickerwasserrate der Zeitreihe 1971 – 2005.



**Abbildung 32: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 3 bezogen auf die Profillänge x.**

Tabelle 4 dokumentiert die Simulationszeit und die durch das Modell berücksichtigten zugehörigen Sickerwasserraten.

Tabelle 4: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 3

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]			
	von	bis	ID: 486823, x=0-330m	ID: 496054, x=330-2030m	ID: 495292, x=2030-3022m	ID: 498325, x=>3022m
Jan	61	92	21,40	31,95	32,17	22,41
Feb	92	120,25	18,57	22,83	23,24	19,31
Mrz	120,25	151,25	21,33	22,07	22,99	22,39
Apr	151,25	181,25	6,82	7,24	7,61	7,25
Mai	181,25	212,25	-8,94	-30,20	-25,72	-9,89
Jun	212,25	242,25	-14,45	-28,13	-20,93	-20,92
Jul	242,25	273,25	-7,92	-19,69	-11,13	-14,20
Aug	273,25	304,25	-1,04	-6,78	-2,13	-3,14
Sep	304,25	334,25	-0,58	-0,78	0,96	-0,57
Okt	334,25	365,25	0,18	2,33	2,62	0,24
Nov	0	30	2,24	6,06	6,33	2,23
Dez	30	61	10,24	20,69	20,19	10,55
Jahr			47,85	27,59	56,19	35,66

Abbildung 33 zeigt die Oberflächenwasserspiegel in dem Fließgraben, den Meliorationsgräben und der Schnellen Havel (vereinfacht) für das Szenario mit aktiven Wehren in den Betriebsvarianten offenes/geschlossenes Wehr. Der Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel wurde der Wasserspiegellagenberechnung [U11] für  $Q=1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen.

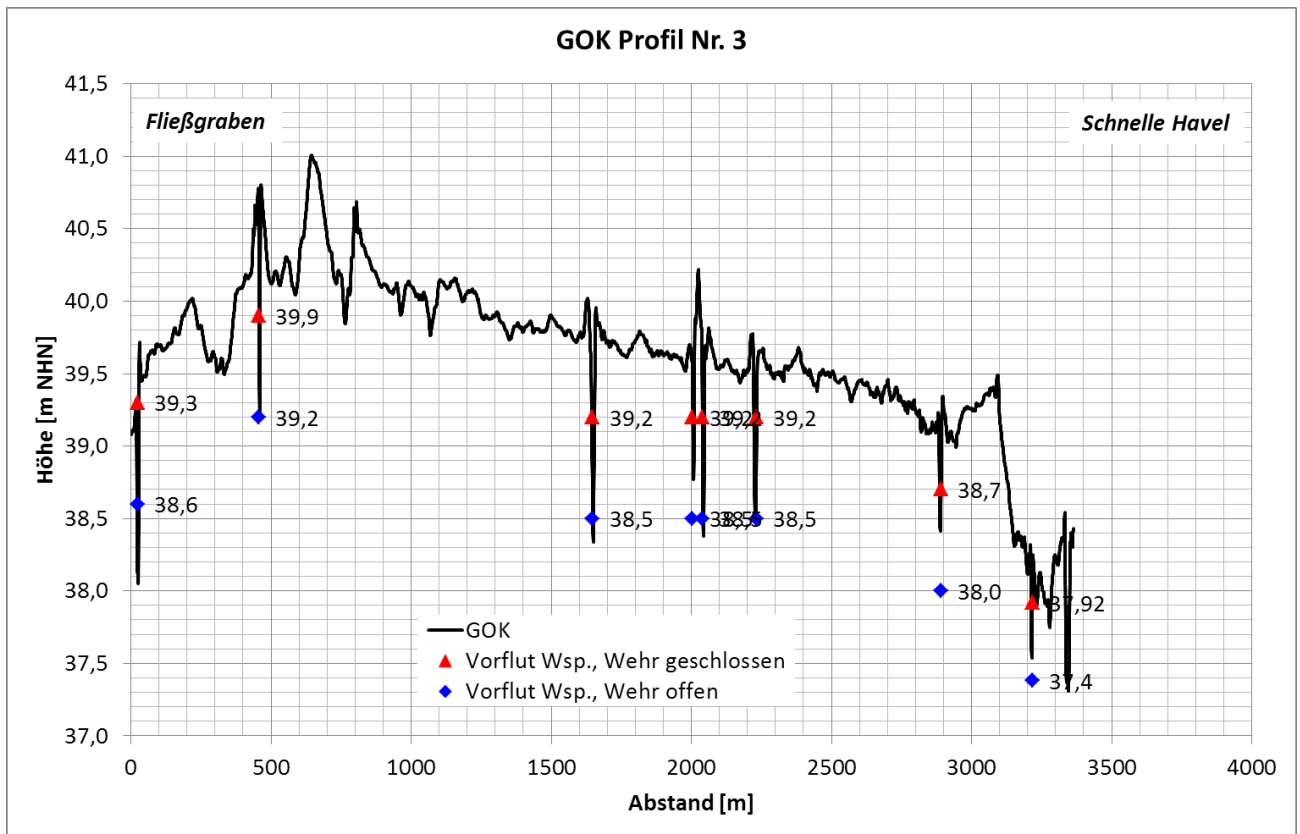


Abbildung 33: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 3 für das Szenario mit aktiven Wehren (offen/geschlossen)

Abbildung 34 zeigt die zeitabhängigen Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel am Profil 3.

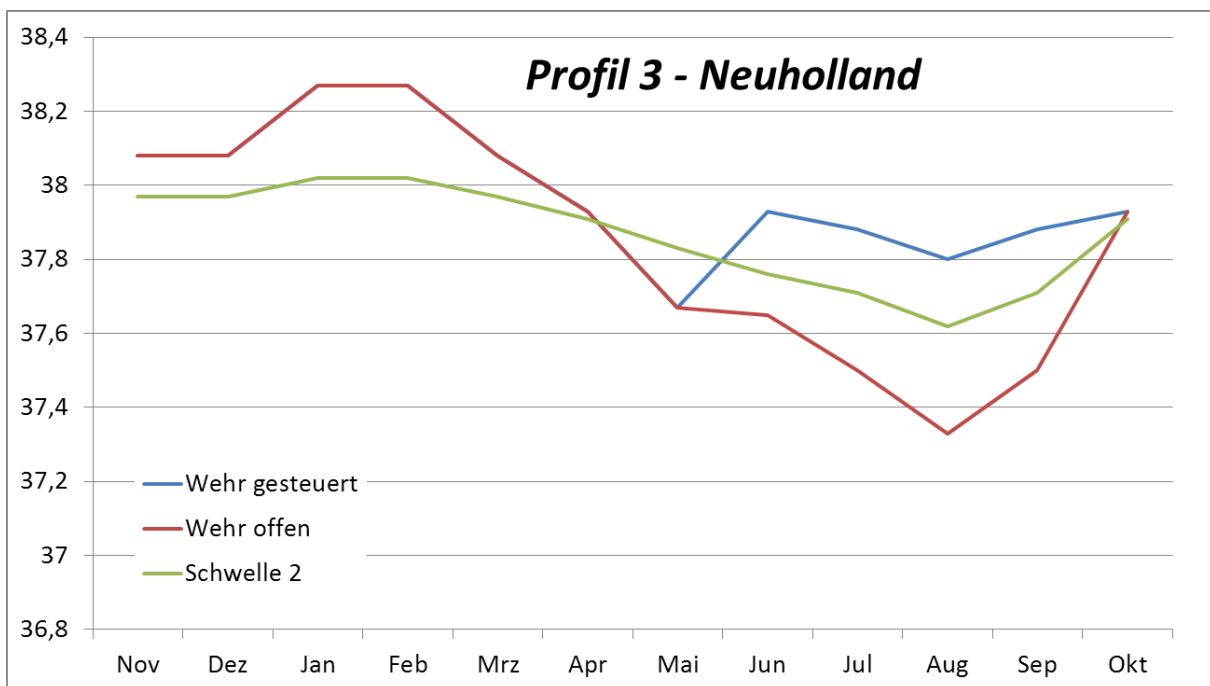


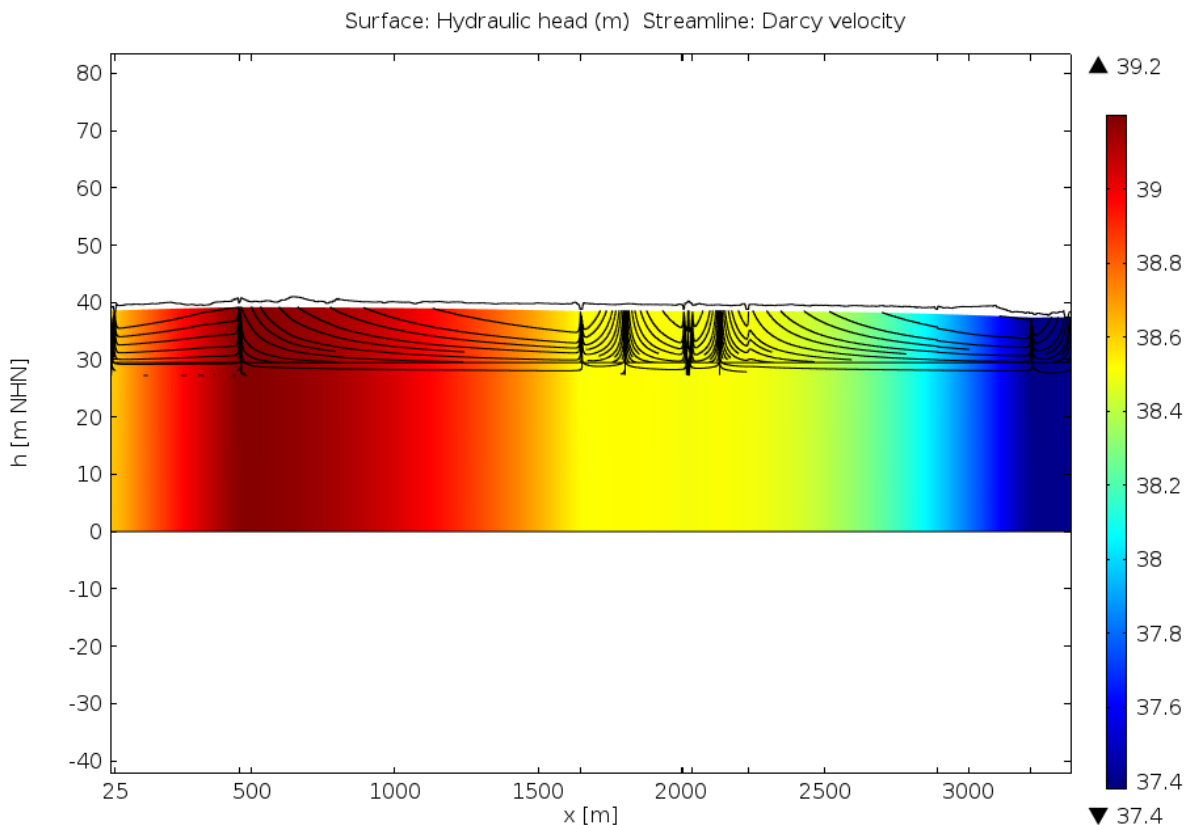
Abbildung 34: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 3



### 3.1.2 Szenario 1: Aktives Wehr

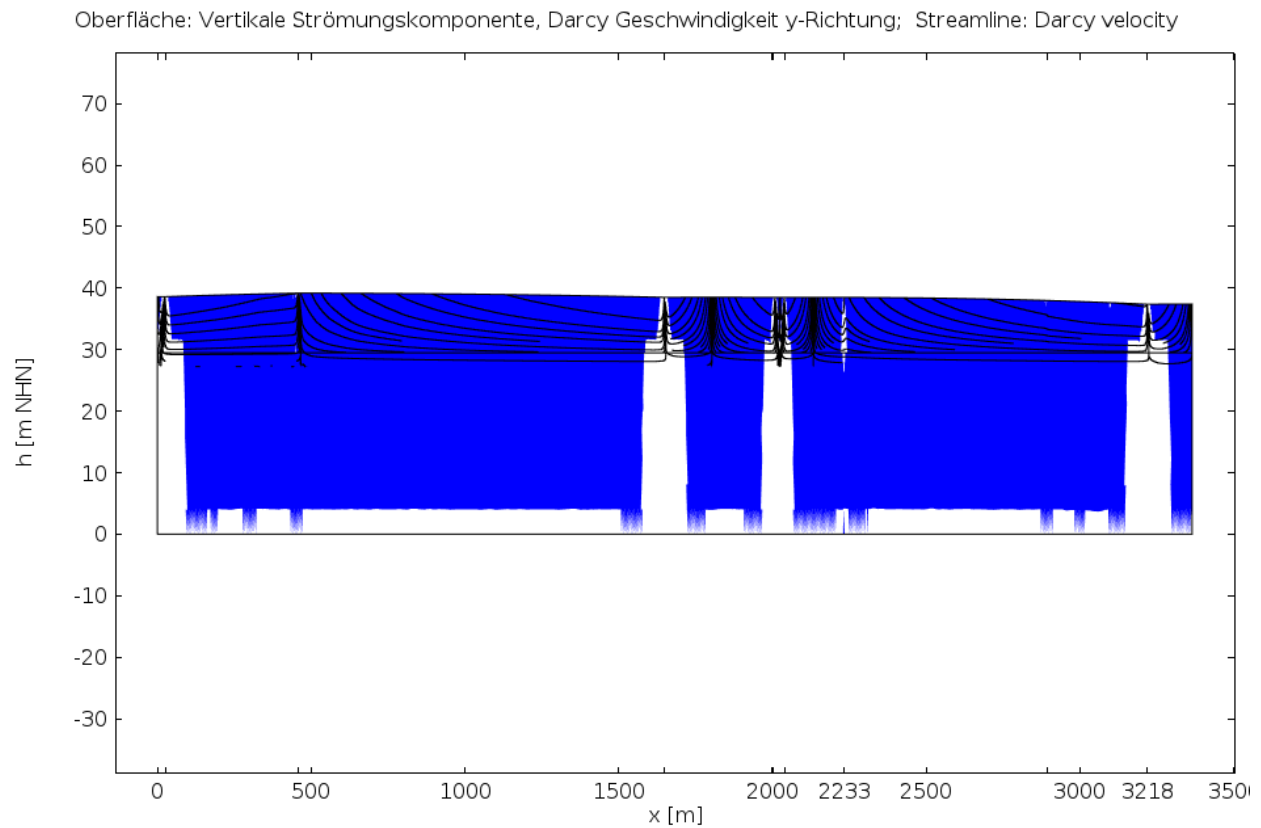
#### 3.1.2.1 Quasi stationäre Strömung

Abbildung 35 zeigt die für die quasi-stationäre Strömung simulierte Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe im oberen Grundwasserleiter und im berücksichtigten Teil des liegenden Grundwasserstauerkomplexes. Weiterhin zeigt die Darstellung die berechneten Stromlinien für den oberen Grundwasserleiter.



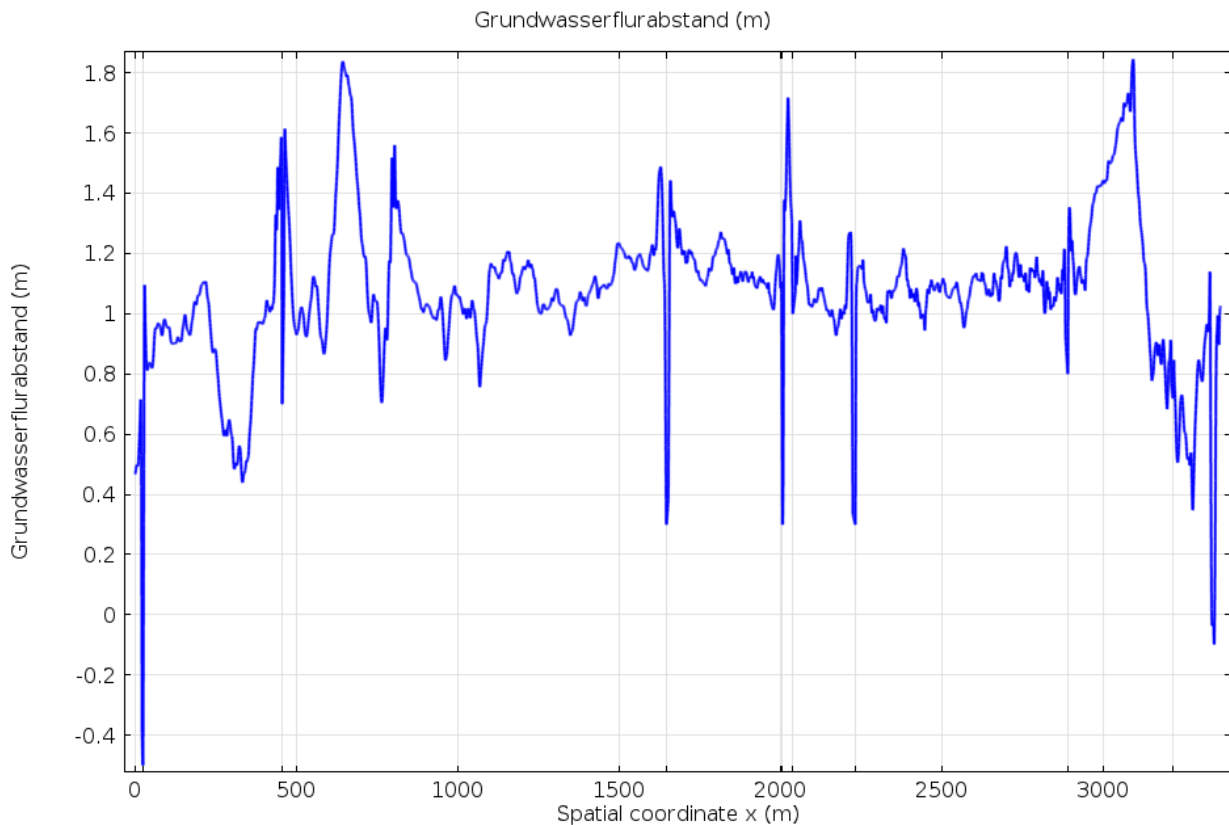
**Abbildung 35: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 1, Profil 3**

Abbildung 36 zeigt in der blauen Darstellung die vertikale Strömungskomponente in Richtung der Gravitation (Versickerung) zur Detektion speisender Bereiche (Grundwasserneubildung) und infiltrierender Vorfluter. Deutlich erkennbar ist an der Verbreitung der blauen Flächen, dass die Meliorationsgräben auf Grund der Höhe ihrer Oberflächenwasserspiegel teilweise infiltrieren und exfiltrieren. Grundwasserentlastend wirken der Fließgraben und die Schnelle Havel, sowie die Gräben bei 1.648 m, 2.004 m und 2.039 m.



**Abbildung 36: Darstellung der vertikalen Strömungskomponente in Richtung der Gravitation (Versickerung) zur Aushaltung speisender Bereiche und infiltrierender Vorfluter (Meliorationsgräben) im Profil 3.**

Abbildung 53 zeigt den langjährig mittleren Grundwasserflurabstand, welcher außer in den Auebereichen (Fließgraben, Schnelle Havel) durch den abgesenkten Wasserspiegel in den Bewässerungsgräben 0,8 ... >1 m beträgt.



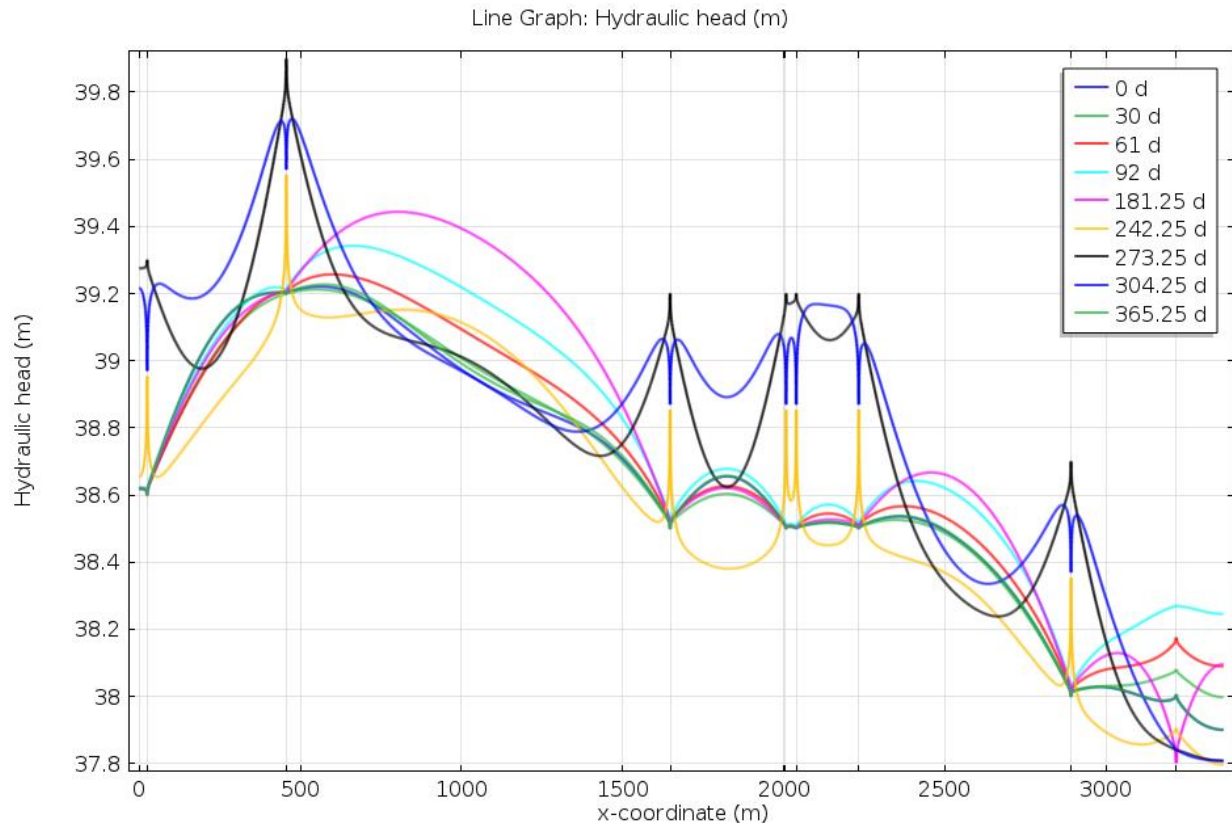
**Abbildung 37: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 1 für das Profil 3**

### 3.1.2.2 Zeitabhängige Strömung

Die Simulation der zeitabhängigen Grundwasserströmung unter Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Anlagen basiert auf dem im Abschnitt 1.5 dargelegten Betriebsregime der Wehre und der zeitabhängigen Grundwasserneubildung. Abbildung 38 zeigt die Grundwasserspiegelhöhen für das Profil 3 über das hydrologische Jahr. Erkennbar ist der Einfluss der Grundwasserneubildung, die bei gleichem Grabenwasserstand November bis Juli zu einer Aufhöhung der Grundwasseroberfläche bis max. ca. 40 cm führt. Aufgrund der geringen Neubildung während der Sommermonate ist in dieser Zeit eine nur geringe Aufhöhung feststellbar.

Der im Juli/August um +0,7 m eingestaute Grabenwasserstand führt nur zu einer lokalen Beeinflussung der Grundwasseroberfläche. Für eine generelle Auffüllung des Porenraumes ist der Zeitraum für den Einstau zu kurz. Ein deutlicher Einstauereffekt durch die Grabenstau ist für das Profil 3 in den Bereichen  $x=0 \dots 750$  m,  $x=1.500 \dots 2.500$  m und  $x>2.750$  m feststellbar.

Auf Grund des Höhenniveaus der Schnellen Havel hat die Staubewirtschaftung der Schnellen Havel nur einen lokalen Einfluss auf die Grundwasseroberfläche der Profillage für  $x>2.750$  m.

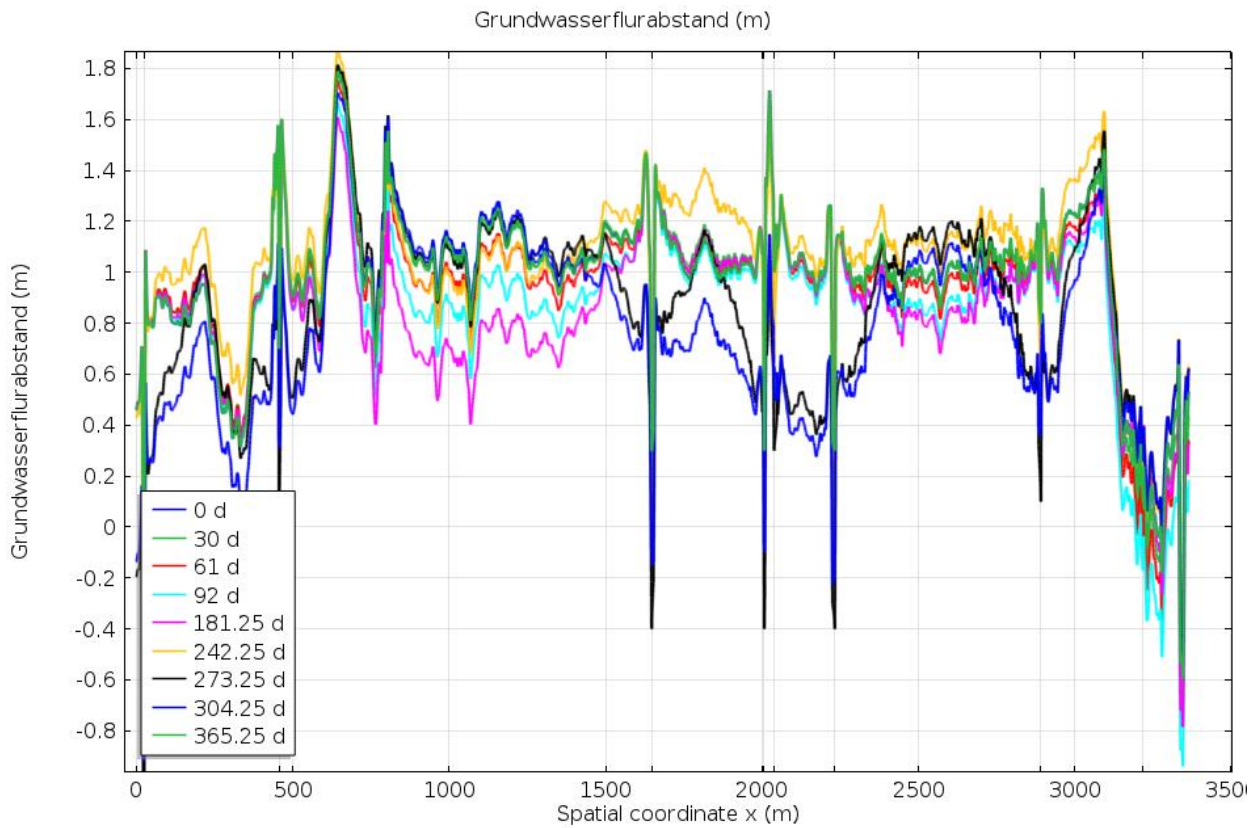


**Abbildung 38: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 3**

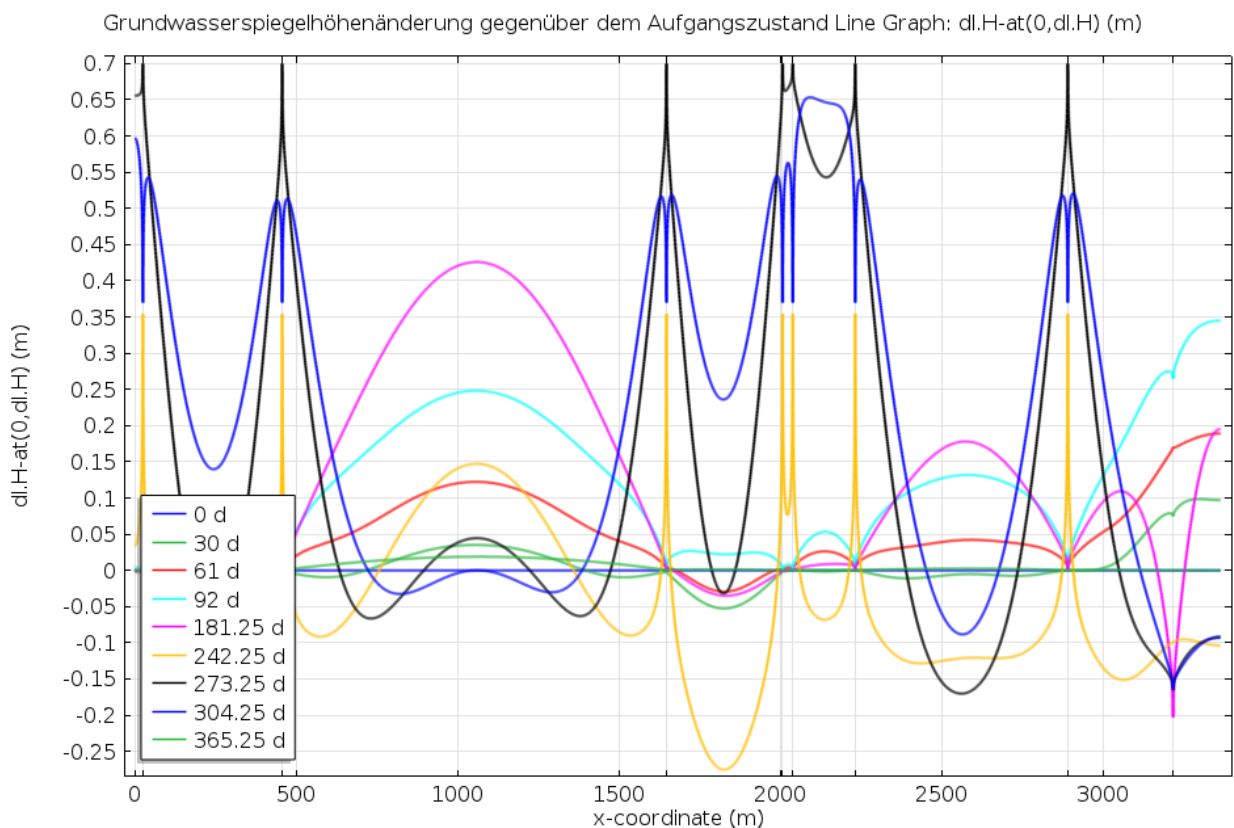
Abbildung 39 dokumentiert den zugehörigen zeitabhängigen Grundwasserflurabstand.

Abbildung 40 zeigt die Grundwasserspiegeländerung über das hydrologische Jahr, die durch die zeitabhängige Grundwasserneubildung und das Betriebsregime der wasserwirtschaftlichen Anlagen verursacht wird. Gegenüber der quasi-stationären Strömung mit einer langjährig mittleren Grundwasserneubildung sind deutliche Grundwasserspiegeländerungen feststellbar. Diese werden im hydrologischen Winter durch eine erhöhte Grundwasserneubildung und im hydrologischen Sommer durch geringe Grundwasserneubildung bzw. Zehrung bewirkt. Der Grabenweinstau überprägt diesen innerjährlichen Gang und bewirkt lokal eine Grundwasseraufhöhung in den Bereichen  $x=0 \dots 750 \text{ m}$ ,  $x=1.500 \dots 2.500 \text{ m}$  und  $x>2.750 \text{ m}$ . Dieser Einfluss klingt jedoch rasch nach Absenken des Grabenwasserstandes wieder ab, so dass sich in der kurzen Zeit keine großräumige Auffüllung des Porenraumes einstellt.

Die Untersuchung [U9] zum Grabeneinstau im Dezember und Januar (61 Tage) zeigte, dass während eines Einstaus von 2 Monaten im Winter bei jahreszeitlich bedingter erhöhter Grundwasserneubildung die Zeit unzureichend ist, um bei einem Abstand von 500 m vollständig bis zur Beetmitte zu wirken. In der Beetmitte konnte der Wasserspiegel während dieser Zeit unter den getroffenen Annahmen [U9] nur bis ca. 60% der gesamten Staulamelle angehoben werden, in 100 m Abstand von den Gräben bis ca. 78% der gesamten Staulamelle. Die Staulamelle beträgt in der genannten Untersuchung 45 cm und ist aus den Grundwasserganglinien der GWM 31464700 und 31454608 des Landesmessnetzes abgeleitet worden.



**Abbildung 39: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 3**



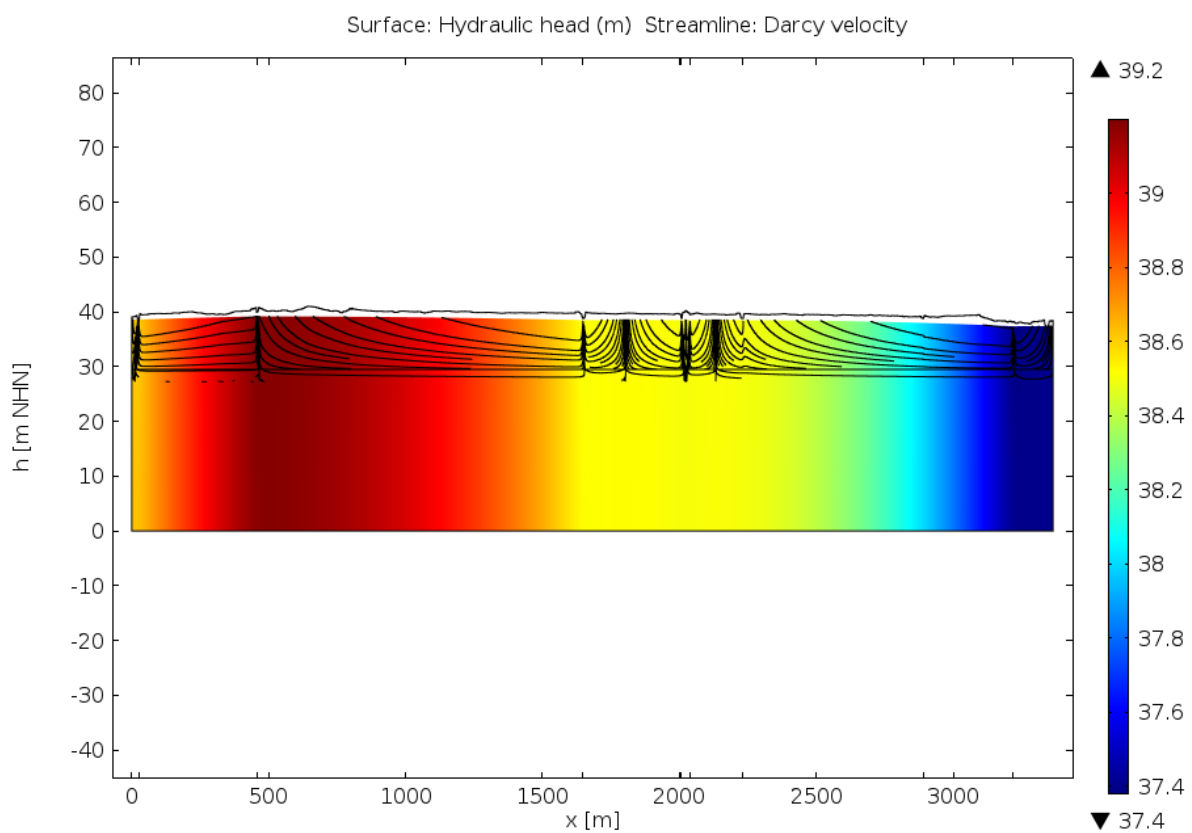
**Abbildung 40: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 3**

### 3.1.3 Szenario 2: Ohne Wehr

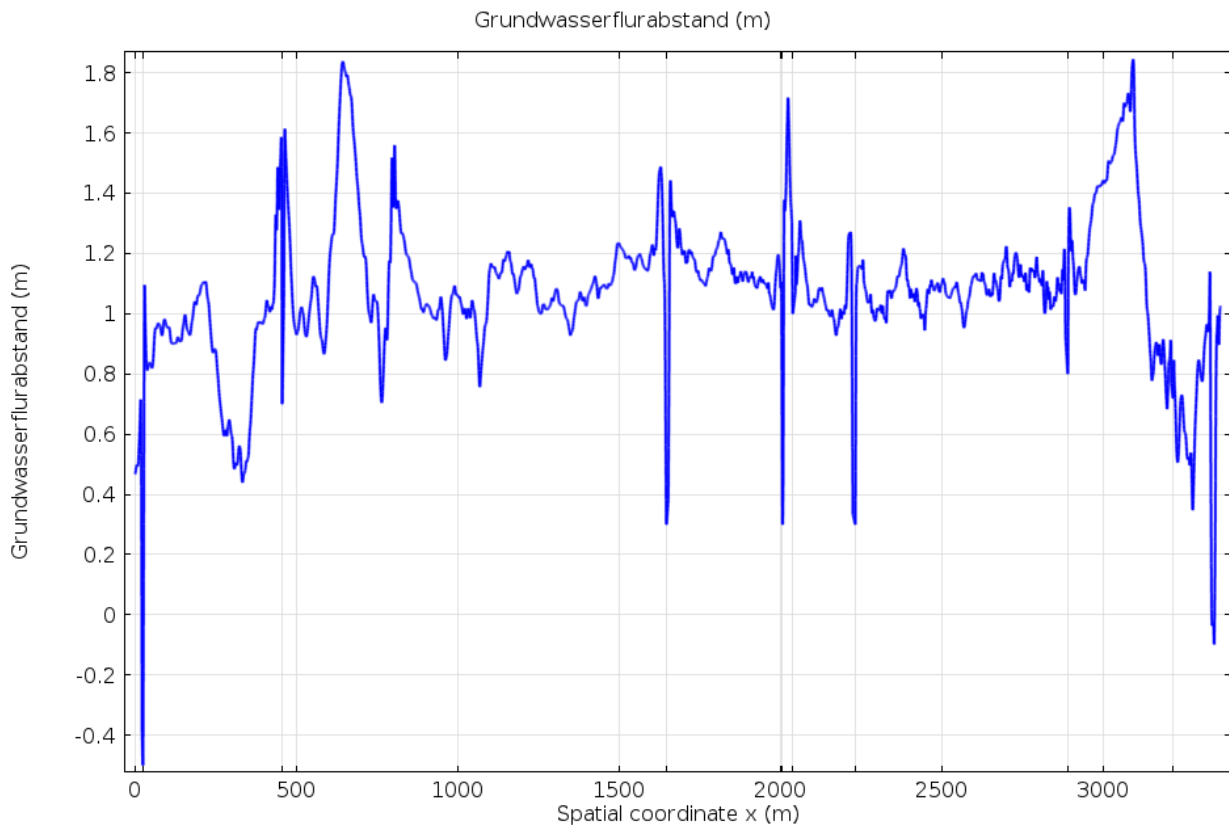
#### 3.1.3.1 Quasi stationäre Strömung

Für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2 mit rückgebauten Wehren beträgt der mittlere Oberflächenwasserspiegel der Schnellen Havel am Profil 3 37,87 m NHN (Abbildung 34, Schwelle). Die Oberflächenwasserspiegel der Meliorationsgräben und des Fließgrabens bleiben unverändert.

Abbildung 41 zeigt die Verteilung der Grundwasserspiegelhöhen und der Stromlinien für den oberen Grundwasserleiter. Abbildung 58 zeigt den zugehörigen Grundwasserflurabstand.



**Abbildung 41: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2, Profil 3**

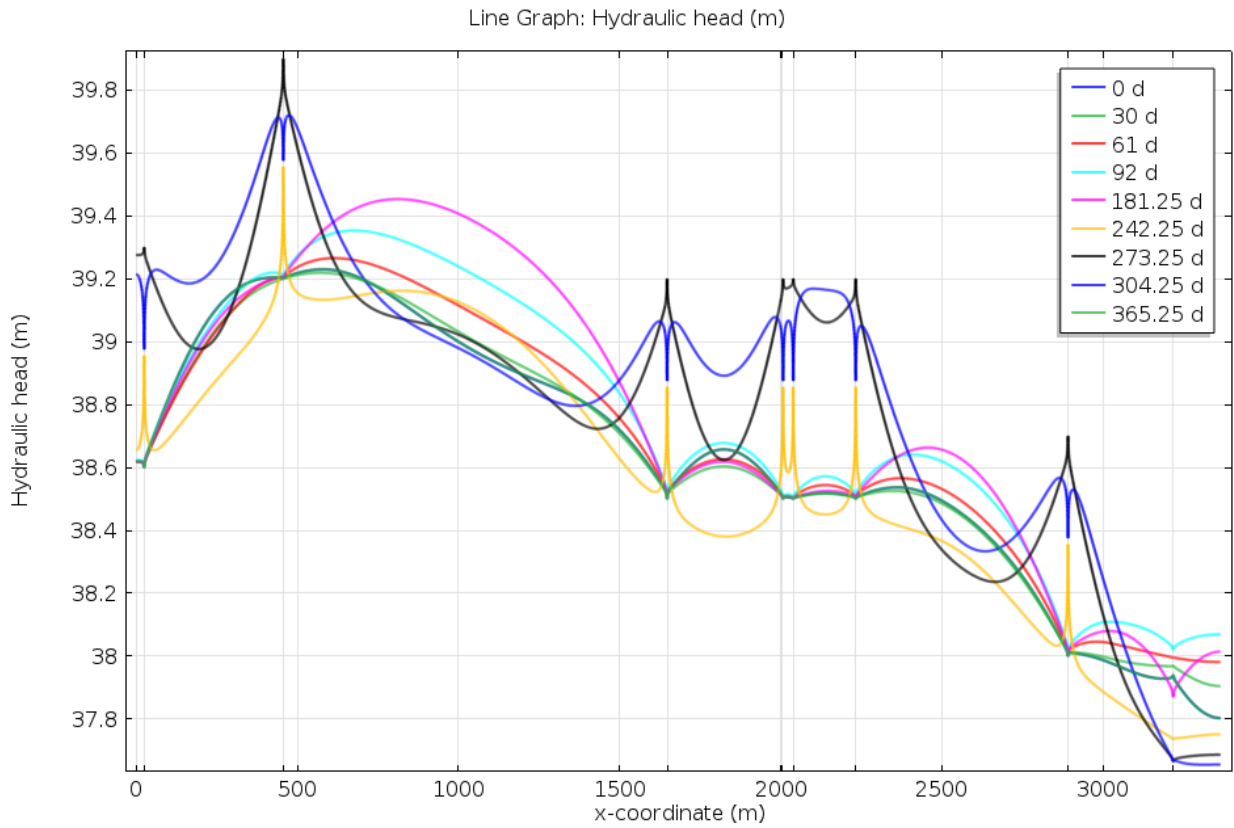


**Abbildung 42: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 2 für das Profil 3**

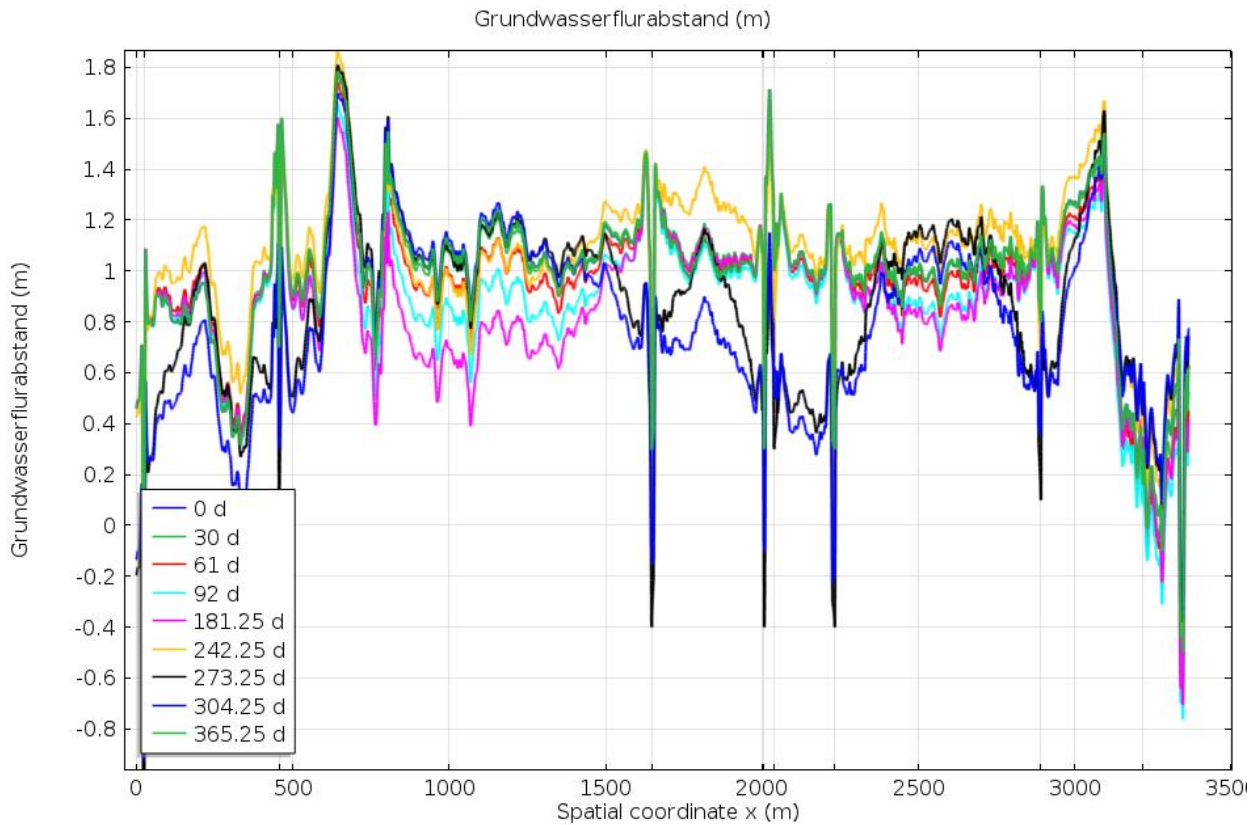
### 3.1.3.2 Zeitabhängige Strömung

Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen die Grundwasserspiegelhöhe und den Grundwasserflurabstand für das Profil 4 im Szenario 2. Im Vergleich mit Abbildung 38 und Abbildung 40 im Szenario 1 fällt auf, dass sich der Einfluss der rückgebauten Wehre auf die Grundwasserspiegelhöhe im Profil 3 nur auf den unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel auswirkt. Die Wasserstandsschwankungen auf der Talsandhochfläche werden durch Grundwasserneubildung, Abstrom und die Stauhaltung bestimmt. Daher zeigen sich im übrigen Teil des Profils die gleiche Grundwasserspiegelhöhenverteilung und -entwicklung wie im Szenario 1.

Die gleiche Situation veranschaulicht die Grundwasserspiegelhöhenänderung gegenüber dem quasi-stationären Ausgangszustand in Abbildung 45.

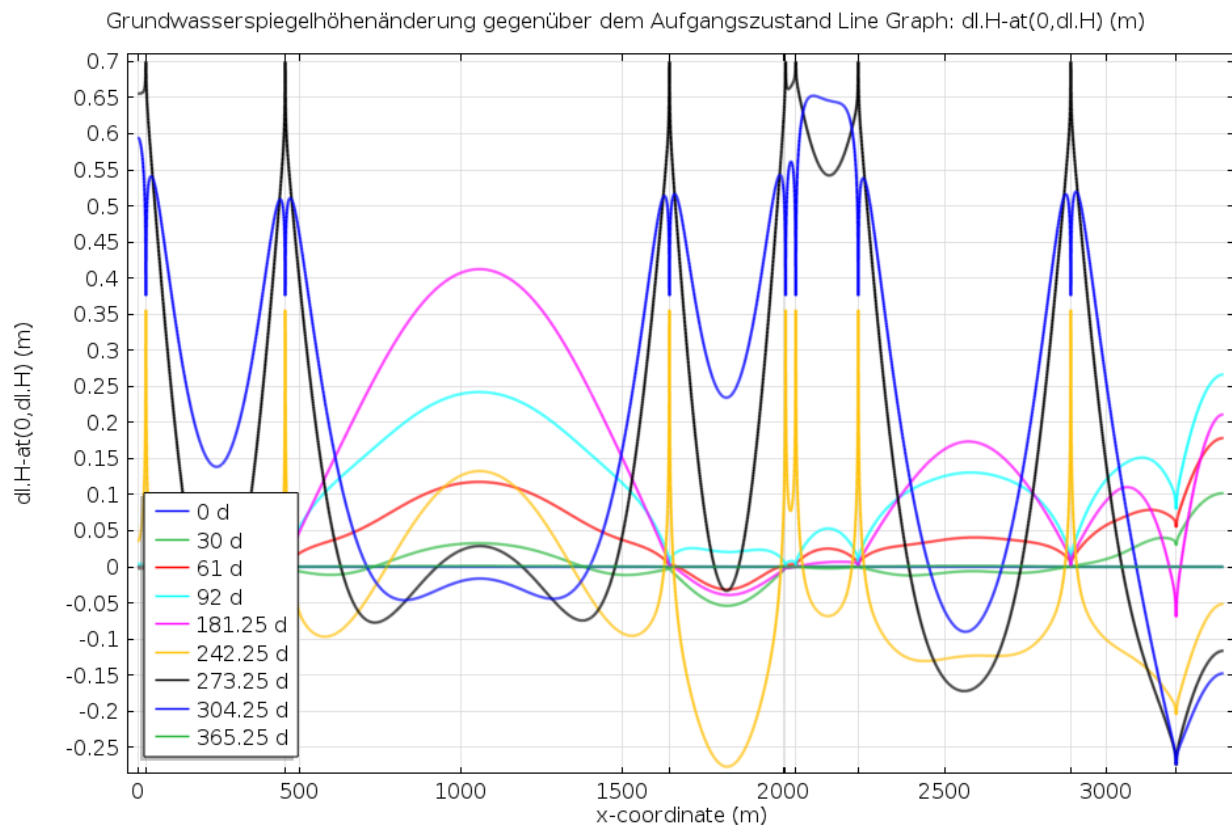


**Abbildung 43: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 3**



**Abbildung 44: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 3**





**Abbildung 45: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 3**

### 3.1.4 Bewertung

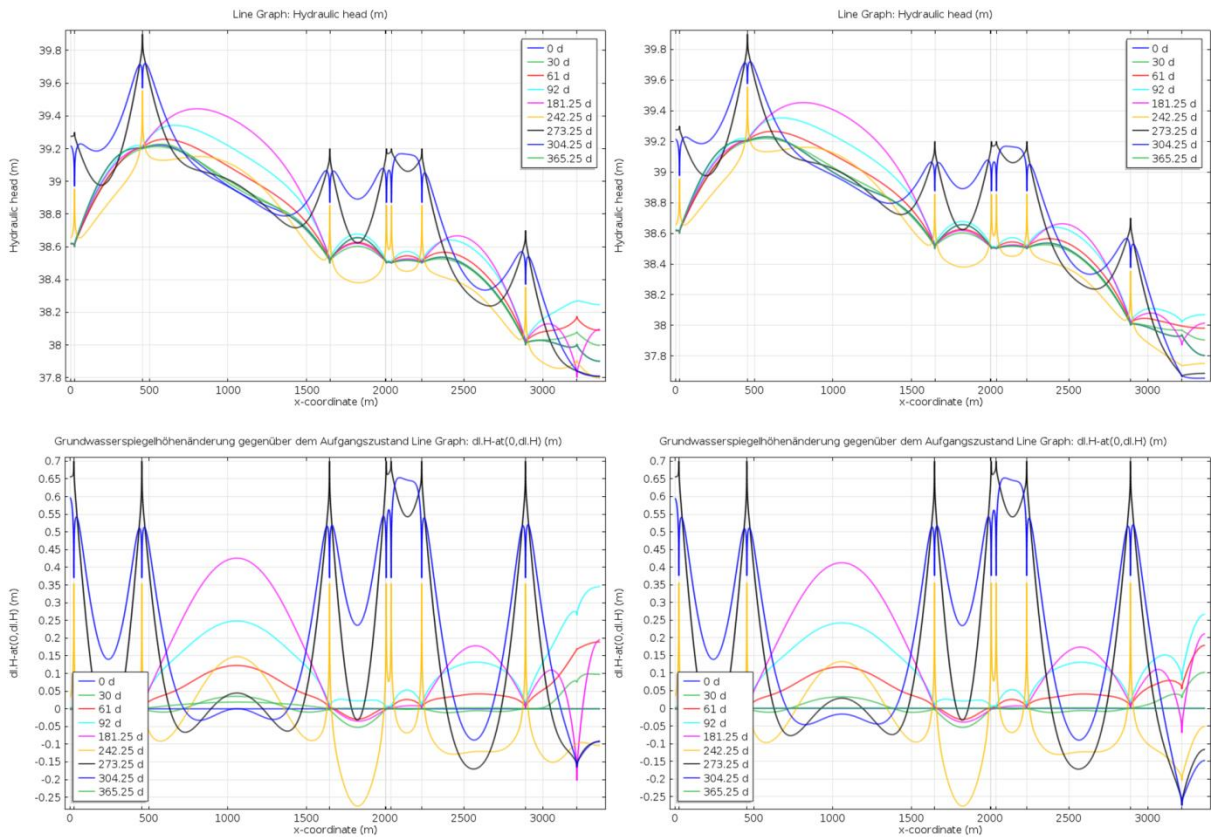
Zusammenfassend kann für das Profil 3 festgestellt werden, dass sich der Rückbau der Wehre in der Schnellen Havel unter mittleren Abflussbedingungen nur auf den unmittelbaren Bereich an der Schnellen Havel auswirkt. Auf der Talsandhochfläche im Bereich der Einstaubewässerung werden die Effekte kompensiert, so dass in diesem Bereich keine Beeinflussung der Grundwasseroberfläche durch den Rückbau des Wehrs in der Schnellen Havel zu erwarten ist. Zur Verdeutlichung fasst Abbildung 46 die Ergebnisse zusammen.

Abbildung 47 zeigt die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung durch den Rückbau des Wehres. Dargestellt sind die Differenzen der simulierten Grundwasserspiegelhöhen zwischen den Szenarios 2 und 1 zu unterschiedlichen Zeiten. Deutlich erkennbar ist, dass eine Beeinflussung der Grundwasserspiegelhöhe  $abs(\Delta h) > 10\text{cm}$  nur im unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel ( $x=3.218\text{ m}$ ) zu erwarten ist.

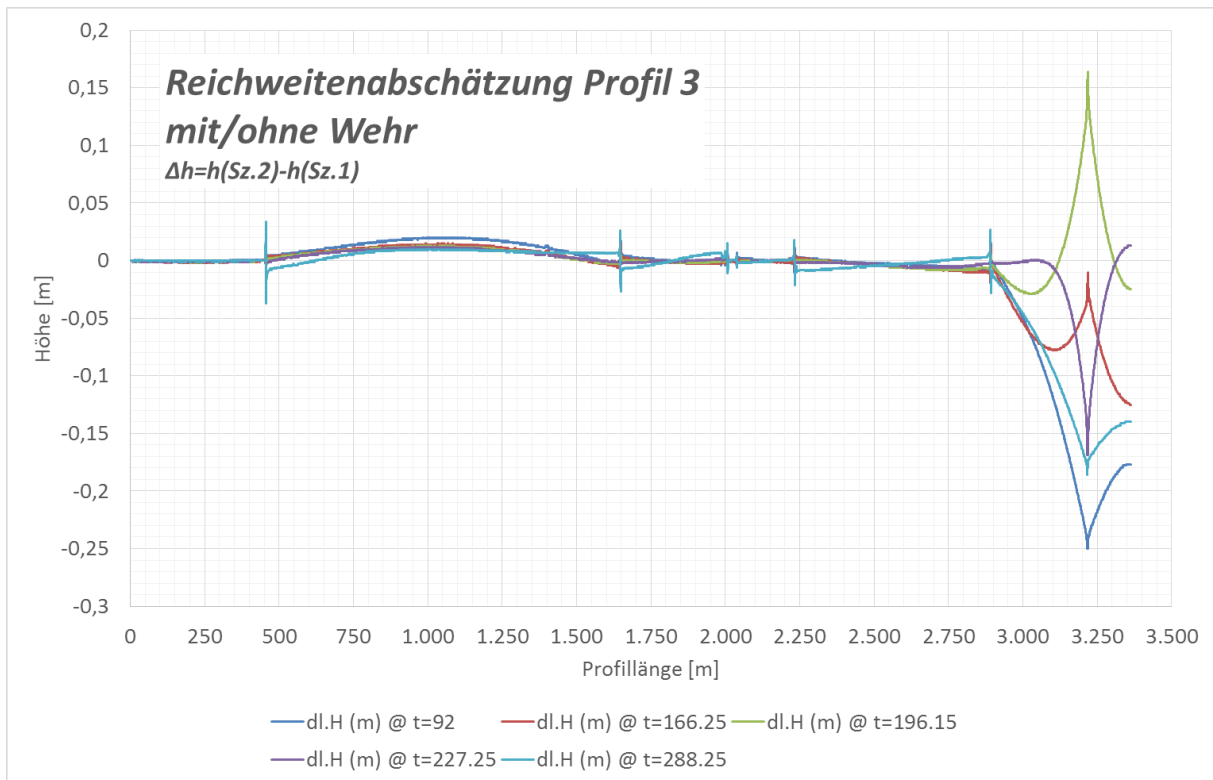
Die auffällige Kennzeichnung der Gräben ist das Ergebnis unterschiedlicher Zuordnungen der Knoten im moving mesh. Die dargestellten Spitzen sind ohne Aussage und nicht relevant.

**Szenario 1, mit Wehren**

**Szenario 2, rückgebaute Wehre**



**Abbildung 46: Gegenüberstellung der Grundwasserspiegelhöhen und der Grundwasserspiegelhöhenänderung in den Szenarios 1 und 2 für das Profil 3**



**Abbildung 47: Reichweitenabschätzung Profil 3**

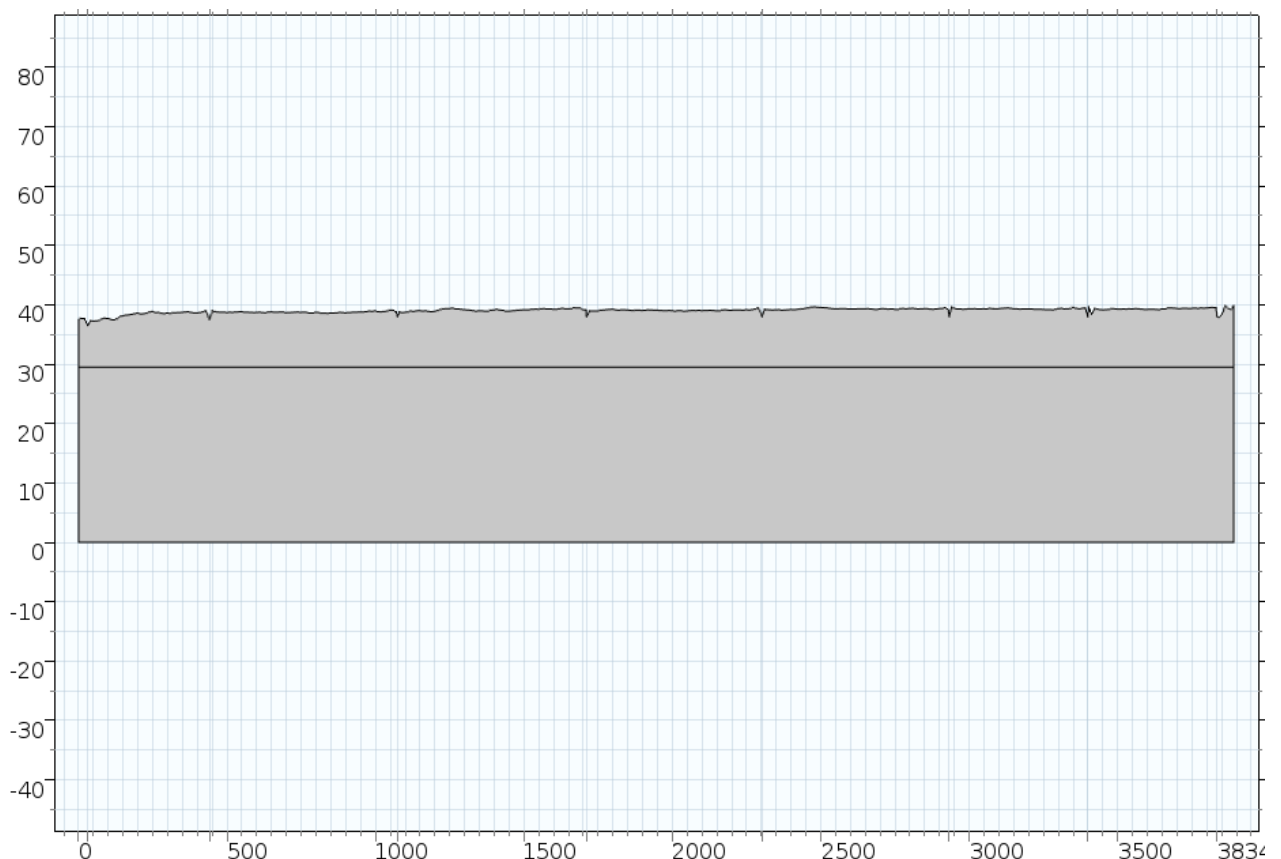
## 3.2 Vertikalschnittmodell Profil 4

### 3.2.1 Modellaufbau

Im Rückstau des Wehres Maihof liegt das Profil 4. Die Geländeoberkante entlang des Profils wurde aus dem DGM1 extrahiert und für den Modellaufbau berücksichtigt.

Im Umfeld des Profils 4 liegen die Aufschlüsse (GWM des Landesmessnetzes) 314647000, 31455000, 31464501, 31464631 und 31454608, wobei nur der Aufschluss 31464700 mit einer Teufe von 26 m tief genug ist und im Liegenden des obersten Grundwasserleiters einen mächtigen Grundwasserstauerkomplex (>15m) nachweist. Daraus ergibt sich für das Profil 4 eine Unterkante des obersten Grundwasserleiters bei 29,5 m NHN.

Abbildung 48 zeigt den Aufbau des Vertikalschnittmodells, welches den obersten Grundwasserleiter und schematisch den liegenden Grundwasserstauerkomplex abbildet. Die Schnelle Havel quert das Profil bei  $x=30$  m, der Liebenwalder Havelkanal quert das Profil bei  $x=3.834$  m. Gut zu erkennen sind ebenfalls die Querungen der Meliorationsgräben bei  $x=443$  m,  $1.073$  m,  $1.710$  m,  $2.301$  m,  $2.932$  m und  $3.398$  m.



**Abbildung 48: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 4. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].**

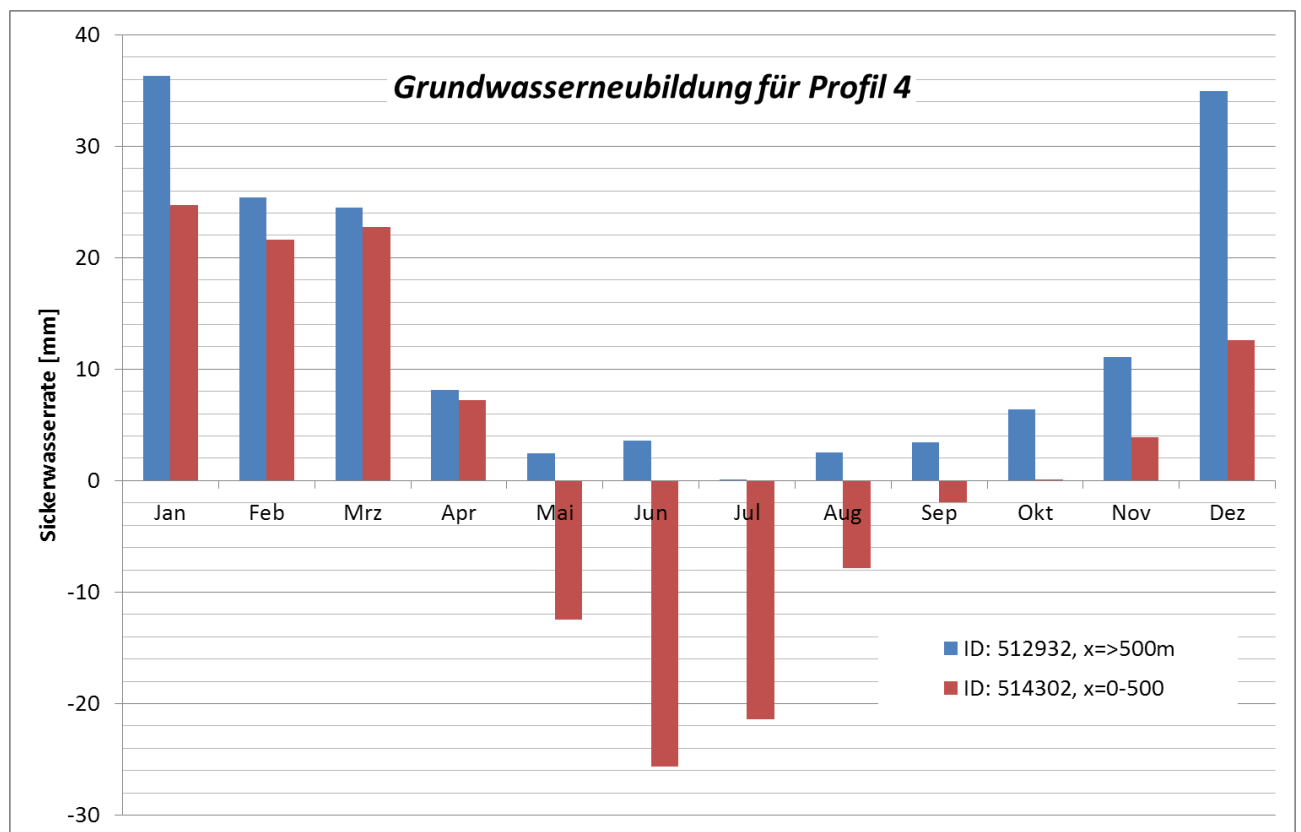
Die Geometrie wurde mit einem Finite-Elemente-Netz mit einer maximale Gitterweite von 5 m diskretisiert.

### Geohydraulische Kennwerte:

	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Porosität [%]
Oberster Grundwasserleiter	$1 \cdot 10^{-4}$	25
Stauerkomplex	$1 \cdot 10^{-6}$	5

### Randbedingungen:

Die Grundwasserneubildung wurde entsprechend der Profillage aus dem Landesmodell entnommen [U6]. Das Profil liegt in den Hydrotopen mit den Flächen-IDs 514302 und 512932. Abbildung 49 verdeutlicht den innerjährlichen Gang der mittleren monatlichen Sickerwasserrate der Zeitreihe 1971 – 2005.



**Abbildung 49: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 4 bezogen auf die Profillänge  $x=0-500$  m und  $x>500$  m.**

Tabelle 5 dokumentiert die Simulationszeit und die durch das Modell berücksichtigten zugehörigen Sickerwasserraten.

**Tabelle 5: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 4**

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]	
	von	bis	ID: 512932, x=>500m	ID: 514302, x=0-500
Jan	61	92	36,31	24,72
Feb	92	120,25	25,38	21,59
Mrz	120,25	151,25	24,49	22,77
Apr	151,25	181,25	8,12	7,20
Mai	181,25	212,25	2,46	-12,46
Jun	212,25	242,25	3,59	-25,66
Jul	242,25	273,25	0,14	-21,38
Aug	273,25	304,25	2,53	-7,88
Sep	304,25	334,25	3,41	-1,92
Okt	334,25	365,25	6,43	0,02
Nov	0	30	11,09	3,89
Dez	30	61	34,97	12,62
Jahr			158,94	23,51

Abbildung 50 zeigt die Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel (vereinfacht), den Meliorationsgräben und dem Liebenwalder Havelableiter für das Szenario mit aktiven Wehren in den Betriebsvarianten offenes/geschlossenes Wehr. Der Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel wurde der Wasserspiegellagenberechnung [U11] für  $Q=1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen. Der Voßkanal bleibt unberücksichtigt, da er gedichtet ist und nicht mit dem Grundwasser kommuniziert.

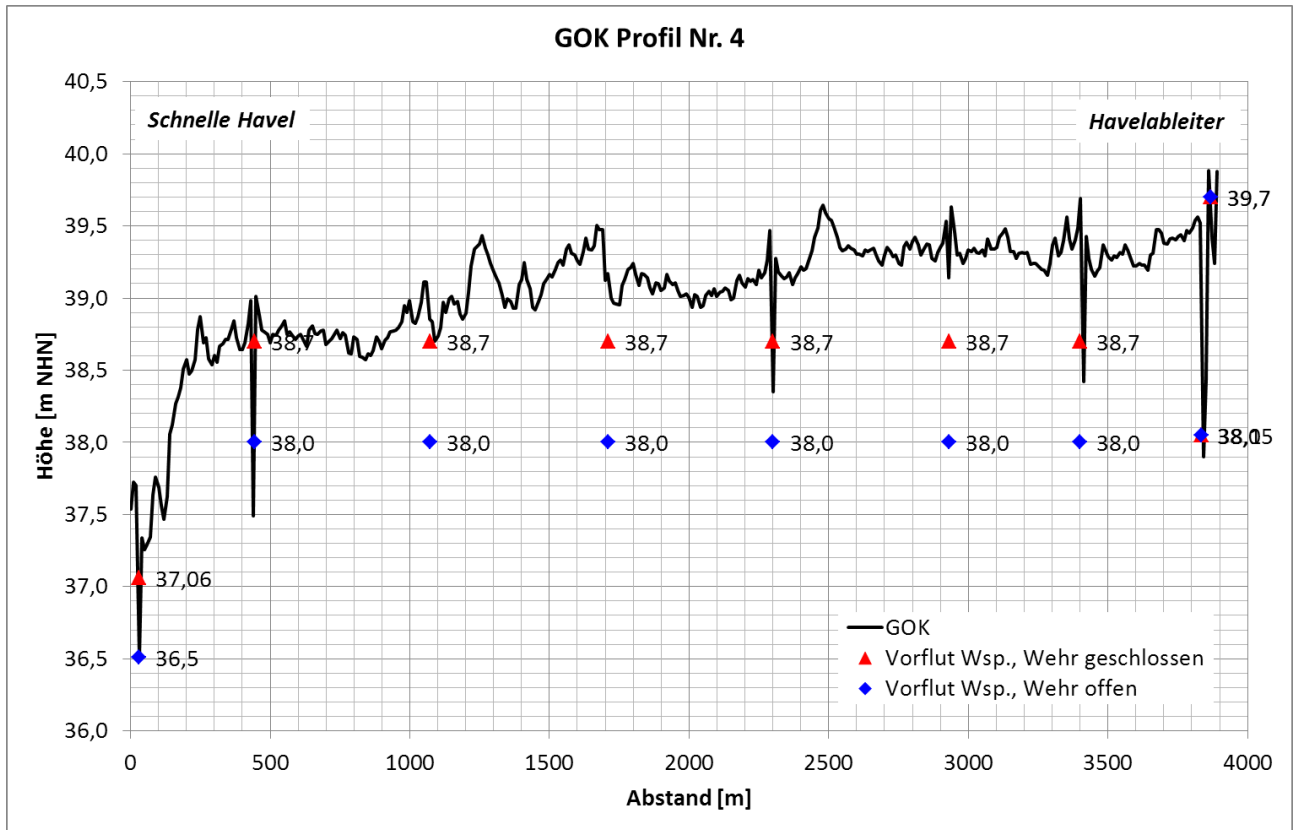


Abbildung 50: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 4 für das Szenario mit aktiven Wehren (offen/geschlossen)

Abbildung 34 zeigt die zeitabhängigen Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel am Profil 3.

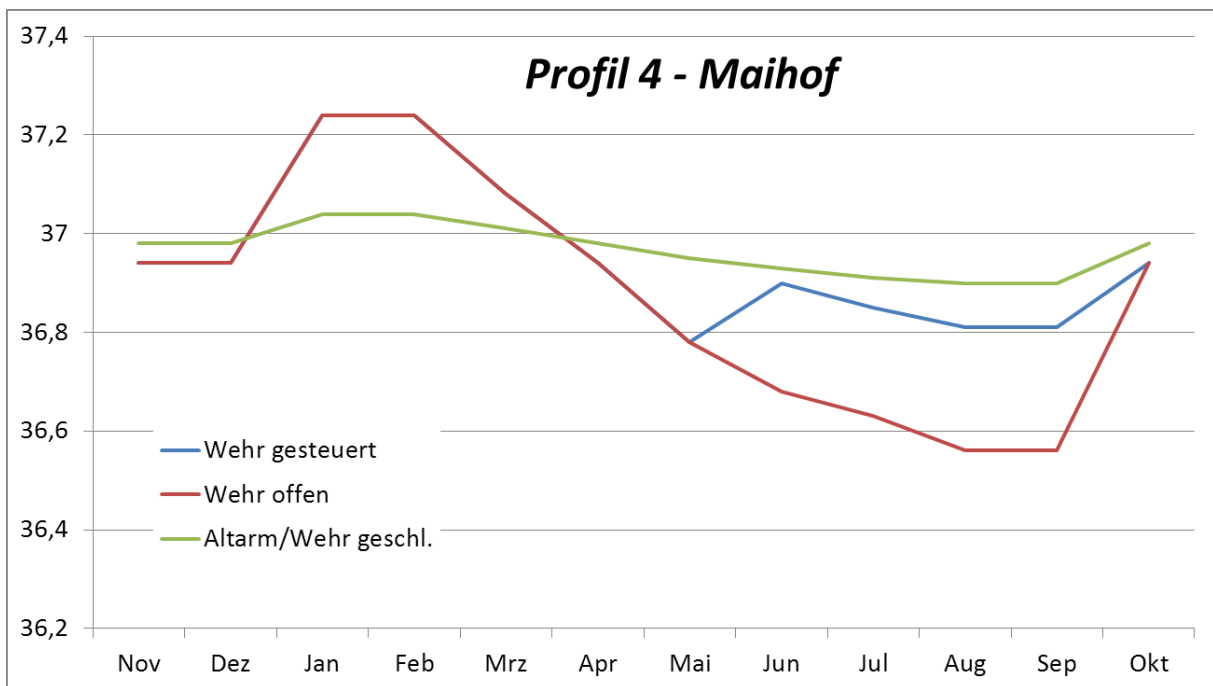


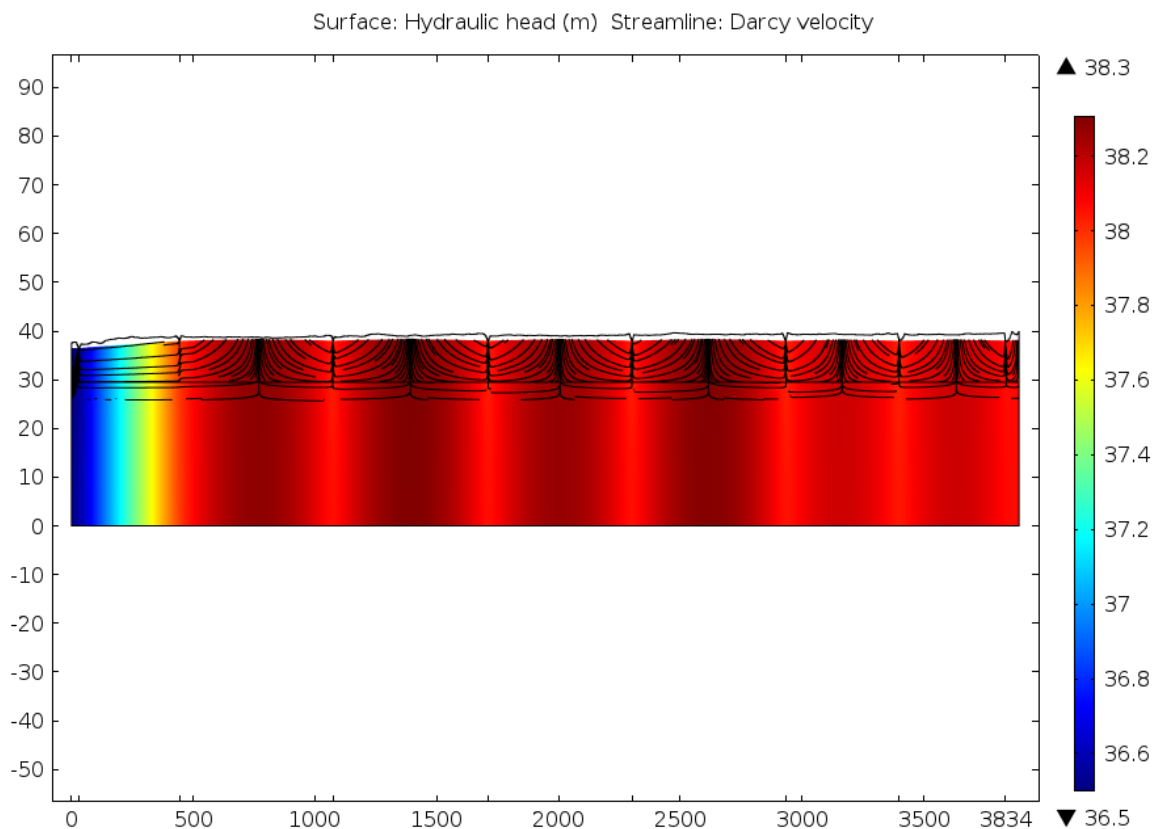
Abbildung 51: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 3

### 3.2.2 Szenario 1: Aktives Wehr

#### 3.2.2.1 Quasi stationäre Strömung

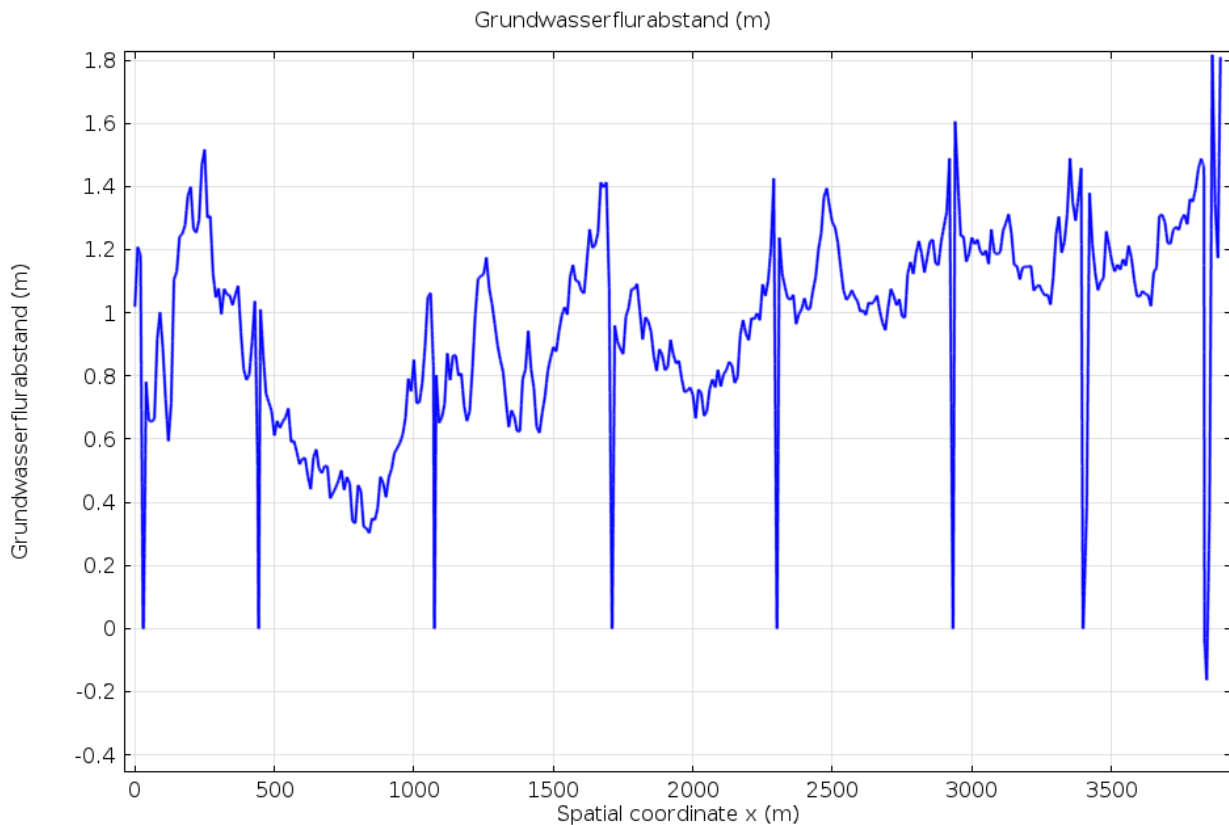
Abbildung 52 zeigt die für die quasi-stationäre Strömung simulierte Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe im oberen Grundwasserleiter und im berücksichtigten Teil des liegenden Grundwasserstauerkomplexes. Weiterhin zeigt die Darstellung die berechneten Stromlinien für den oberen Grundwasserleiter.

Deutlich erkennbar ist am Farbverlauf die Depression an den Bewässerungsgräben (abgesenkter Oberflächenwasserspiegel) bei einer mittleren positiven Grundwasserneubildung (Speisung).



**Abbildung 52: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 1, Profil 4**

Abbildung 53 zeigt den langjährig mittleren Grundwasserflurabstand, welcher durch den abgesenkten Wasserspiegel in den Bewässerungsgräben zwischen 0,4 m und 1,4 m liegt.



**Abbildung 53: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 1 für das Profil 4**

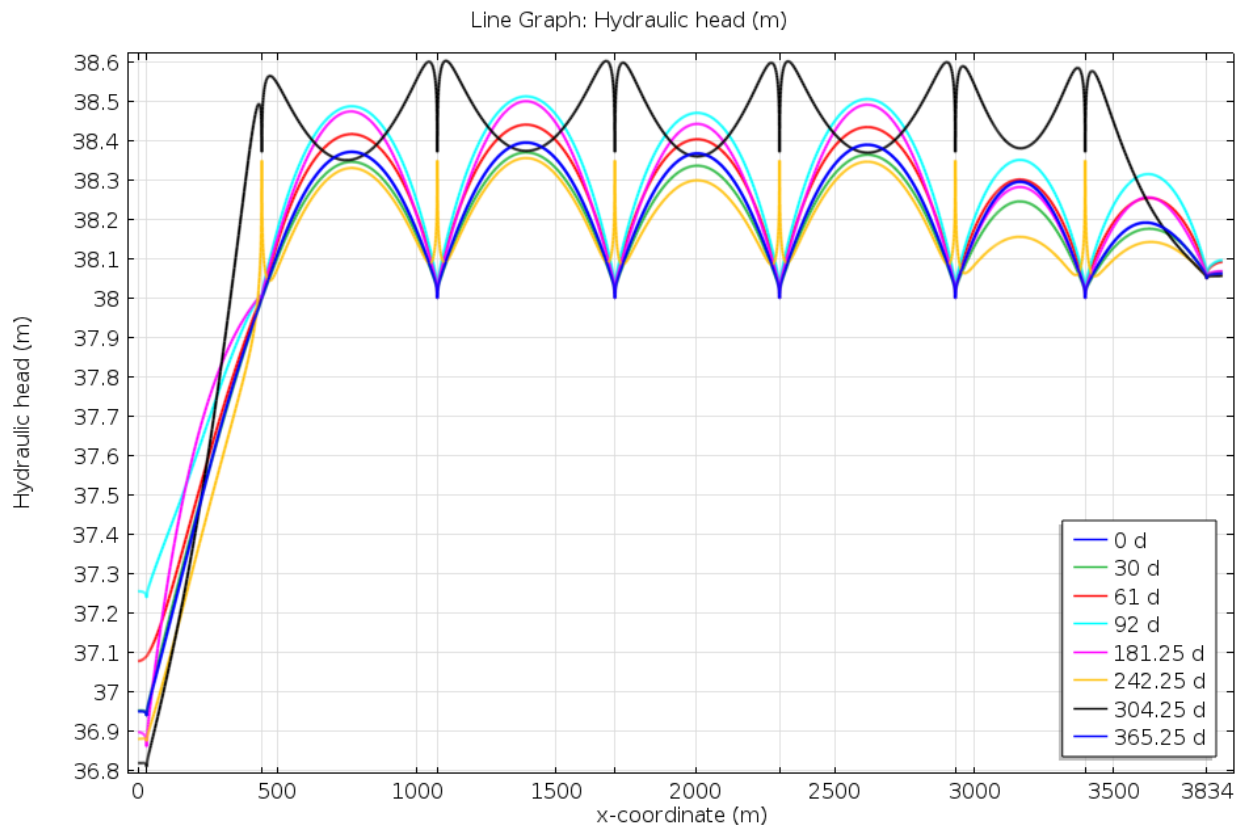
### 3.2.2.2 Zeitabhängige Strömung

Die Simulation der zeitabhängigen Grundwasserströmung unter Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Anlagen basiert auf dem im Abschnitt 1.5 dargelegten Betriebsregime der Wehre und der zeitabhängigen Grundwasserneubildung. Abbildung 54 zeigt die Grundwasserspiegelhöhen für das Profil 4 über das hydrologische Jahr. Erkennbar ist der Einfluss der Grundwasserneubildung, die bei gleichem Grabenwasserstand November bis Juli zu einer Aufhöhung der Grundwasseroberfläche bis max. ca. 50 cm führt. Aufgrund der geringen Neubildung während der Sommermonate ist in dieser Zeit eine nur geringe Aufhöhung feststellbar.

Der im Juli/August um +0,7 m eingestaute Grabenwasserstand führt nur zu einer lokalen Beeinflussung der Grundwasseroberfläche. Für eine generelle Auffüllung des Porenraumes ist der Zeitraum für den Einstau zu kurz.

Die Staubewirtschaftung der Schnellen Havel hat auch auf Grund ihres Höhenniveaus keinen Einfluss auf die Grundwasseroberfläche innerhalb der Profillage  $x > 500$  m.



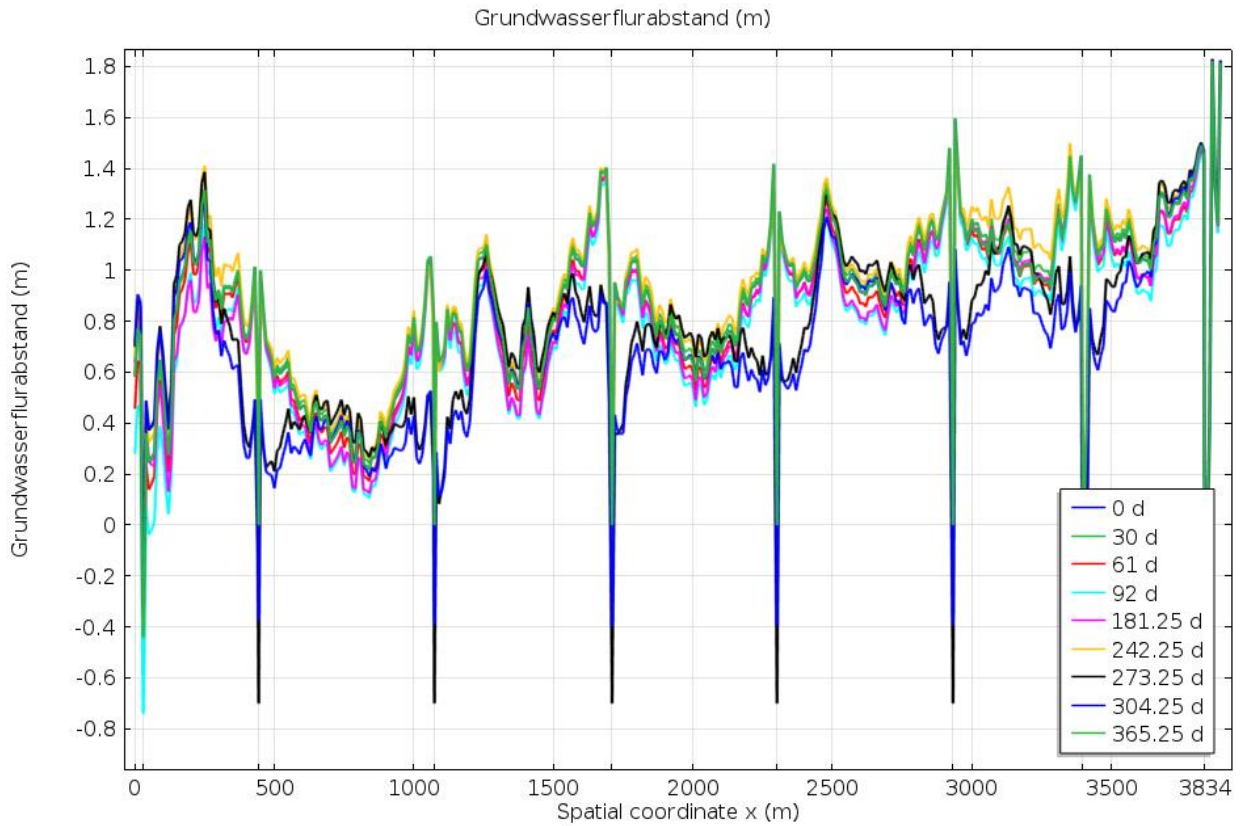


**Abbildung 54: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 4**

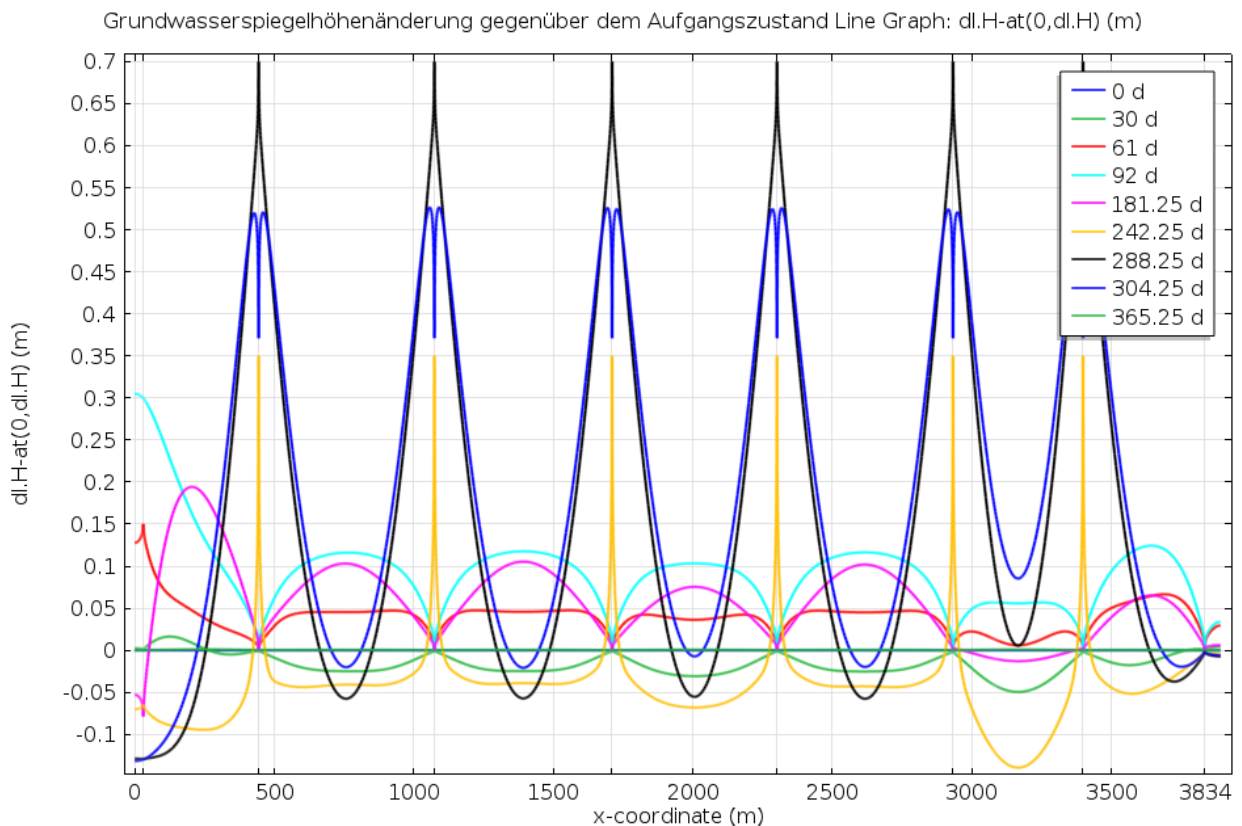
Abbildung 55 dokumentiert den zugehörigen zeitabhängigen Grundwasserflurabstand.

Abbildung 56 zeigt die Grundwasserspiegeländerung über das hydrologische Jahr, die durch die zeitabhängige Grundwasserneubildung und das Betriebsregime der wasserwirtschaftlichen Anlagen verursacht wird. Gegenüber der quasi-stationären Strömung mit einer langjährig mittleren Grundwasserneubildung ist im Wesentlichen eine Grundwasseraufhöhung durch die Grabenstau und eine Oszillation der Grundwasseroberfläche um  $\pm 0,1$  m feststellbar. Diese wird durch den innerjährlichen Gang der Grundwasserneubildung bewirkt. Der durch den Grabenweinstau bewirkte Effekt auf die Grundwasseroberfläche bildet sich jedoch nur lokal an den Gräben aus. Zwischen den Gräben wirkt die Zehrung einer Grundwasseraufhöhung entgegen, so dass in Summe mit der zeitabhängigen Auffüllung des Porenraums keine signifikante Grundwasseraufhöhung auf Niveau des angestauten Grabenwasserstandes zwischen den Meliorationsgräben feststellbar ist.

Der Einfluss der staubewirtschafteten Schnellen Havel auf das Grundwasser beschränkt sich auf den Bereich  $x < 443$  m.



**Abbildung 55: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 4**



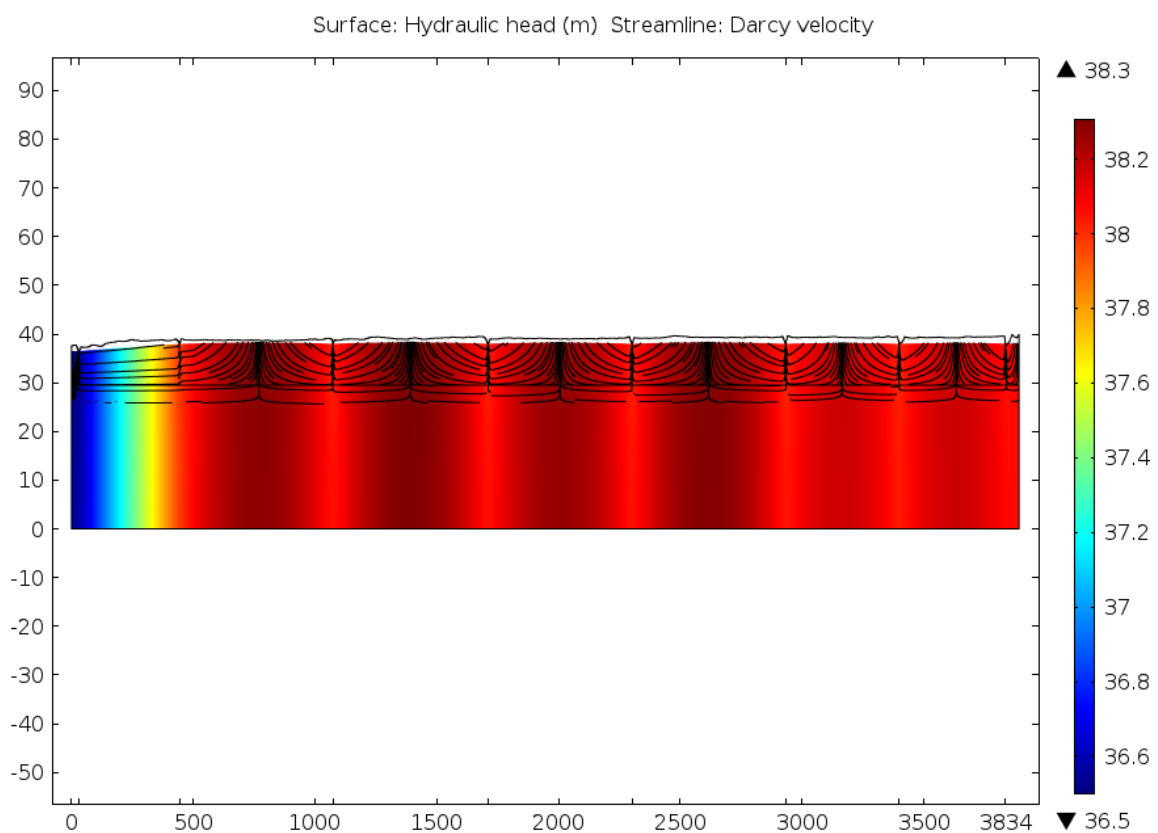
**Abbildung 56: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 4**

### 3.2.3 Szenario 2: Ohne Wehr

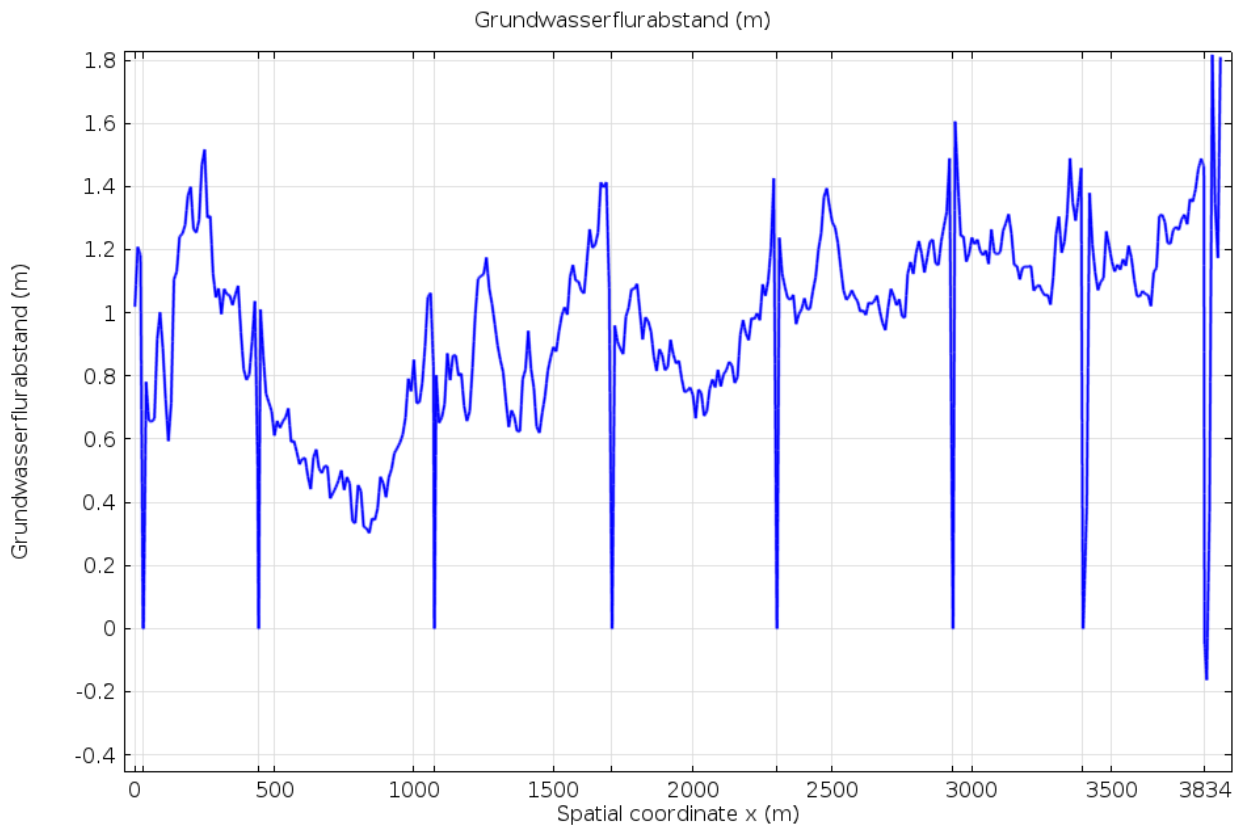
#### 3.2.3.1 Quasi stationäre Strömung

Für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2 mit rückgebauten Wehren beträgt der mittlere Oberflächenwasserspiegel der Schnellen Havel am Profil 4 36,97 m NHN (Abbildung 51, Altarm/Wehr geschlossen). Die Oberflächenwasserspiegel der Meliorationsgräben und des Liebenwalder Havelableiters bleiben unverändert.

Abbildung 57 zeigt die Verteilung der Grundwasserspiegelhöhen und der Stromlinien für den oberen Grundwasserleiter. Abbildung 58 zeigt den zugehörigen Grundwasserflurabstand.



**Abbildung 57: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2, Profil 4**



**Abbildung 58: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 2 für das Profil 4**

### 3.2.3.2 Zeitabhängige Strömung

Abbildung 59 und Abbildung 60 zeigen die Grundwasserspiegelhöhe und den Grundwasserflurabstand für das Profil 4 im Szenario 2. Im Vergleich mit Abbildung 54 und Abbildung 56 im Szenario 1 fällt auf, dass sich der Einfluss der rückgebauten Wehre auf die Grundwasserspiegelhöhe im Profil 4 nur auf den unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel auswirkt. Durch den Grabeneinstau und die zeitabhängige Grundwasserneubildung zeigen sich im übrigen Teil des Profils mit  $x > 450$  m die gleiche Grundwasserspiegelhöhenverteilung und –entwicklung wie im Szenario 1.

Die gleiche Situation veranschaulicht die Grundwasserspiegelhöhenänderung gegenüber dem quasi-stationären Ausgangszustand in Abbildung 61.

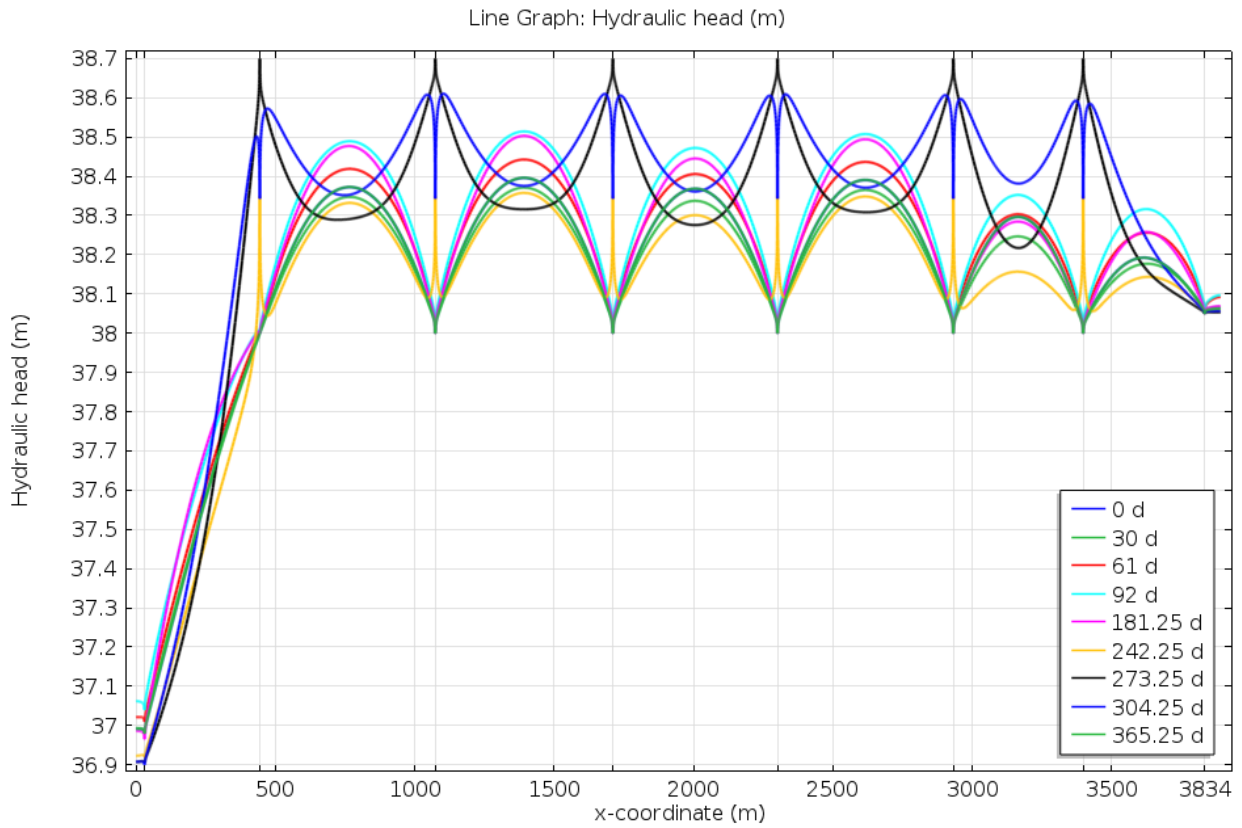


Abbildung 59: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 4

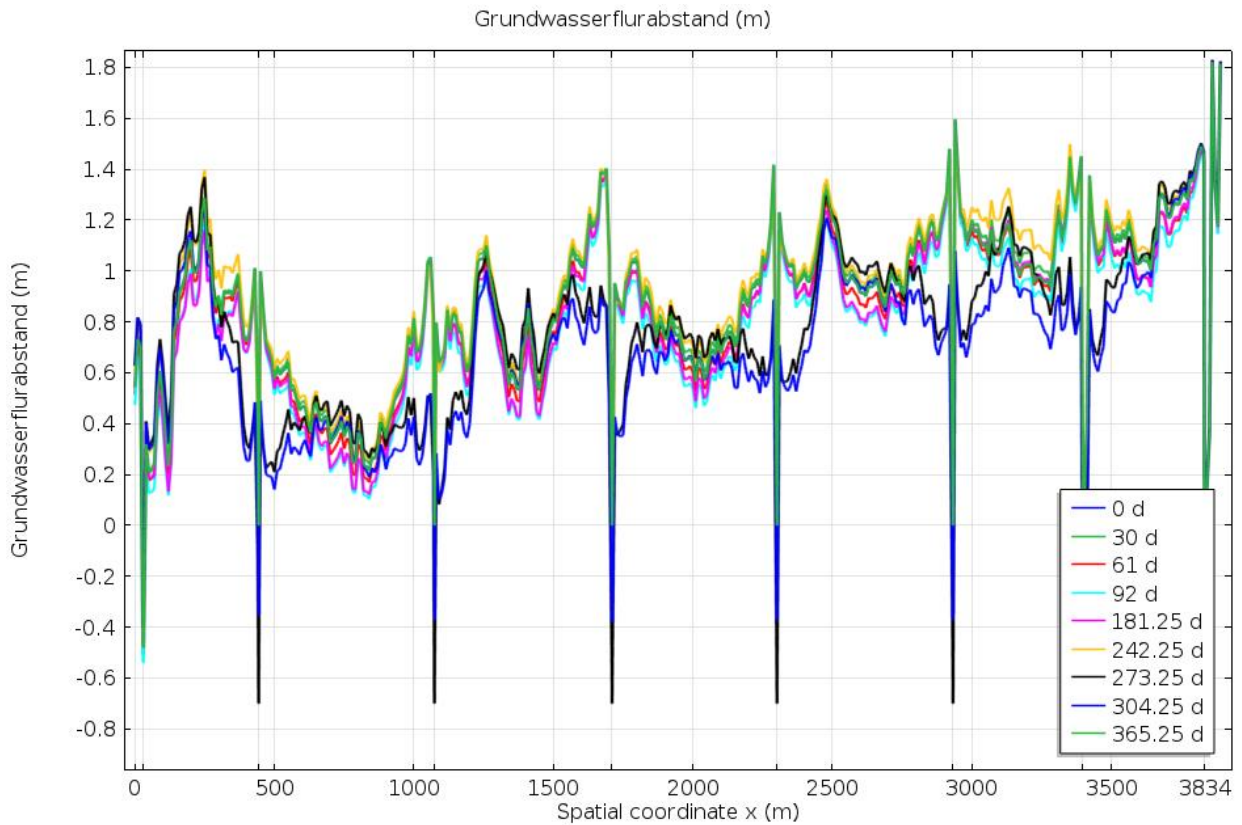
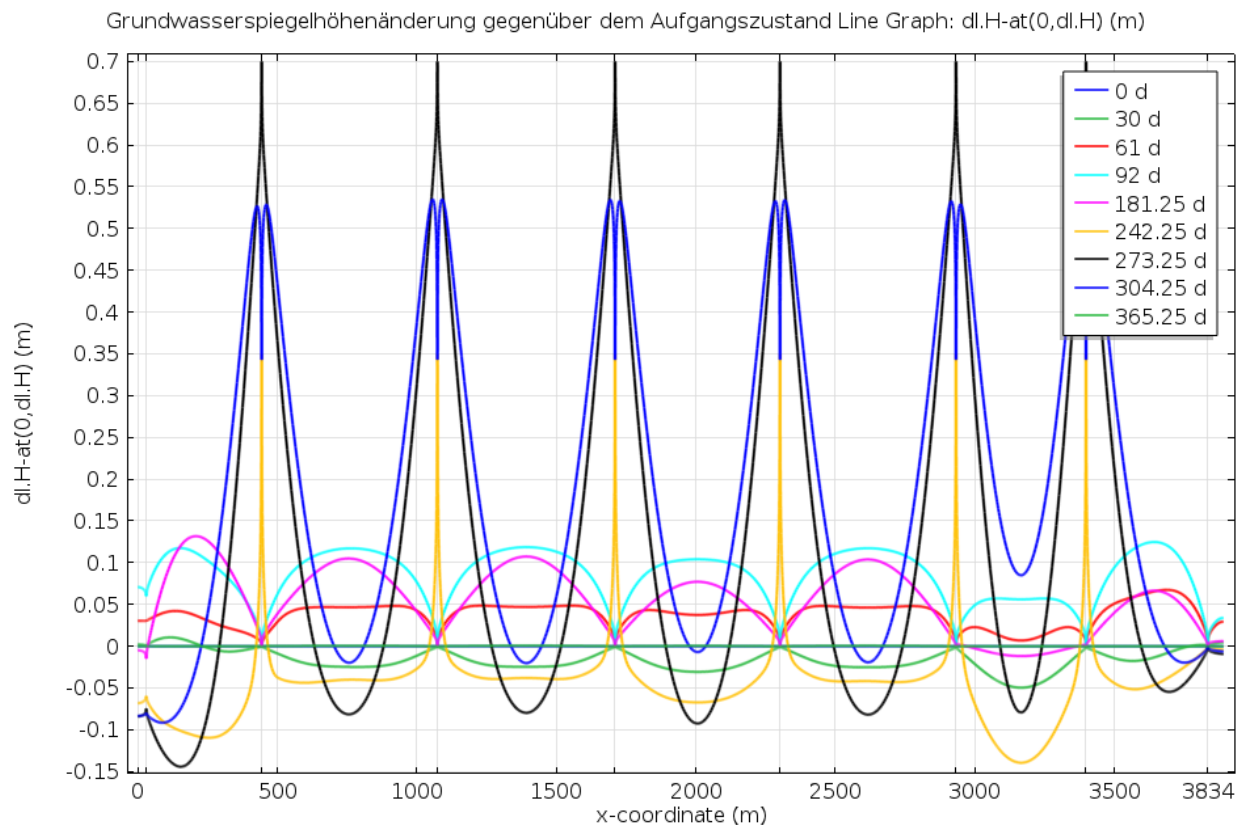


Abbildung 60: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 4



**Abbildung 61: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 4**

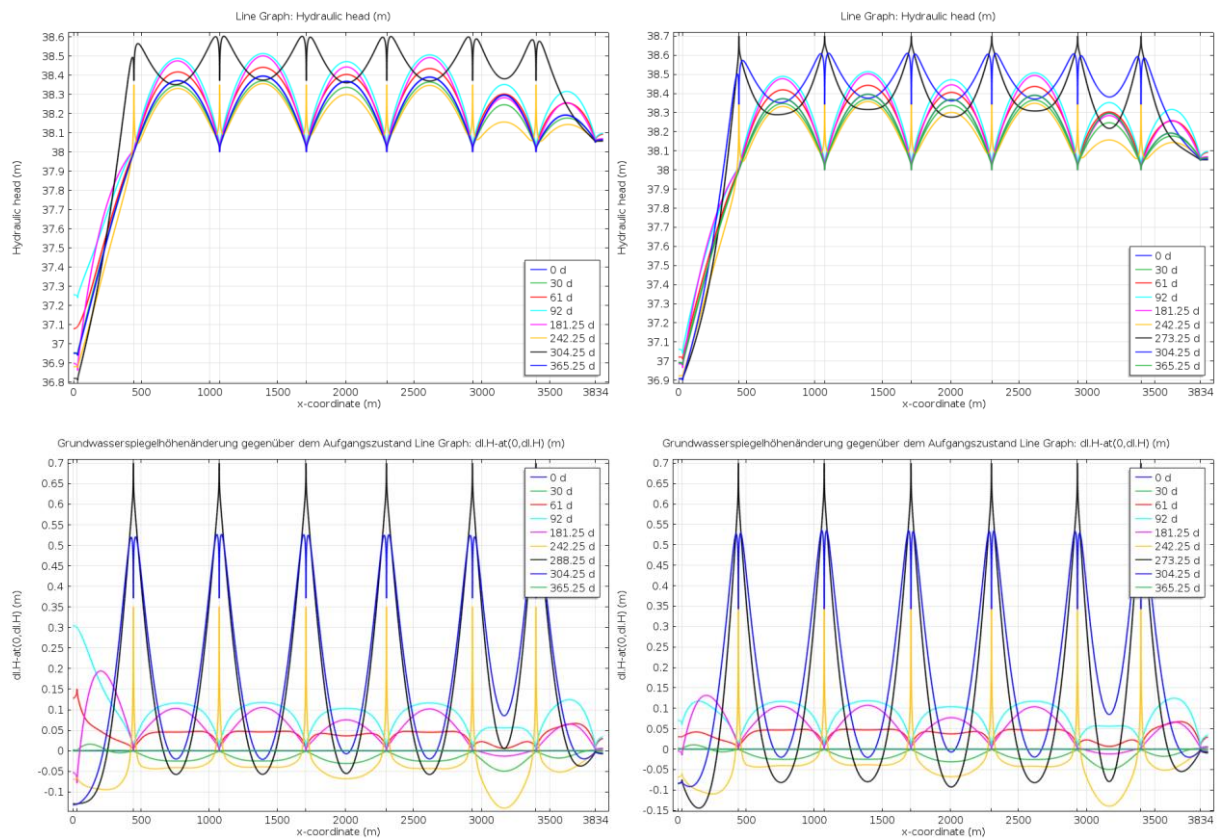
### 3.2.4 Bewertung

Zusammenfassend kann für das Profil 4 festgestellt werden, dass sich der Rückbau der Wehre in der Schnellen Havel unter mittleren Abflussbedingungen nur auf den unmittelbaren Bereich an der Schnellen Havel auswirkt. Im Bereich der Meliorationsgräben mit einer aktiven Einstaubewässerung werden die Effekte kompensiert, so dass in diesem Bereich keine Beeinflussung der Grundwasseroberfläche zu erwarten ist. Zur Verdeutlichung fasst Abbildung 62 die Ergebnisse zusammen.

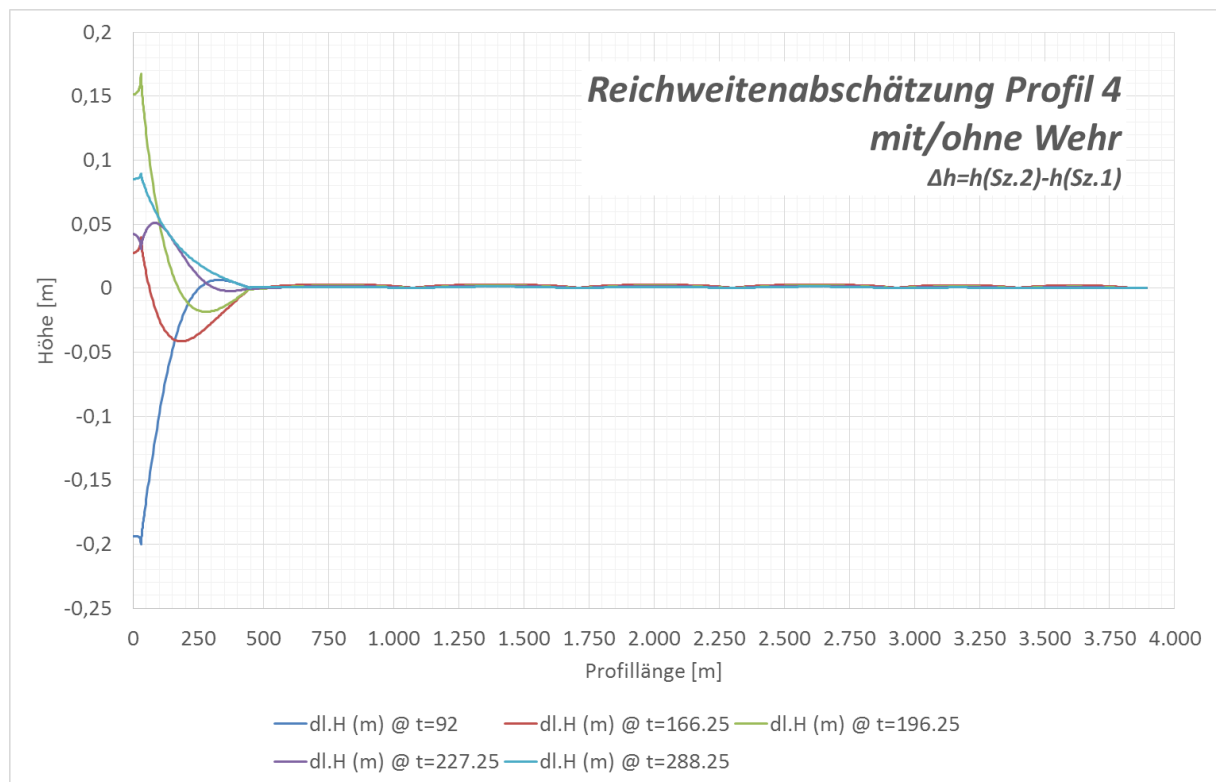
Abbildung 63 zeigt die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung durch den Rückbau des Wehres. Dargestellt sind die Differenzen der simulierten Grundwasserspiegelhöhen zwischen den Szenarios 2 und 1 zu unterschiedlichen Zeiten. Deutlich erkennbar ist, dass eine Beeinflussung der Grundwasserspiegelhöhe  $abs(\Delta h) > 10\text{cm}$  nur im unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel ( $x=30\text{ m}$ ) zu erwarten ist.

**Szenario 1, mit Wehren**

**Szenario 2, rückgebaute Wehre**



**Abbildung 62: Gegenüberstellung der Grundwasserspiegelhöhen und der Grundwasserspiegelhöhenänderung in den Szenarios 1 und 2 für das Profil 4**



**Abbildung 63: Reichweitenabschätzung Profil 4**

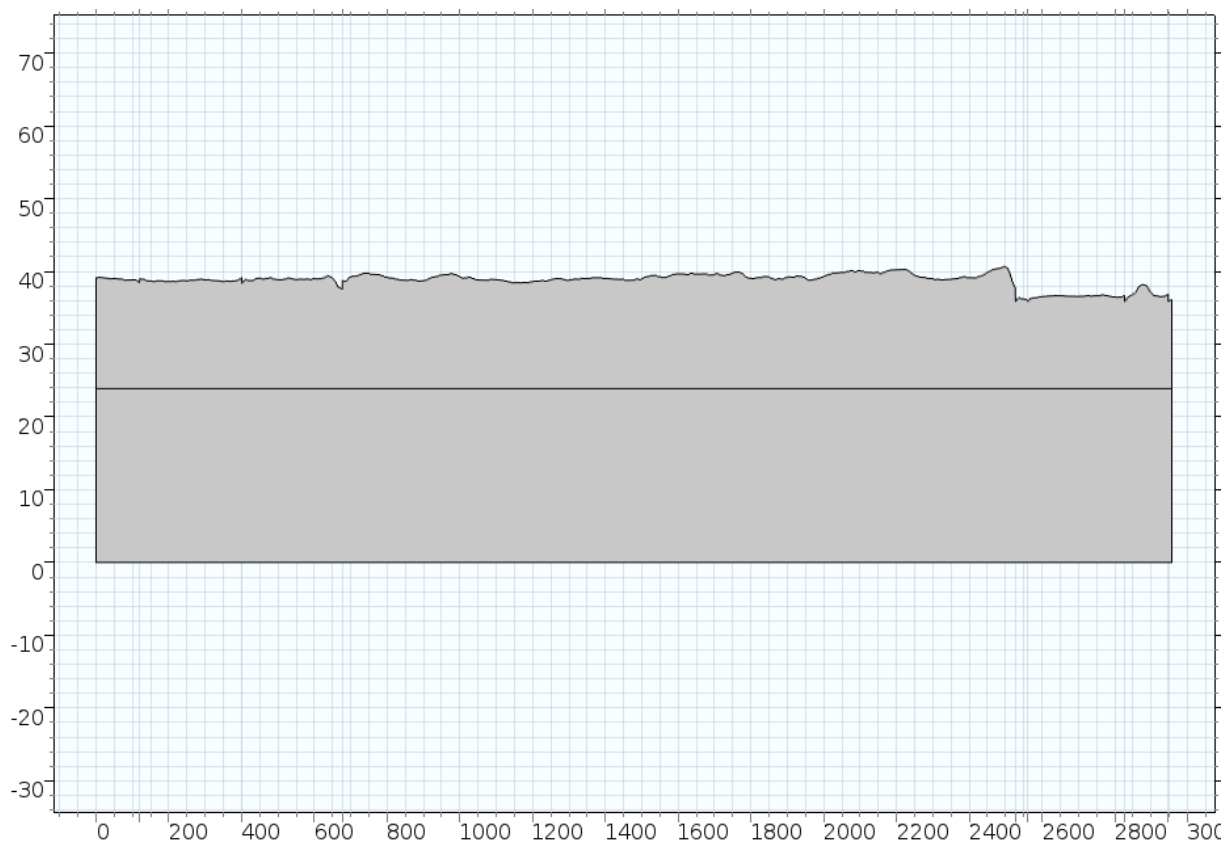
### 3.3 Vertikalschnittmodell Profil 5

#### 3.3.1 Modellaufbau

Im Rückstau des Wehres Knüppeldamm liegt das Profil 5. Die Geländeoberkante entlang des Profils wurde aus dem DGM1 extrahiert und für den Modellaufbau berücksichtigt.

Im Umfeld des Profils 5 liegen die Aufschlüsse (GWM des Landesmessnetzes) 31454608, 31455000 und 31464654, wobei nur der Aufschluss 31464654 mit einer Teufe von 21 m tief genug ist und im Liegenden des obersten Grundwasserleiters einen mächtigen Grundwasserstauerkomplex (>15,3 m u GOK) nachweist. Daraus ergibt sich für das Profil 4 eine Unterkante des obersten Grundwasserleiters bei 23,9 m NHN.

Abbildung 64 zeigt den Aufbau des Vertikalschnittmodells, welches den obersten Grundwasserleiter und schematisch den liegenden Grundwasserstauerkomplex abbildet. Die Schnelle Havel quert das Profil bei  $x=2.947$  m, der Graben Große Wiese quert das Profil bei  $x=118$  m. Gut zu erkennen sind ebenfalls die Querungen der Meliorationsgräben bei  $x=401$  m,  $677$  m,  $2.527$  m,  $2.561$  m und  $2.827$  m.



**Abbildung 64: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 5. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].**

Die Geometrie wurde mit einem Finite-Elemente-Netz mit einer maximale Gitterweite von 5 m diskretisiert.

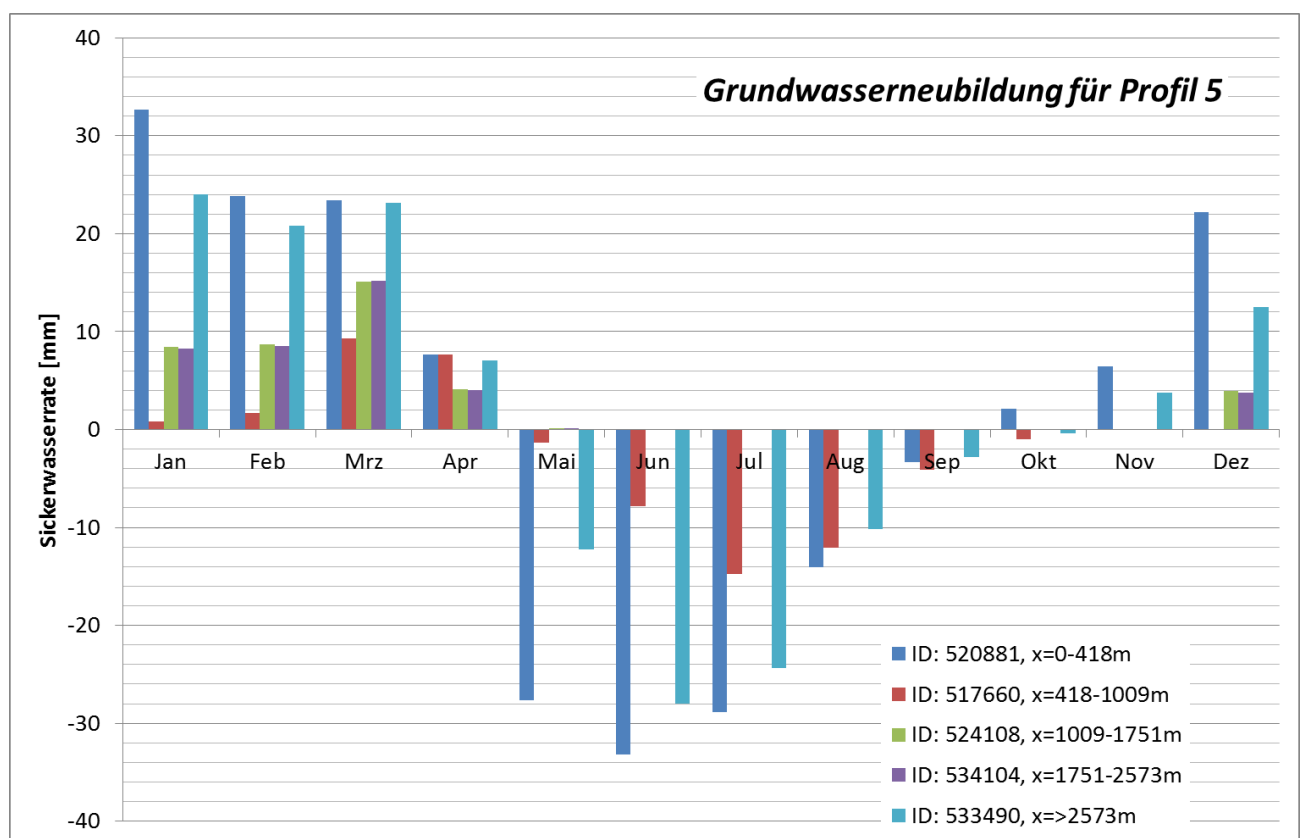


Geohydraulische Kennwerte:

	Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]	Porosität [%]
Oberster Grundwasserleiter	$1 \cdot 10^{-4}$	25
Stauerkomplex	$1 \cdot 10^{-6}$	5

Randbedingungen:

Die Grundwasserneubildung wurde entsprechend der Profillage aus dem Landesmodell entnommen [U6]. Das Profil liegt in den Hydrotopen mit den Flächen-IDs 520881, 517660, 524108, 534104 und 533490. Abbildung 65 verdeutlicht den innerjährlichen Gang der mittleren monatlichen Sickerwasserrate der Zeitreihe 1971 – 2005.



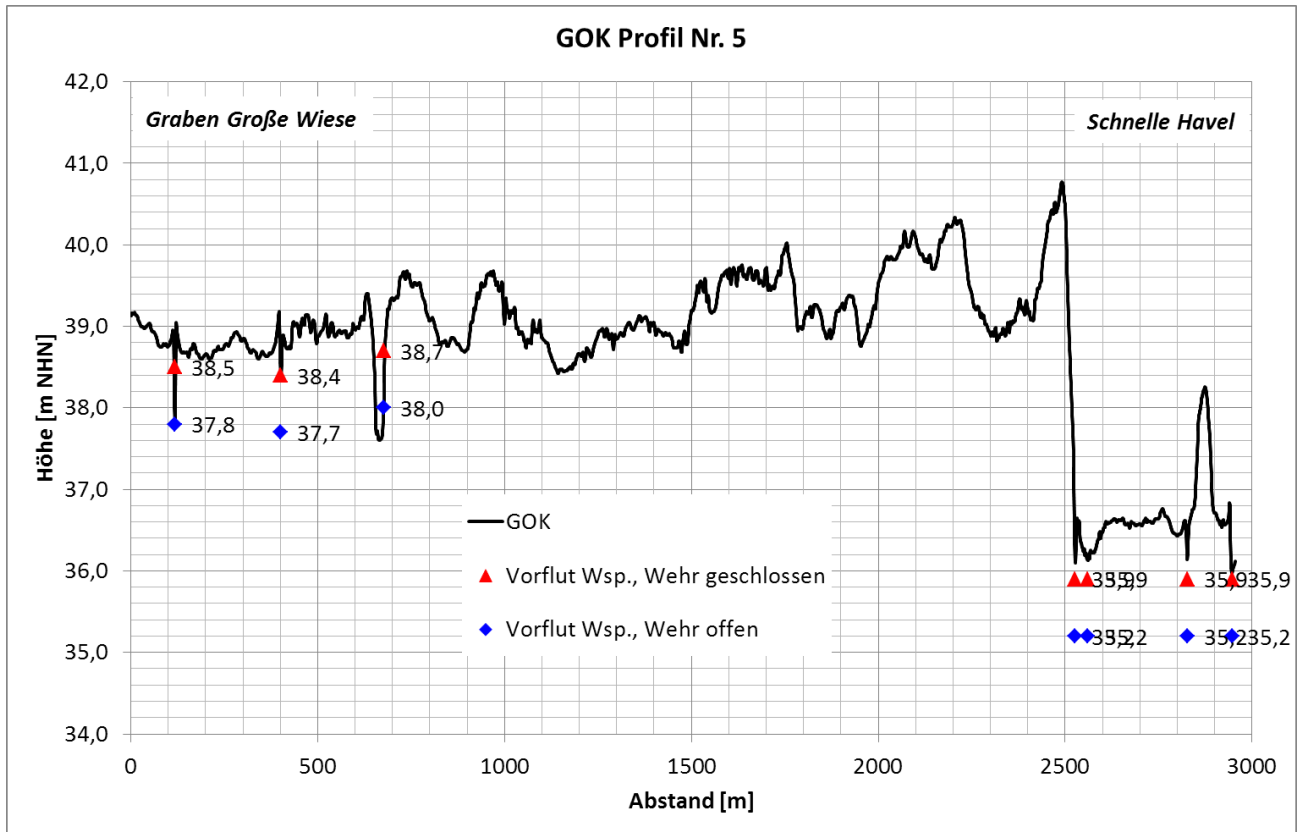
**Abbildung 65: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 5 bezogen auf die Profillänge x.**

Tabelle 6 dokumentiert die Simulationszeit und die durch das Modell berücksichtigten zugehörigen Sickerwasserraten.

**Tabelle 6: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 5**

Monat	Simulationszeit [d]		Sickerwasserrate [mm]				
	von	bis	ID: 520881, x=0-418m	ID: 517660, x=418- 1009m	ID: 524108, x=1009- 1751m	ID: 534104, x=1751- 2573m	ID: 533490, x=>2573m
Jan	61	92	32,69	0,85	8,47	8,26	23,98
Feb	92	120,25	23,87	1,65	8,69	8,56	20,85
Mrz	120,25	151,25	23,38	9,27	15,14	15,22	23,15
Apr	151,25	181,25	7,65	7,65	4,13	4,06	7,01
Mai	181,25	212,25	-27,66	-1,38	0,00	0,02	-12,22
Jun	212,25	242,25	-33,18	-7,81	0,00	0,00	-28,03
Jul	242,25	273,25	-28,86	-14,75	0,00	0,00	-24,34
Aug	273,25	304,25	-14,04	-12,11	0,00	0,00	-10,14
Sep	304,25	334,25	-3,37	-4,15	0,00	0,00	-2,81
Okt	334,25	365,25	2,13	-0,98	0,00	0,00	-0,36
Nov	0	30	6,44	-0,03	0,00	0,00	3,77
Dez	30	61	22,23	0,00	3,98	3,78	12,48
Jahr			11,26	-27,40	40,41	39,90	13,34

Abbildung 66 zeigt die Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel (vereinfacht), den Meliorationsgräben und dem Graben Große Wiese für das Szenario mit aktiven Wehren in den Betriebsvarianten offenes/geschlossenes Wehr. Der Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel wurde der Wasserspiegellagenberechnung [U11] für  $Q=1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen.



**Abbildung 66: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 5 für das Szenario mit aktiven Wehren (offen/geschlossen)**

Abbildung 67 zeigt die zeitabhängigen Oberflächenwasserspiegel für die Schnelle Havel am Profil 5.

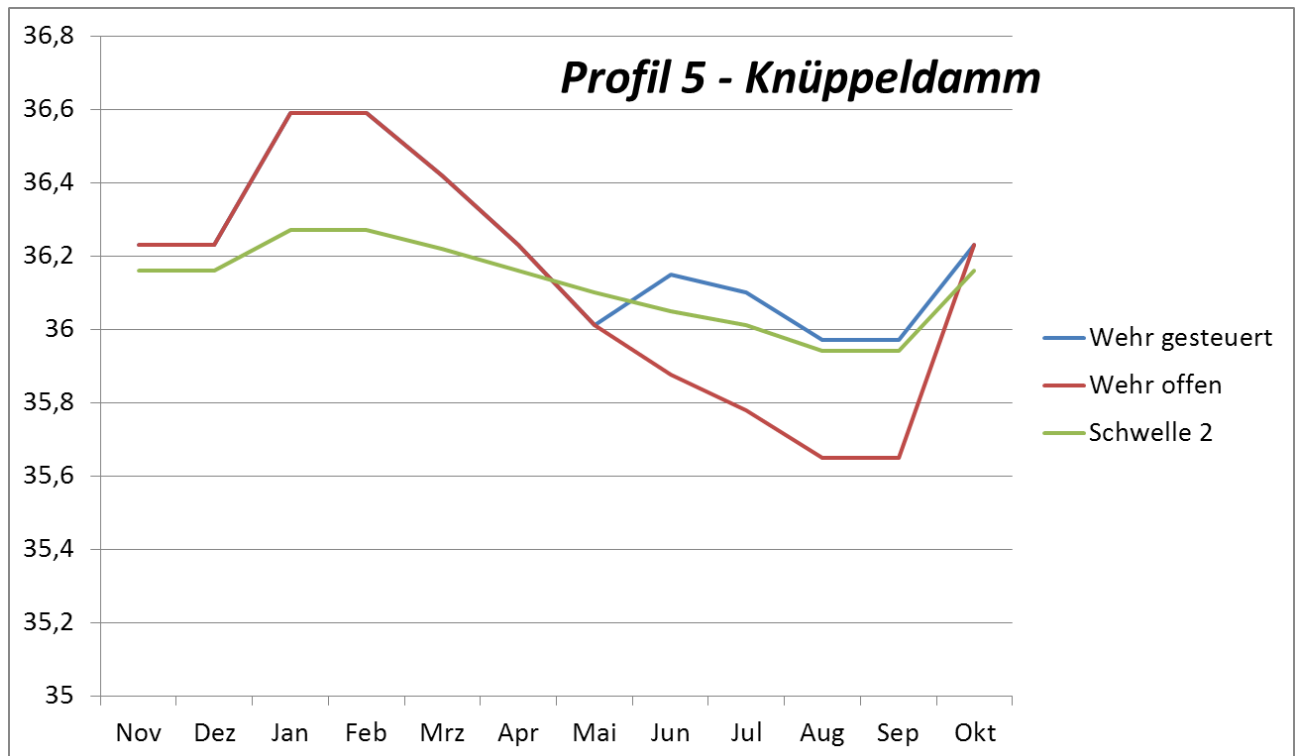


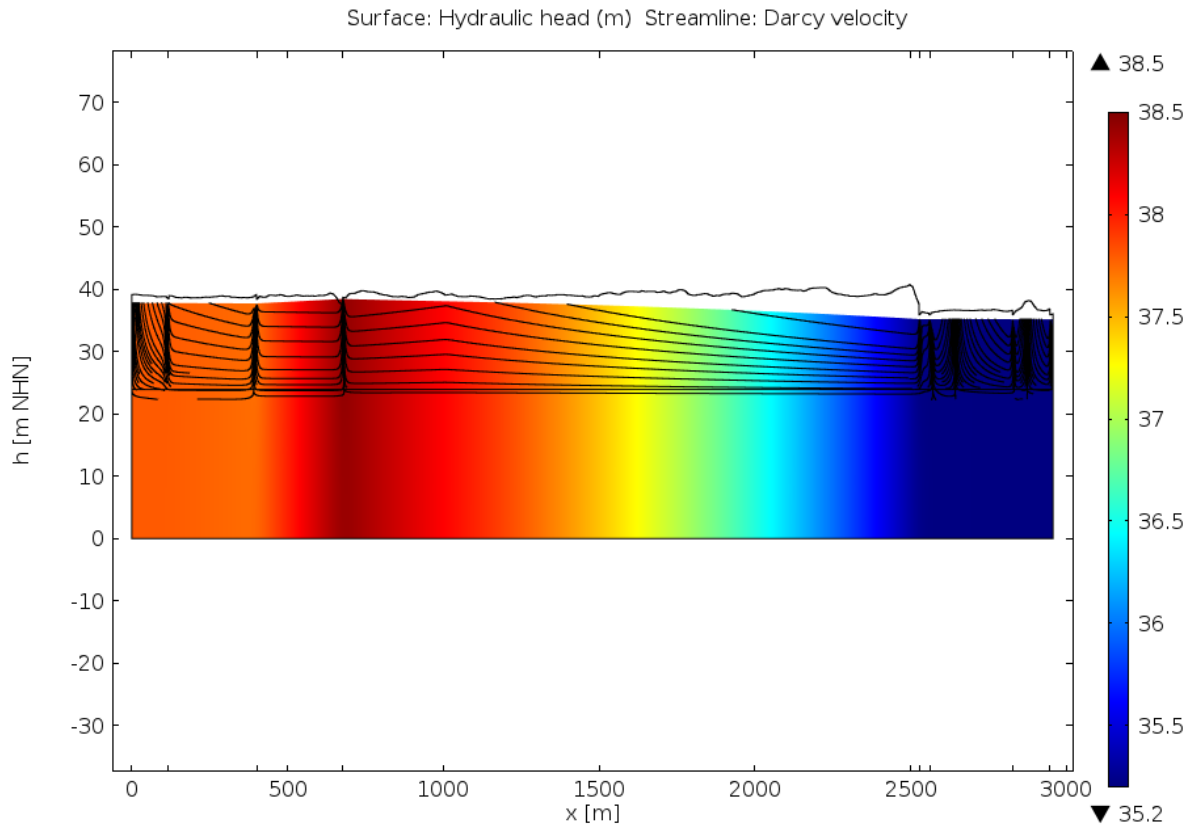
Abbildung 67: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 5

### 3.3.2 Szenario 1: Aktives Wehr

#### 3.3.2.1 Quasi stationäre Strömung

Abbildung 68 zeigt die für die quasi-stationäre Strömung simulierte Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe im oberen Grundwasserleiter und im berücksichtigten Teil des liegenden Grundwasserstauerkomplexes. Weiterhin zeigt die Darstellung die berechneten Stromlinien für den oberen Grundwasserleiter.

Deutlich erkennbar ist am Farbverlauf die Depression in der Aue der Schnellen Havel und am Graben Große Wiese. Der Graben bei 677 m führt zu einer Grundwasserspeisung (abgesenkter Oberflächenwasserspiegel) bei einer mittleren positiven Grundwasserneubildung (Speisung).



**Abbildung 68: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 1, Profil 5**

Abbildung 69 zeigt den langjährig mittleren Grundwasserflurabstand, welcher durch den abgesenkten Wasserspiegel in den Bewässerungsgräben zwischen 0,4 m und 1,4 m liegt.

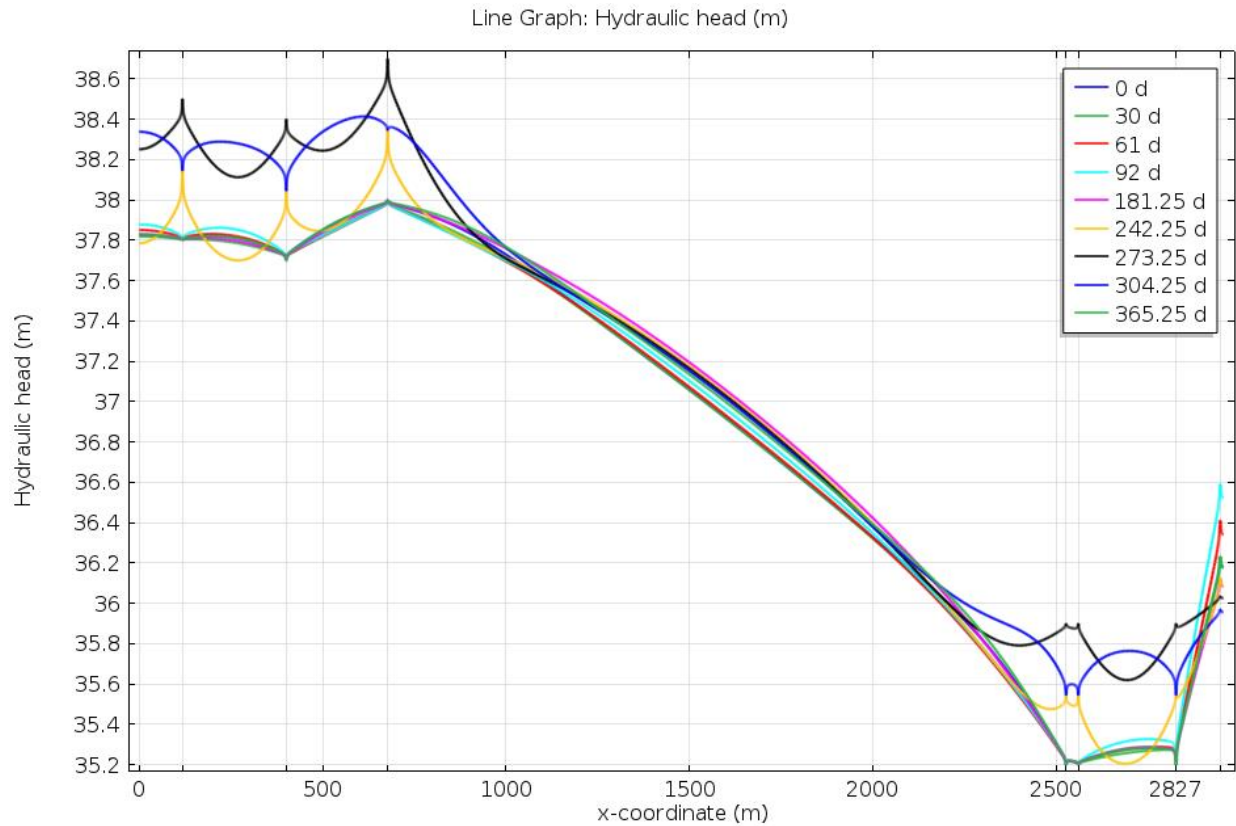


Abbildung 69: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 1 für das Profil 5

### 3.3.2.2 Zeitabhängige Strömung

Die Simulation der zeitabhängigen Grundwasserströmung unter Berücksichtigung der wasserwirtschaftlichen Anlagen basiert auf dem im Abschnitt 1.5 dargelegten Betriebsregime der Wehre und der zeitabhängigen Grundwasserneubildung. Abbildung 70 zeigt die Grundwasserspiegelhöhen für das Profil 5 über das hydrologische Jahr. Erkennbar ist der Einfluss der Grundwasserneubildung, die bei gleichem Grabenwasserstand November bis Juli zu einer Aufhöhung der Grundwasseroberfläche bis max. ca. 40 cm führt. Aufgrund der geringen Neubildung während der Sommermonate ist in dieser Zeit eine nur geringe Aufhöhung feststellbar.

Der im Juli/August um +0,7 m eingestaute Grabenwasserstand führt nur zu einer lokalen Beeinflussung der Grundwasseroberfläche. Für eine generelle Auffüllung des Porenraumes ist der Zeitraum für den Einstau zu kurz. Ein deutlicher Einstauereffekt ist für das Profil 5 in den Bereichen  $x=0 \dots 1.000$  m und  $x>2.200$  m feststellbar.



**Abbildung 70: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 5**

Abbildung 71 dokumentiert den zugehörigen zeitabhängigen Grundwasserflurabstand.

Abbildung 72 zeigt die Grundwasserspiegeländerung über das hydrologische Jahr, die durch die zeitabhängige Grundwasserneubildung und das Betriebsregime der wasserwirtschaftlichen Anlagen verursacht wird. Gegenüber der quasi-stationären Strömung mit einer langjährig mittleren Grundwasserneubildung sind deutliche Grundwasserspiegeländerungen durch die Grabenstau feststellbar. Die zeitabhängige Grundwasserneubildung führt innerhalb der Profillage  $1.000 \text{ m} < x < 2.000 \text{ m}$  nur zu einer geringen Beeinflussung der Grundwasseroberfläche. Der Grabenweinstau überprägt diesen innerjährlichen Gang und bewirkt lokal eine deutliche Grundwasseraufhöhung. Dieser Einfluss klingt jedoch rasch nach Absenken des Grabenwasserstandes wieder ab, so dass sich in der kurzen Zeit keine großräumige Auffüllung des Porenraumes einstellt. Die Staubewirtschaftung der Schnellen Havel zeigt keinen signifikanten Einfluss.

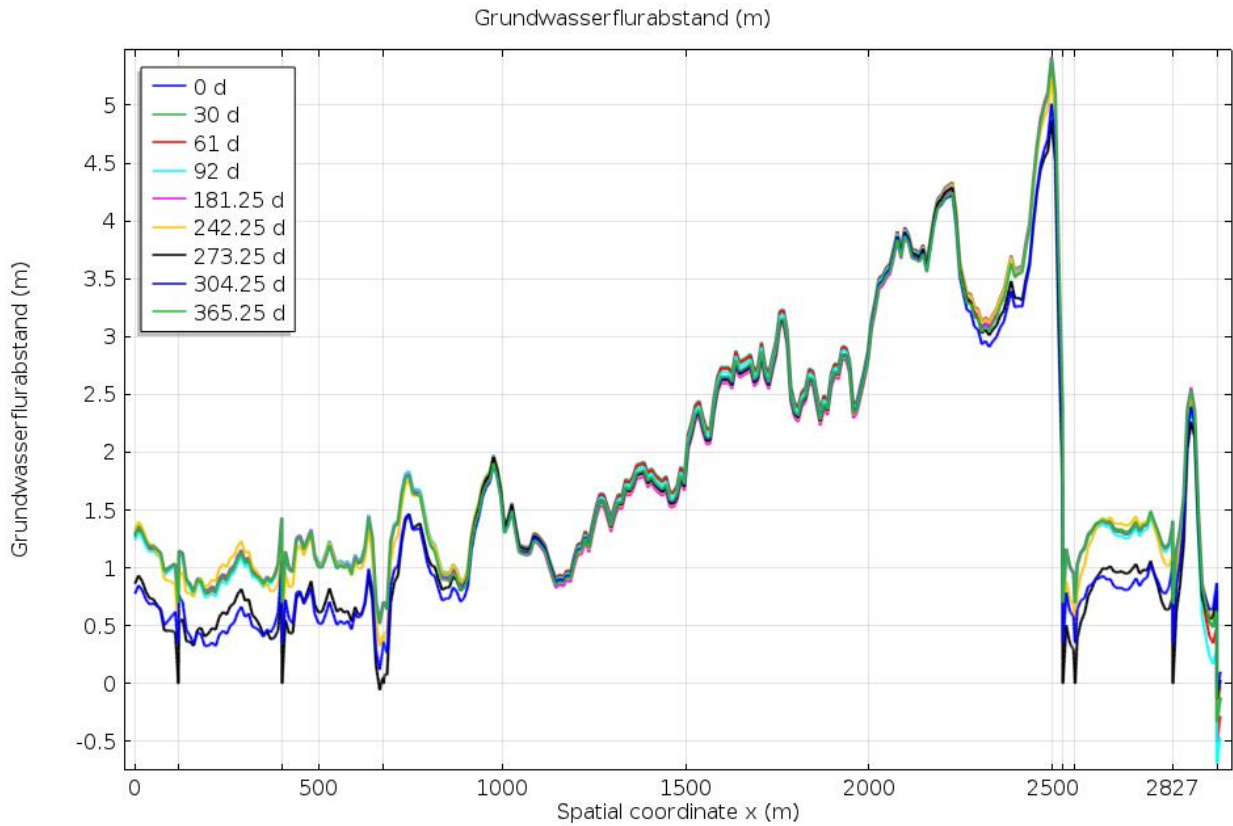


Abbildung 71: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 5

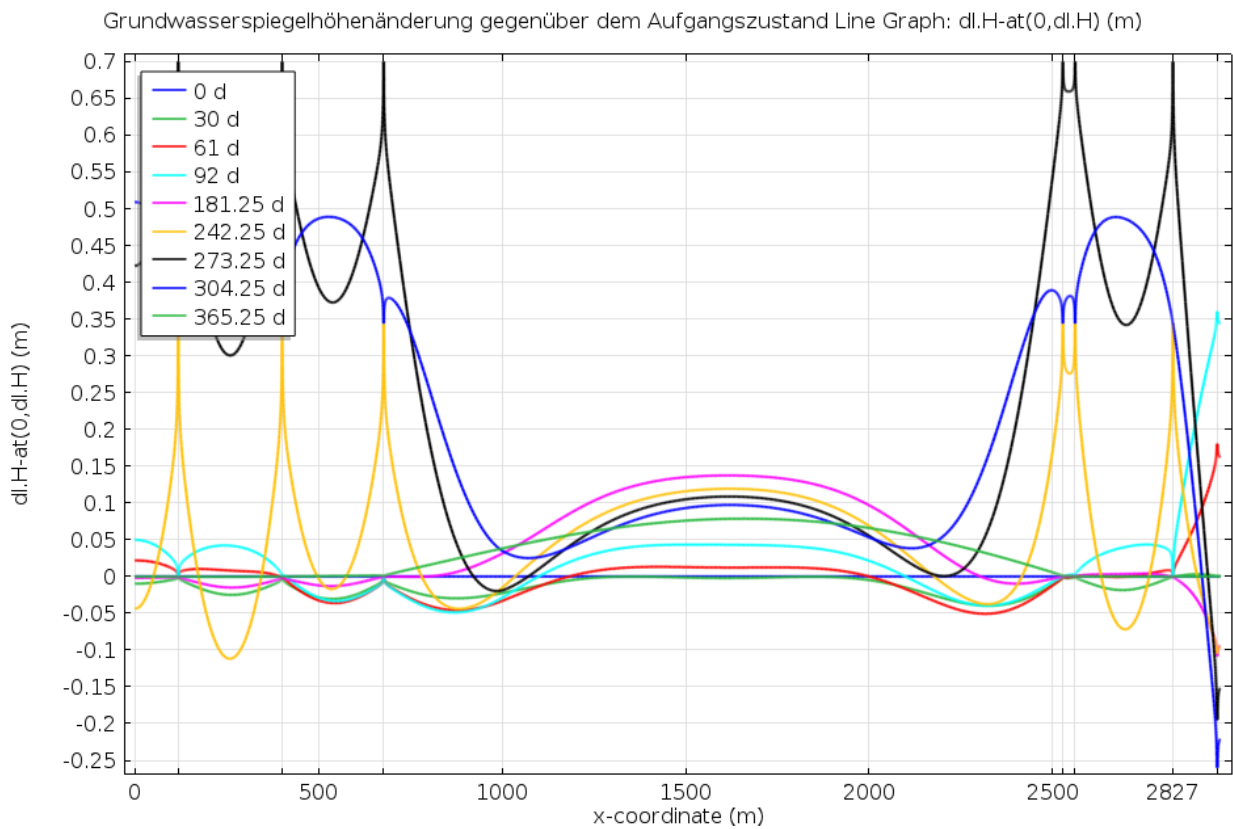


Abbildung 72: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 5

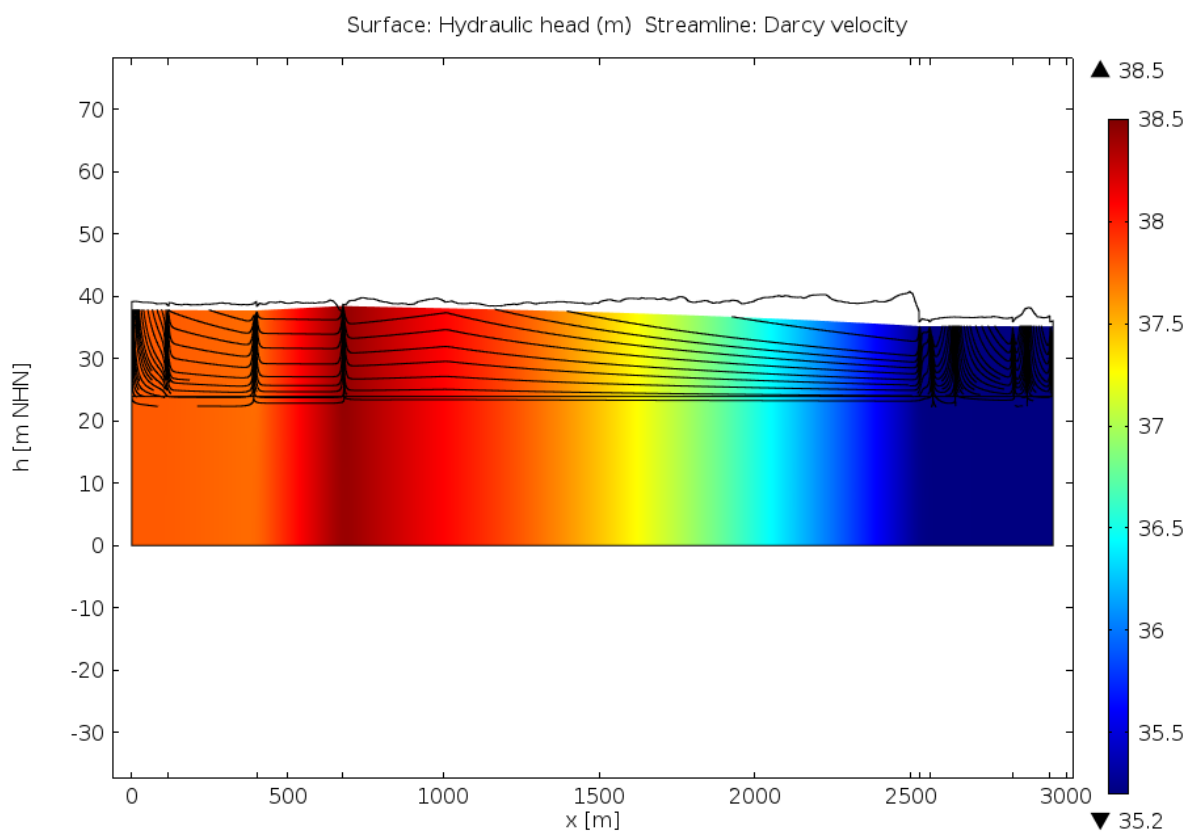


### 3.3.3 Szenario 2: Ohne Wehr

#### 3.3.3.1 Quasi stationäre Strömung

Für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2 mit rückgebauten Wehren beträgt der mittlere Oberflächenwasserspiegel der Schnellen Havel am Profil 5 36,12 m NHN (Abbildung 67, Schwelle 2). Die Oberflächenwasserspiegel der Meliorationsgräben und des Grabens Große Wiese bleiben unverändert.

Abbildung 73 zeigt die Verteilung der Grundwasserspiegelhöhen und der Stromlinien für den oberen Grundwasserleiter. Abbildung 74 zeigt den zugehörigen Grundwasserflurabstand.



**Abbildung 73: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2, Profil 5**

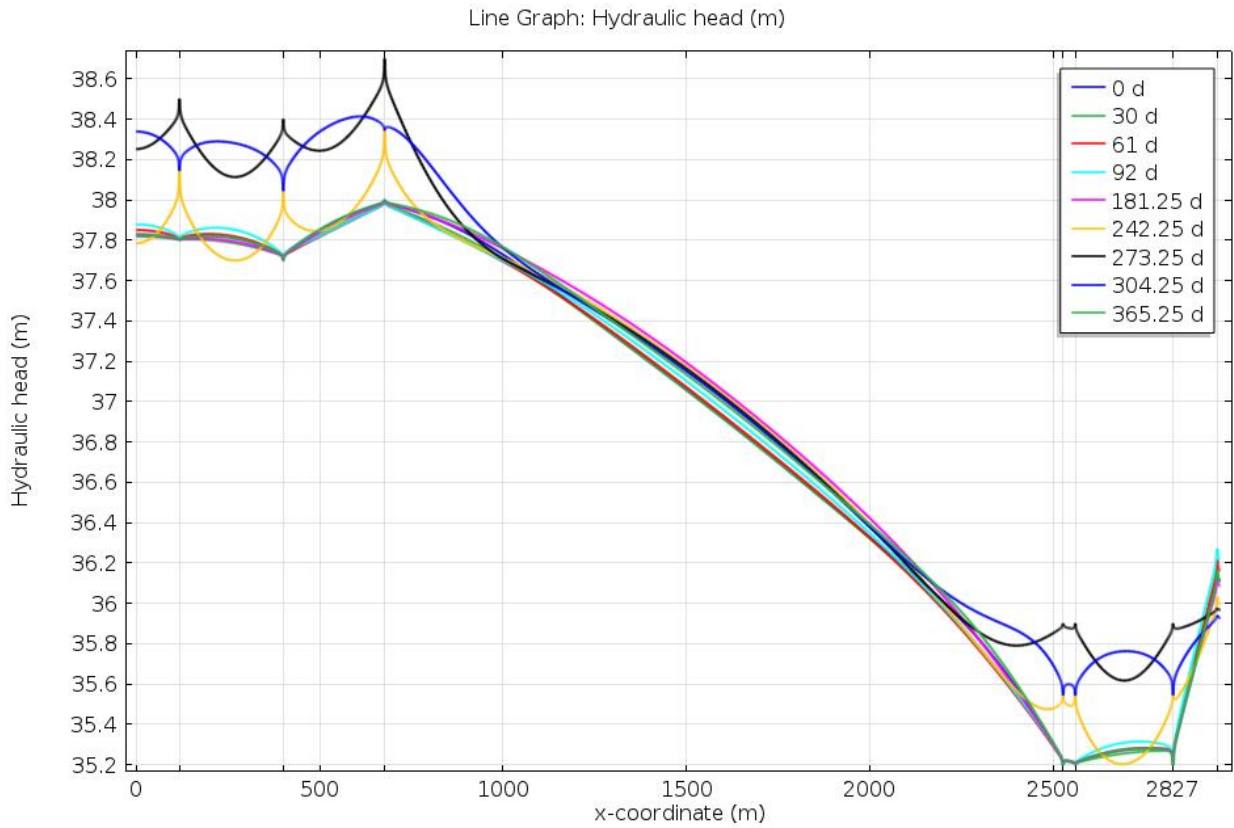


**Abbildung 74: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 2 für das Profil 5**

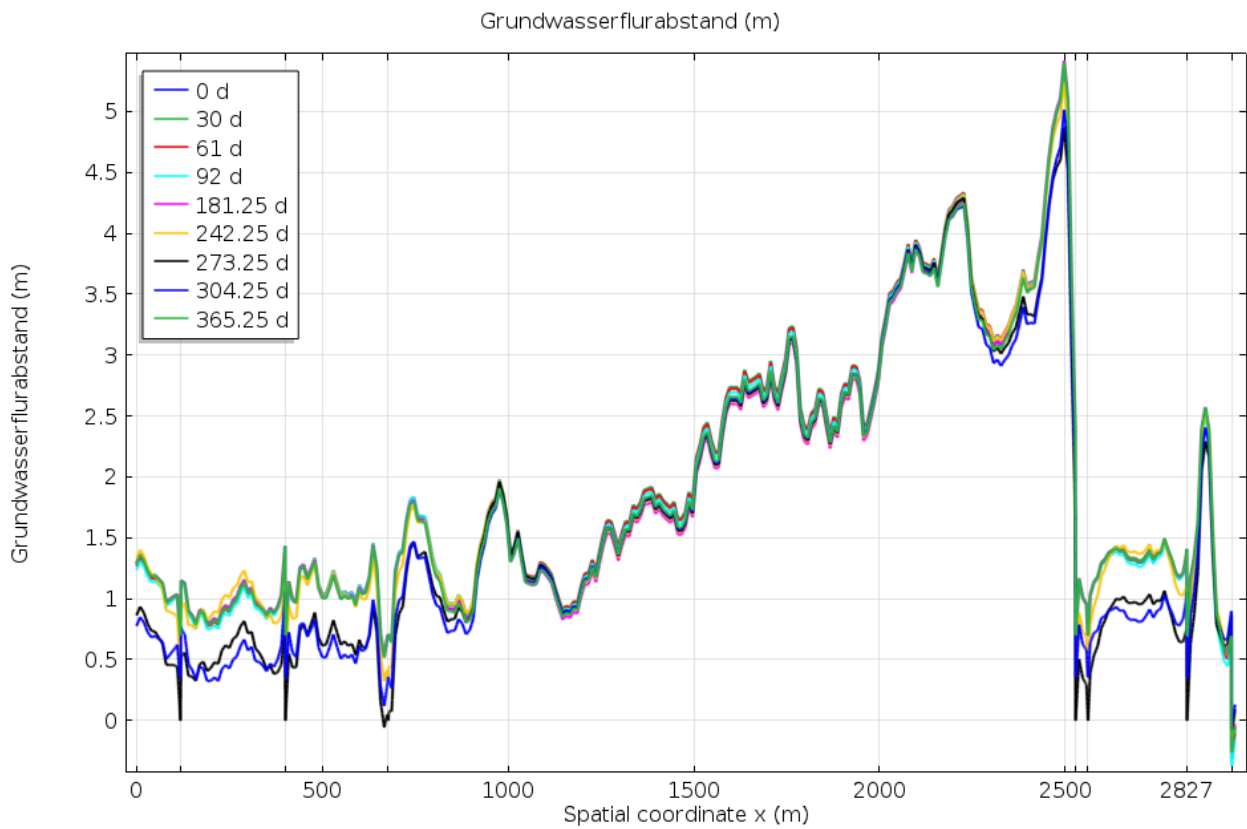
### 3.3.3.2 Zeitabhängige Strömung

Abbildung 75 und Abbildung 76 zeigen die Grundwasserspiegelhöhe und den Grundwasserflurabstand für das Profil 5 im Szenario 2. Im Vergleich mit Abbildung 70 und Abbildung 72 im Szenario 1 fällt auf, dass sich der Einfluss der rückgebauten Wehre auf die Grundwasserspiegelhöhe im Profil 5 nur auf den unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel auswirkt. Durch den Grabeneinstau und die zeitabhängige Grundwasserneubildung zeigen sich im übrigen Teil des Profils mit  $x < 2.827$  m die gleiche Grundwasserspiegelhöhenverteilung und –entwicklung wie im Szenario 1.

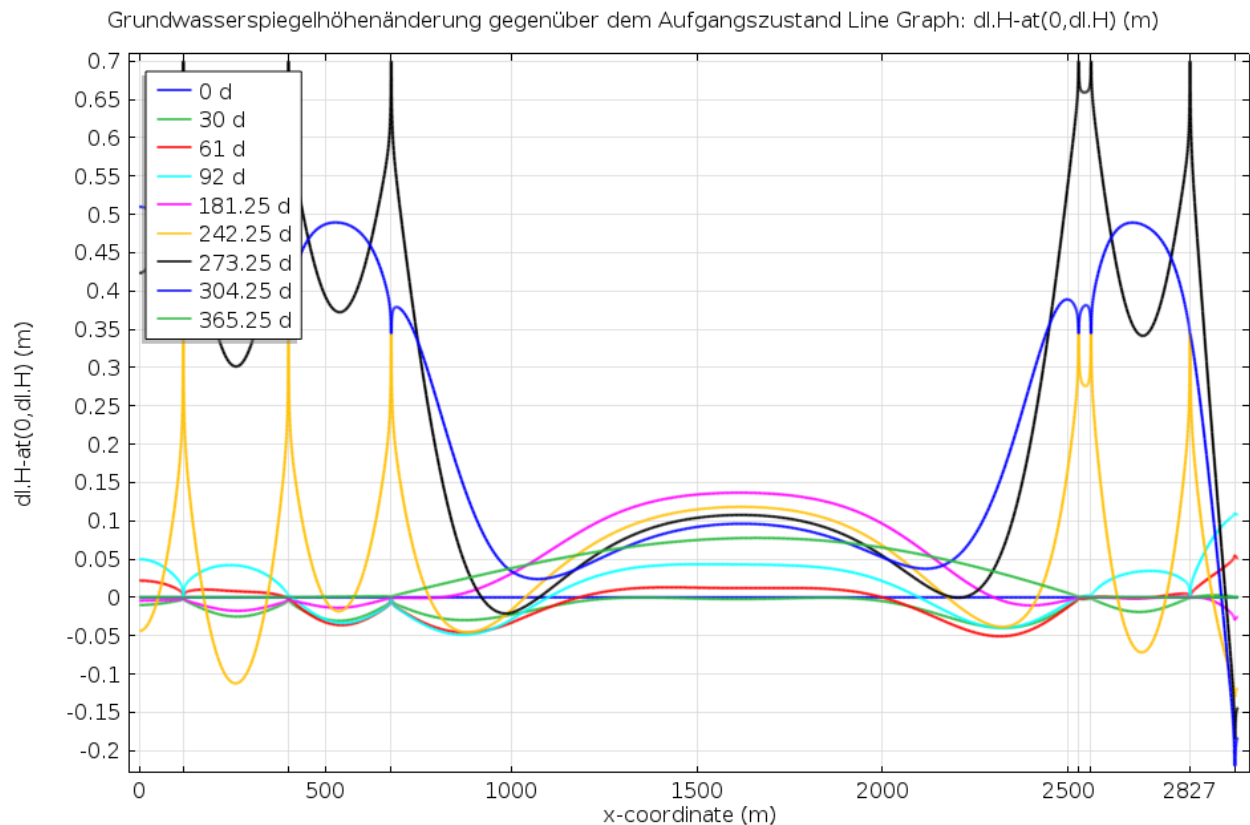
Die gleiche Situation veranschaulicht die Grundwasserspiegelhöhenänderung gegenüber dem quasi-stationären Ausgangszustand in Abbildung 77.



**Abbildung 75: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 5**



**Abbildung 76: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 5**



**Abbildung 77: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 5**

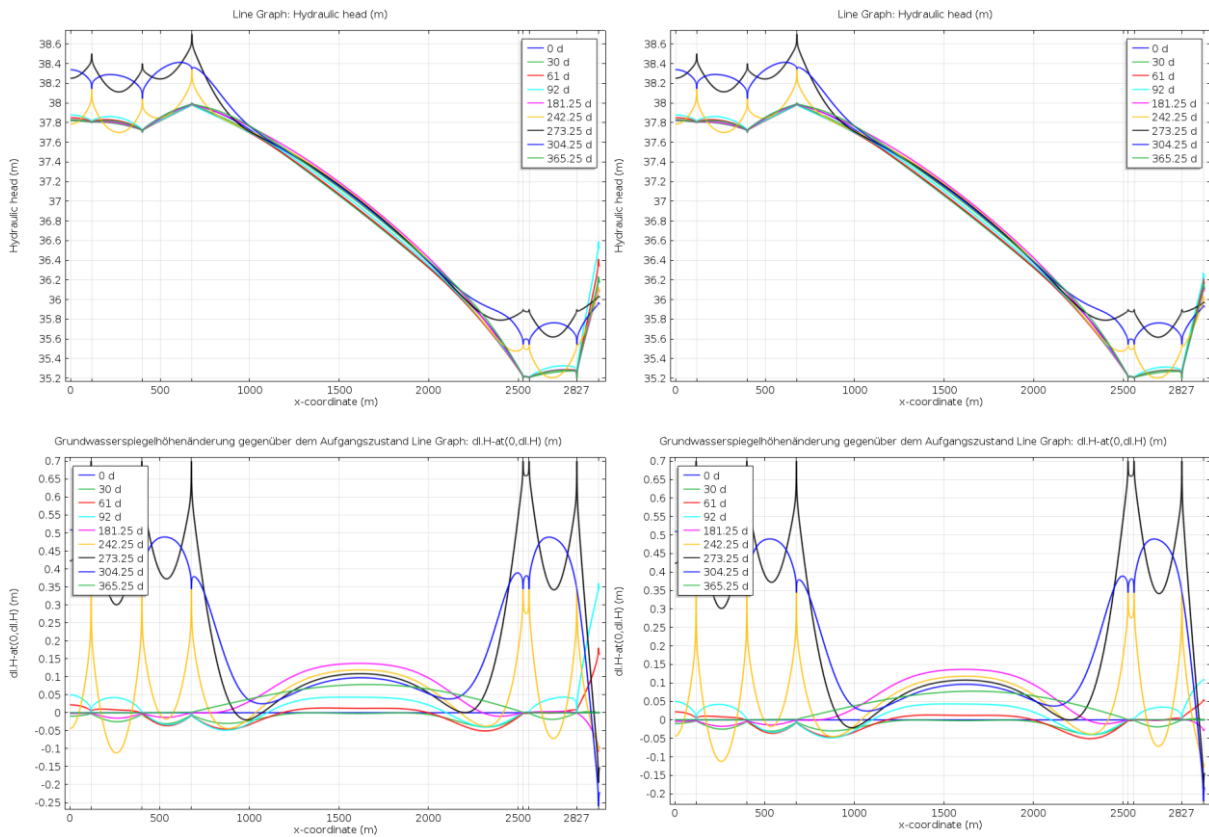
### 3.3.4 Bewertung

Zusammenfassend kann für das Profil 5 festgestellt werden, dass sich der Rückbau der Wehre in der Schnellen Havel unter mittleren Abflussbedingungen nur auf den unmittelbaren Bereich an der Schnellen Havel auswirkt. Im Bereich der Meliorationsgräben mit einer aktiven Einstaubewässerung werden die Effekte kompensiert, so dass in diesem Bereich keine Beeinflussung der Grundwasseroberfläche zu erwarten ist. Zur Verdeutlichung fasst Abbildung 78 die Ergebnisse zusammen.

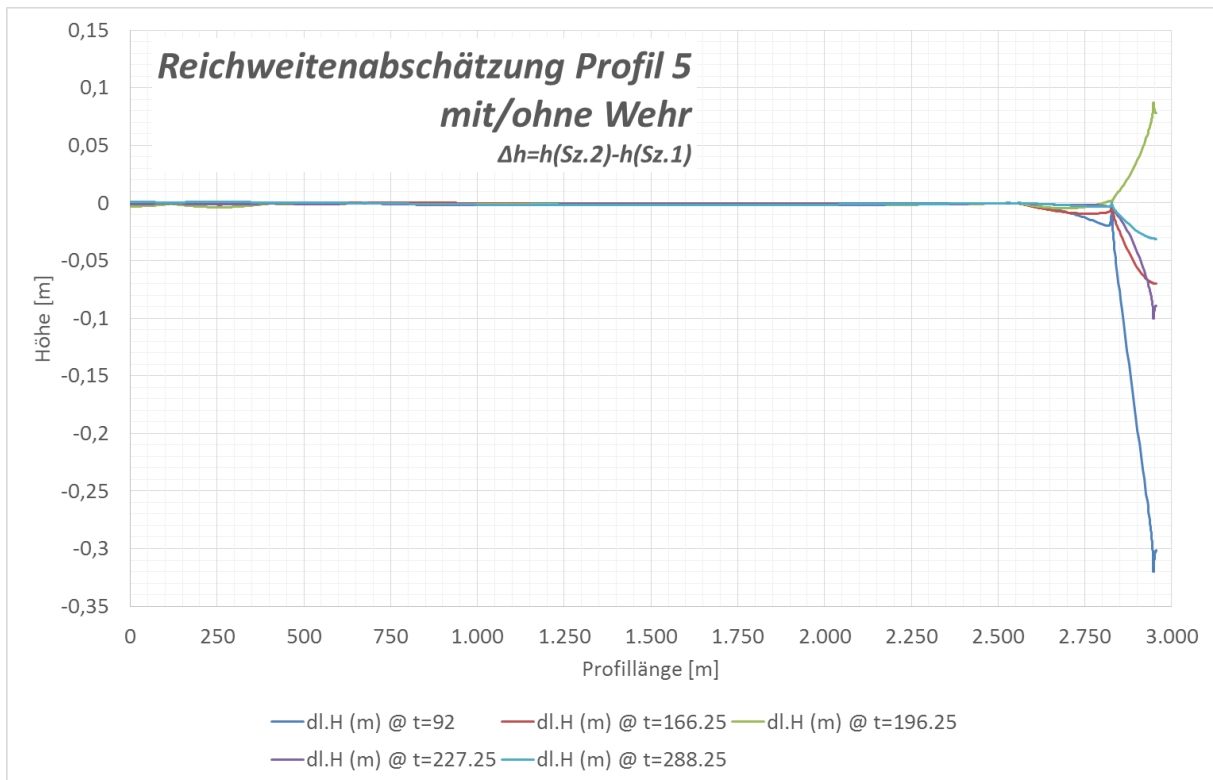
Abbildung 79 zeigt die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung durch den Rückbau des Wehres. Dargestellt sind die Differenzen der simulierten Grundwasserspiegelhöhen zwischen den Szenarios 2 und 1 zu unterschiedlichen Zeiten. Deutlich erkennbar ist, dass eine Beeinflussung der Grundwasserspiegelhöhe  $abs(\Delta h) > 10\text{cm}$  nur im unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel ( $x=2.947\text{ m}$ ) zu erwarten ist.

**Szenario 1, mit Wehren**

**Szenario 2, rückgebaute Wehre**



**Abbildung 78: Gegenüberstellung der Grundwasserspiegelhöhen und der Grundwasserspiegelhöhenänderung in den Szenarios 1 und 2 für das Profil 5**



**Abbildung 79: Reichweitenabschätzung Profil 5**

## **4 Simulation des Sommerhochwassers Profile 3, 4 und 5**

### **4.1 Vertikalschnittmodell Profil 3**

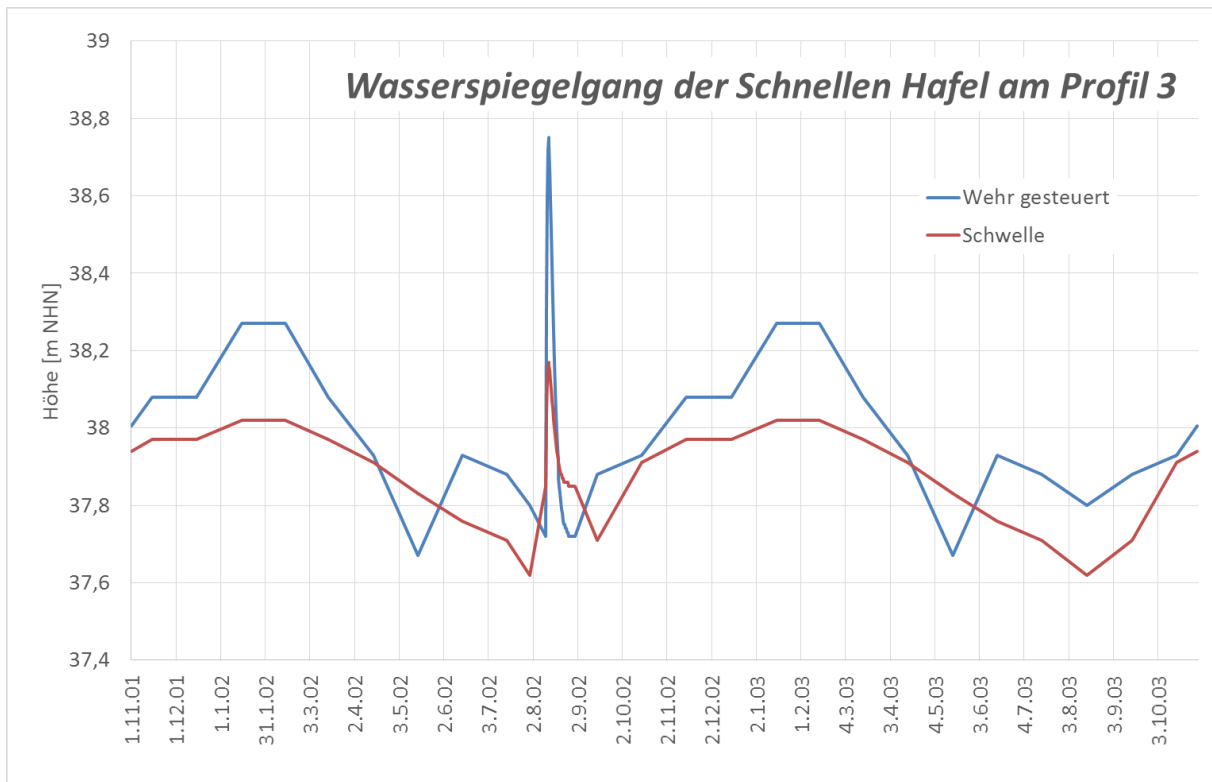
#### *4.1.1 Modellaufbau*

Auf der Grundlage des Vertikalschnittmodells Profil 3 für die hydrogeologische Bewertung der Wehre (Abschnitt 3.1) wurde das Vertikalschnittmodell für die Simulation des Sommerhochwassers aufgebaut.

Auf Grund der zeitlichen Einordnung des Sommerhochwassers August 2002 erstreckt sich der Simulationszeitraum vom 01.11.2001 bis zum 31.10.2003. Ausgehend von einem quasi-stationären Ausgangszustand bei abgesenkten Oberflächenwasserspiegeln in den Meliorationsgräben sind die angesetzten zeitabhängigen Randbedingungen für die Meliorationsgräben übereinstimmend mit der in Abschnitten 1.5.3 und 3.1 dokumentierten Staubewirtschaftung:

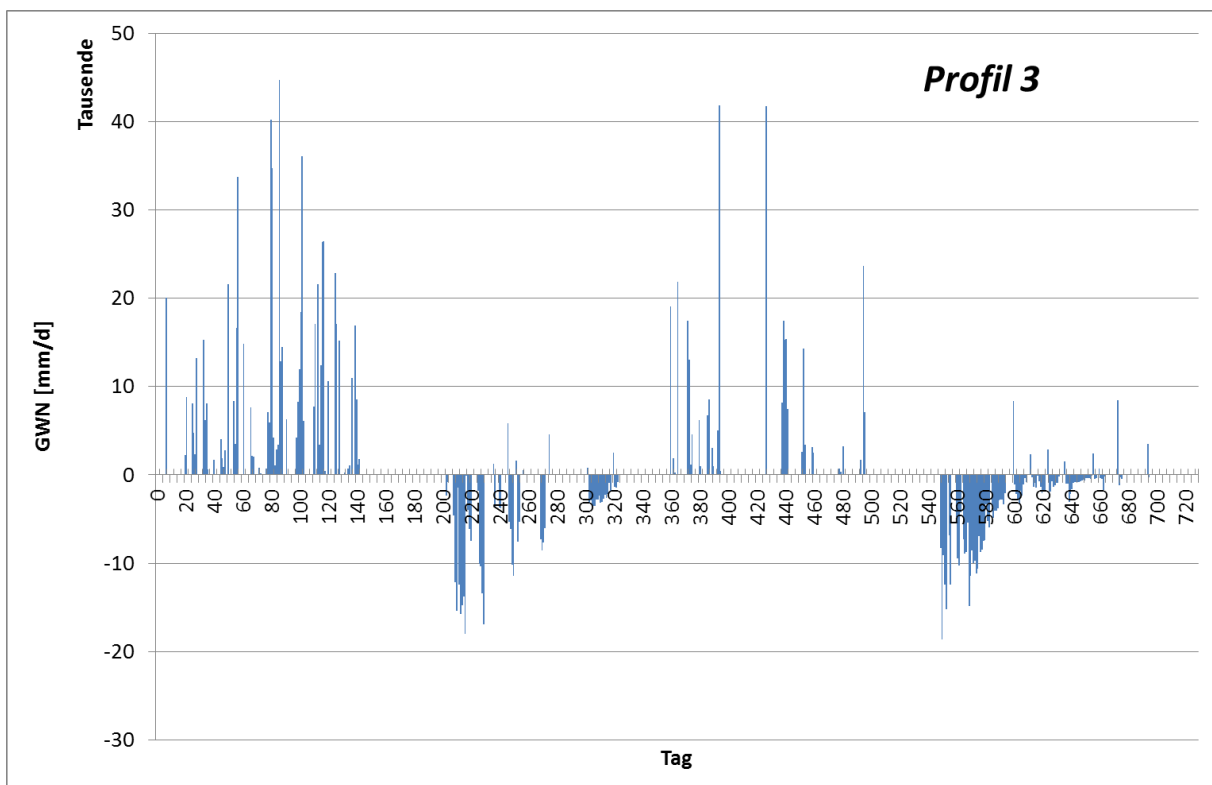
- bis Juni abgesenkte Wasserspiegel (Wehr offen) für die landwirtschaftliche Nutzung
- Juli/August eingestaute Wasserspiegel (Wehr geschlossen)
- ab September abgesenkte Wasserspiegel in den Meliorationsgräben (Wehr offen) für die landwirtschaftliche Nutzung
- die Oberflächenwasserspiegel der Schnellen Havel für die Profile resultieren standortspezifisch aus der Wasserspiegellagenberechnung [U11]

In den Wasserspiegelgang der Schnellen Havel am Profil 3 für die Szenarios I Wehr gesteuert und II Schwelle ist das hypothetische Sommerhochwasser (Abschnitt 1.5.4) vom 11.08.2002 bis 31.08.2002 eingearbeitet. Abbildung 80 dokumentiert den Oberflächenwasserspiegelgang der Schnellen Havel für die beiden betrachteten Szenarios.



**Abbildung 80: Wasserspiegelgang für das Sommerhochwasser in der Schnellen Havel am Profil 3**

Die zeitabhängige Grundwasserneubildung wurde Profil bezogen ermittelt [U12] und mit einer Auflösung von 100m als Tageswerte berücksichtigt. Abbildung 81 zeigt die über die Profillänge aufsummierte zeitabhängige Sickerwasserrate.

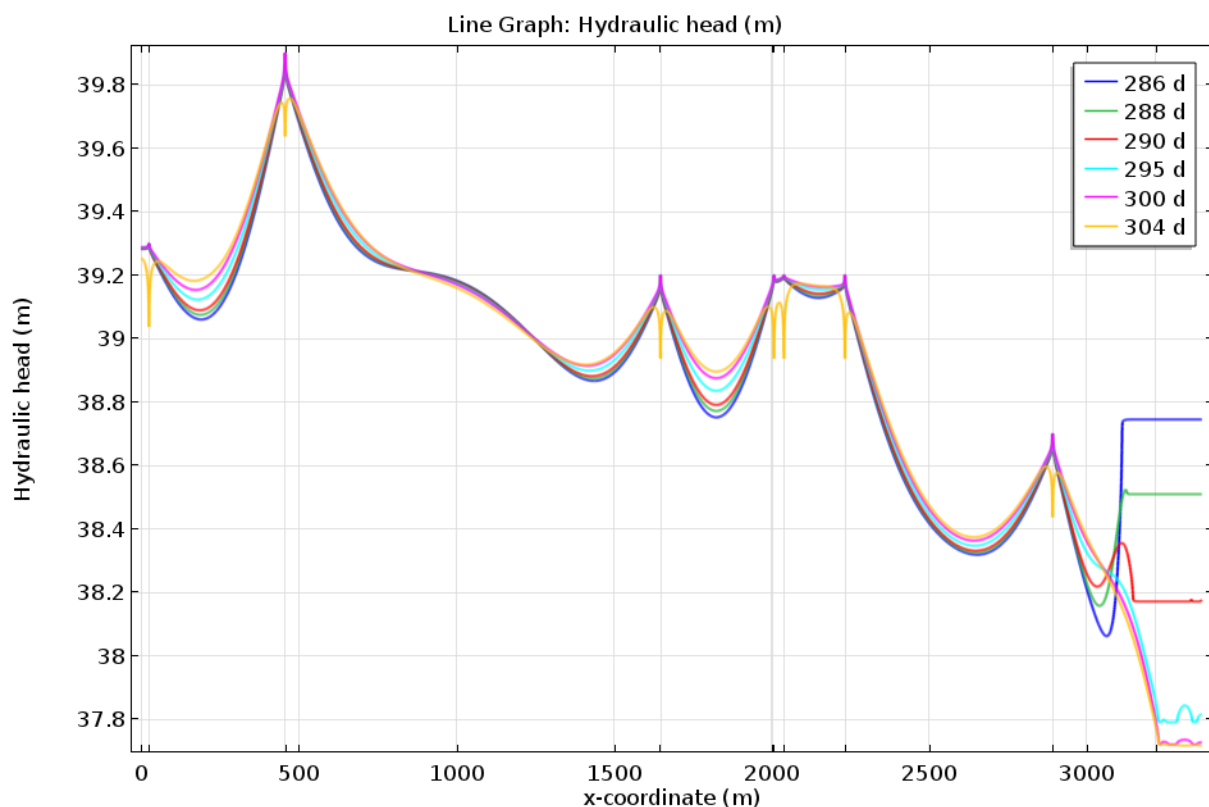


**Abbildung 81: Tägliche Sickerwassersummen am Profil 3**

#### 4.1.2 Simulationsergebnisse

Abbildung 82 und Abbildung 83 dokumentieren die Verteilungen der Grundwasserspiegelhöhen entlang des Profils 3 für die Szenarios I und II zu ausgewählten Zeitpunkten einschließlich und nach dem Hochwasserscheitel. Anlage 4 zeigt die gemeinsame Darstellung der Grundwasserspiegelhöhen während des Hochwasserscheitels am 286. Tag.

In beiden Szenarios I gesteuertes Wehr und II Schwelle gibt es durch das relativ kurzfristige Ereignis nur eine geringe Beeinflussung der Grundwasseroberfläche, die sich lokal auf den Bereich zwischen Schneller Havel und ersten Meliorationsgraben beschränkt. Der zeitliche Verlauf der Grundwasserspiegelentwicklung wird in Abbildung 84 gegeben. Während in direkter Nähe der Schnellen Havel bei  $x=3100$  m noch eine deutliche Beeinflussung erkennbar ist, ist sie bei  $x=2950$  m durch die Nähe der Meliorationsgräben nur noch gering und bei  $x=2600$  m sind die Ganglinien identisch.



**Abbildung 82: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 3 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 1**



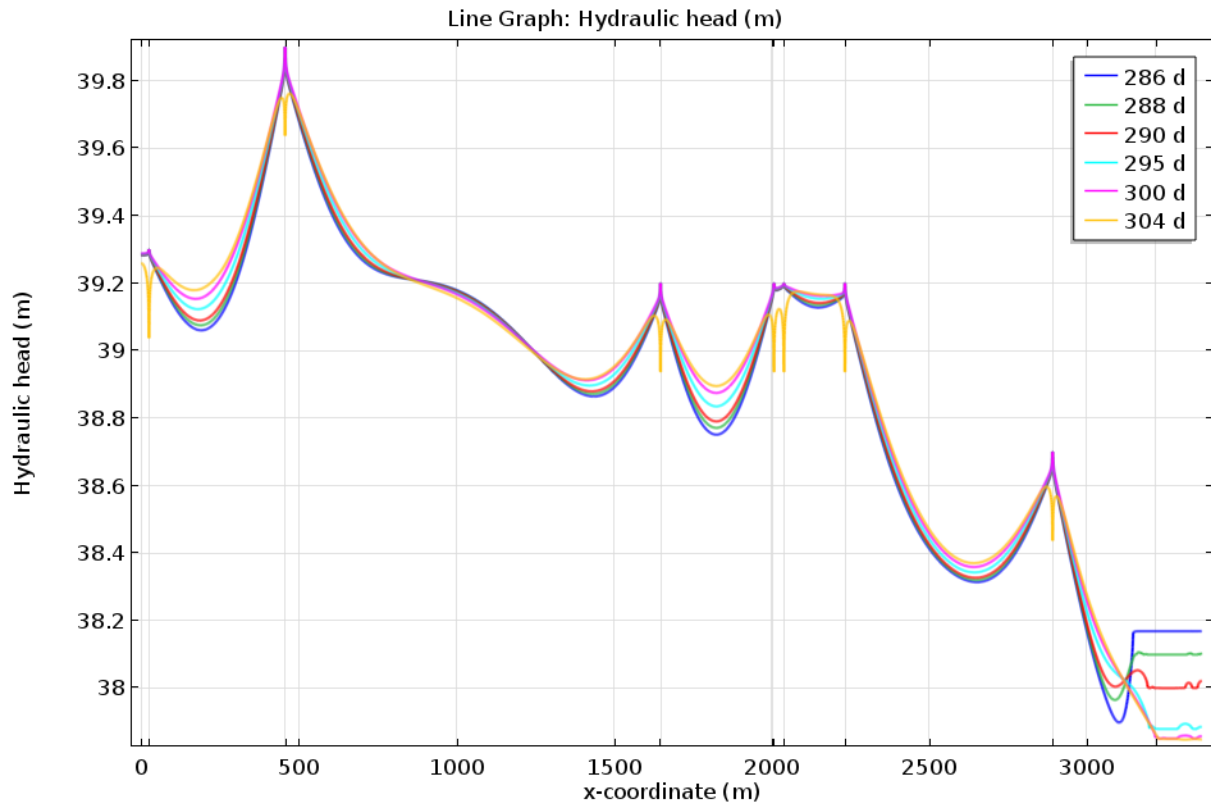


Abbildung 83: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 3 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 2

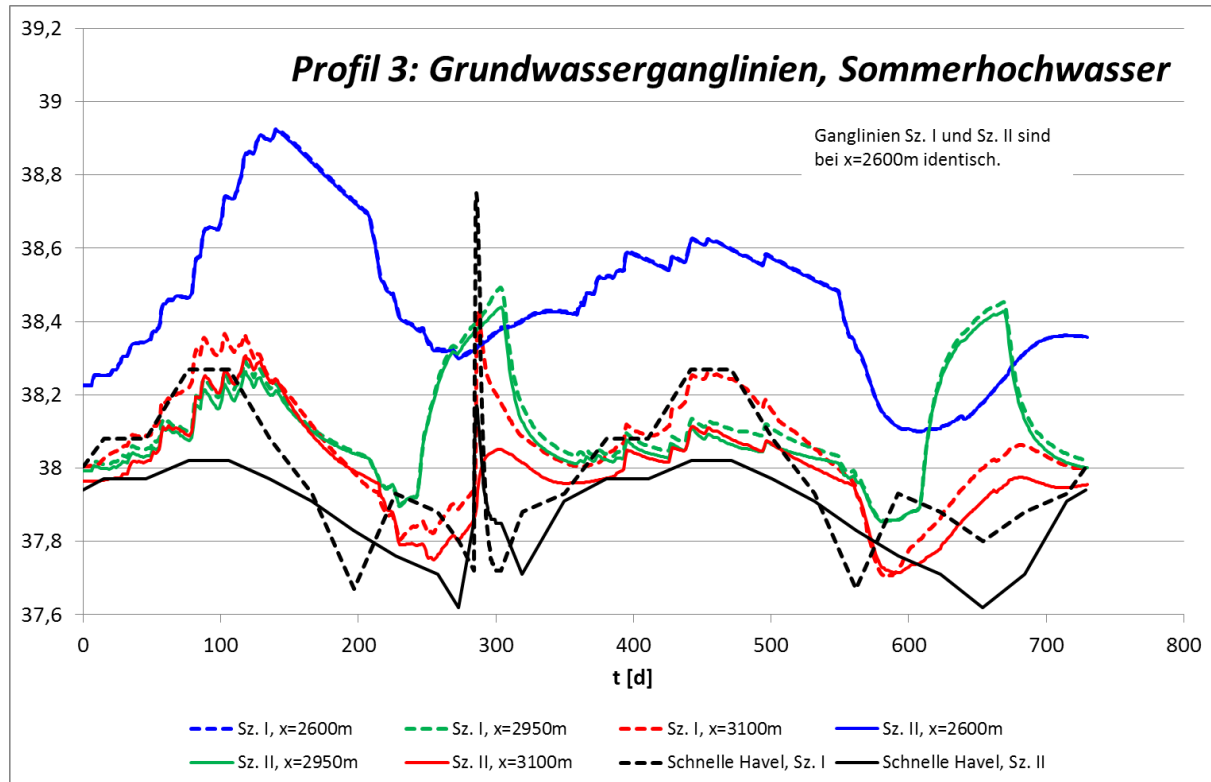
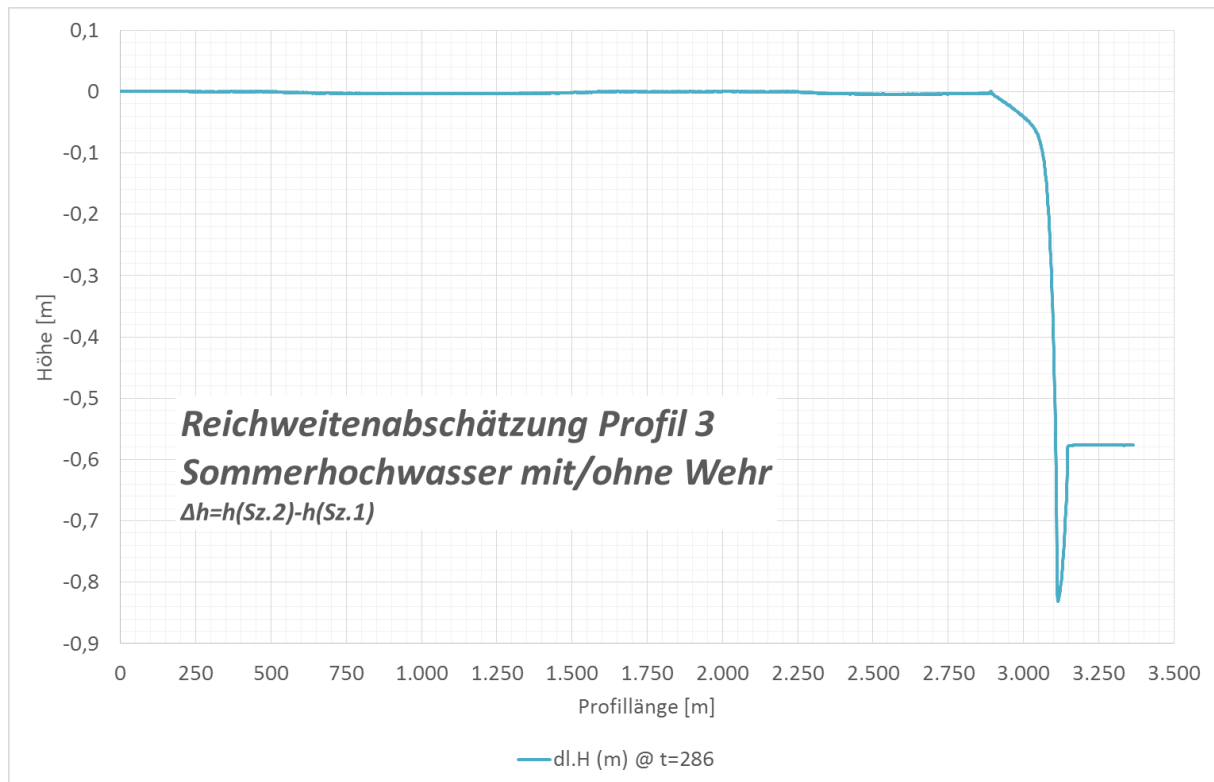


Abbildung 84: Grundwasserganglinien für das Sommerhochwasser an ausgewählten Lokationen im Profil 3



**Abbildung 85: Reichweitenabschätzung für das Sommerhochwasser Profil 3**

Abbildung 85 zeigt die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung durch den Rückbau des Wehres bei einem Sommerhochwasser. Dargestellt sind die Differenzen der simulierten Grundwasserspiegelhöhen zwischen den Szenarios 2 und 1 zu unterschiedlichen Zeiten. Deutlich erkennbar ist, dass eine Beeinflussung der Grundwasserspiegelhöhe  $\text{abs}(\Delta h) > 10\text{cm}$  im unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel ( $x=3.218\text{ m}$ ) und der Talaue bis  $x=3.050\text{ m}$  zu erwarten ist.

## 4.2 Vertikalschnittmodell Profil 4

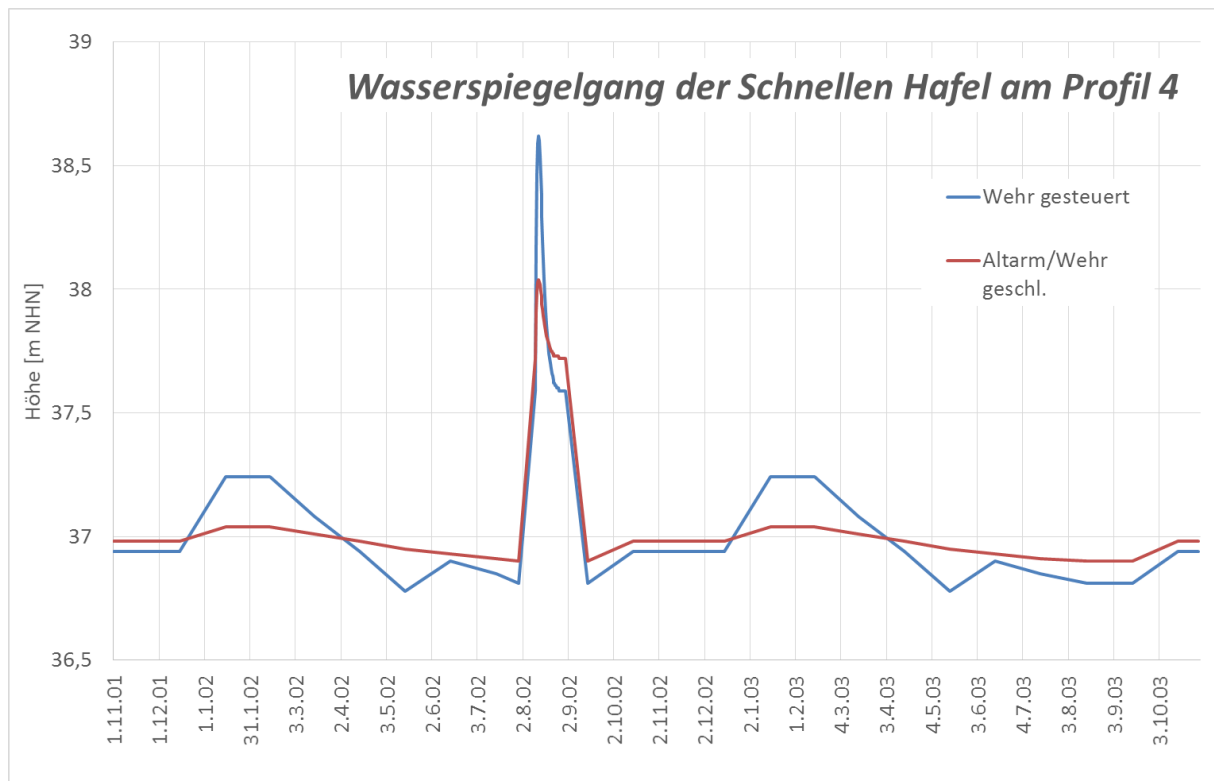
### 4.2.1 Modellaufbau

Auf der Grundlage des Vertikalschnittmodells Profil 4 für die hydrogeologische Bewertung der Wehre (Abschnitt 3.2) wurde das Vertikalschnittmodell für die Simulation des Sommerhochwassers aufgebaut.

Auf Grund der zeitlichen Einordnung des Sommerhochwassers August 2002 erstreckt sich der Simulationszeitraum vom 01.11.2001 bis zum 31.10.2003. Ausgehend von einem quasi-stationären Ausgangszustand bei abgesenkten Oberflächenwasserspiegeln in den Meliorationsgräben sind die angesetzten zeitabhängigen Randbedingungen für die Meliorationsgräben übereinstimmend mit der in Abschnitten 1.5.3 und 3.2 dokumentierten Staubewirtschaftung.

In den Wasserspiegelgang der Schnellen Havel am Profil 4 für die Szenarios I Wehr gesteuert und II Schwelle ist das hypothetische Sommerhochwasser (Abschnitt 1.5.4) vom 11.08.2002

bis 31.08.2002 eingearbeitet. Abbildung 86 dokumentiert den Oberflächenwasserspiegelgang der Schnellen Havel für die beiden betrachteten Szenarios.



**Abbildung 86: Wasserspiegelgang für das Sommerhochwasser in der Schnellen Havel am Profil 4**

Die zeitabhängige Grundwasserneubildung wurde Profil bezogen ermittelt [U12] und mit einer Auflösung von 100m als Tageswerte berücksichtigt. Abbildung 87 zeigt die über die Profillänge aufsummierte zeitabhängige Sickerwasserrate.

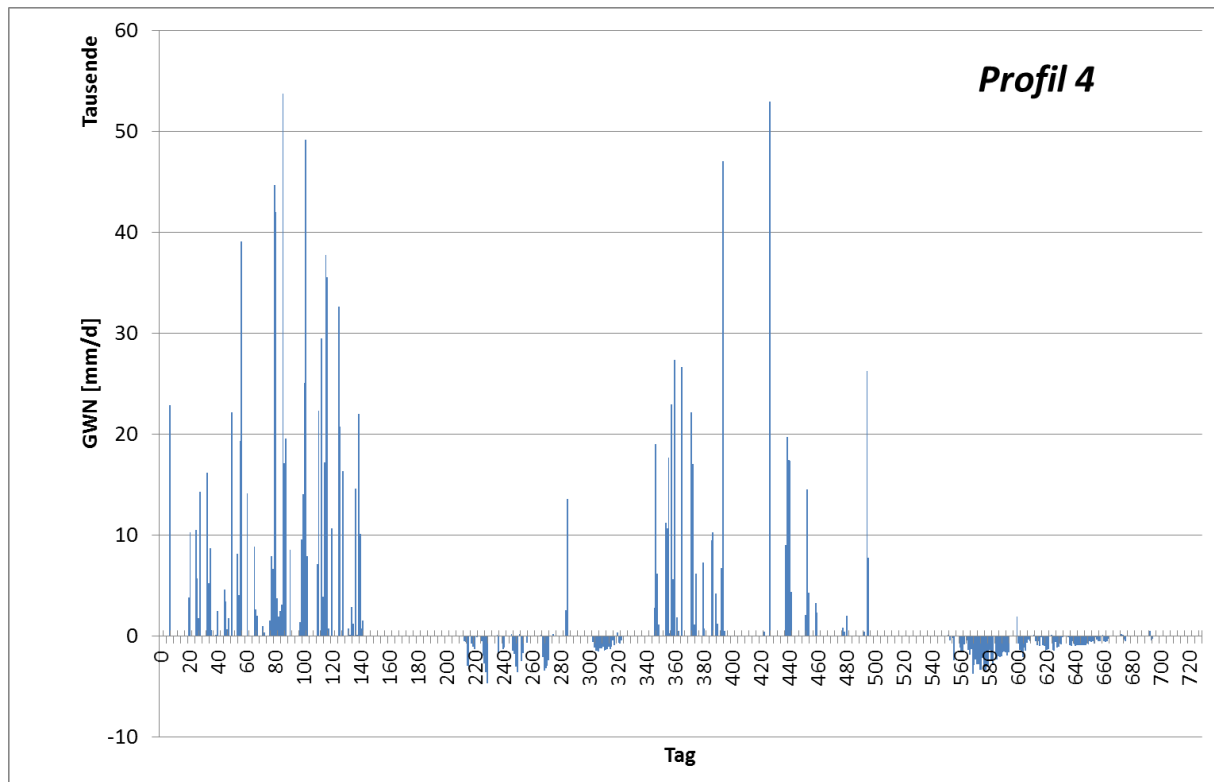
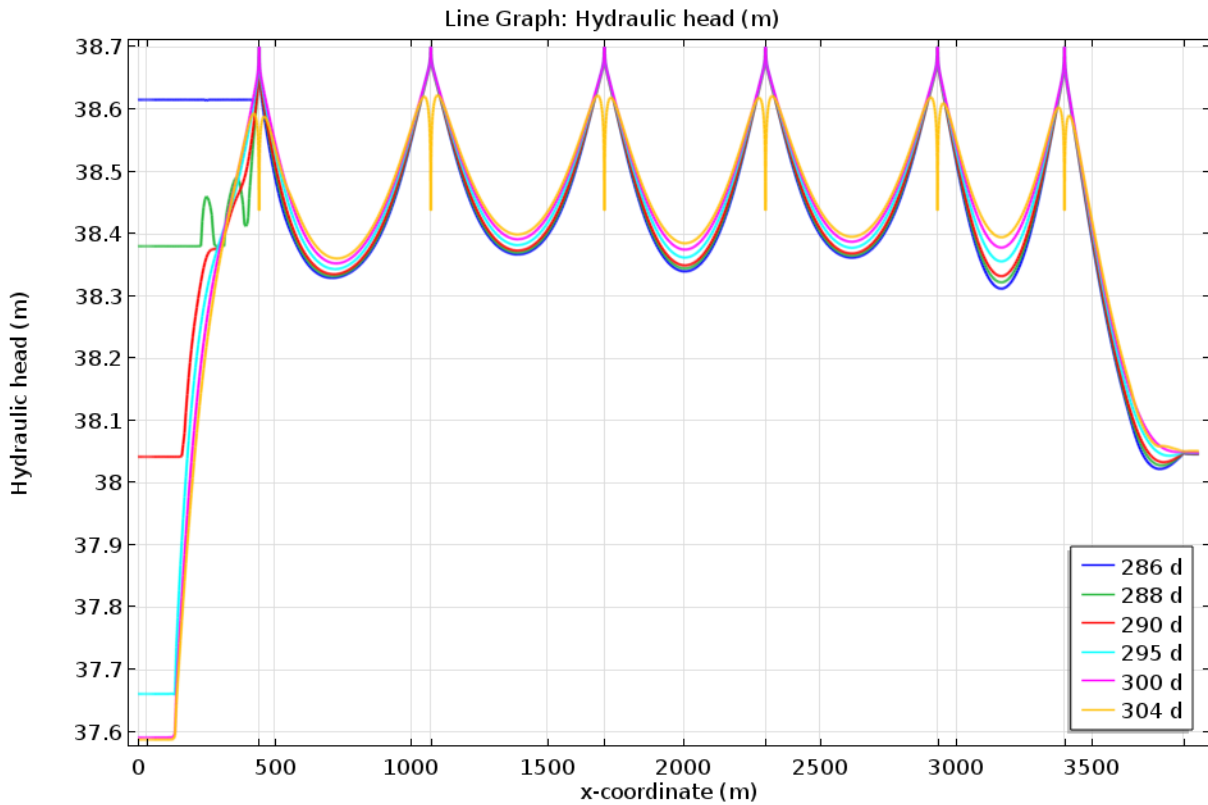


Abbildung 87: Tägliche Sickerwassersummen am Profil 4

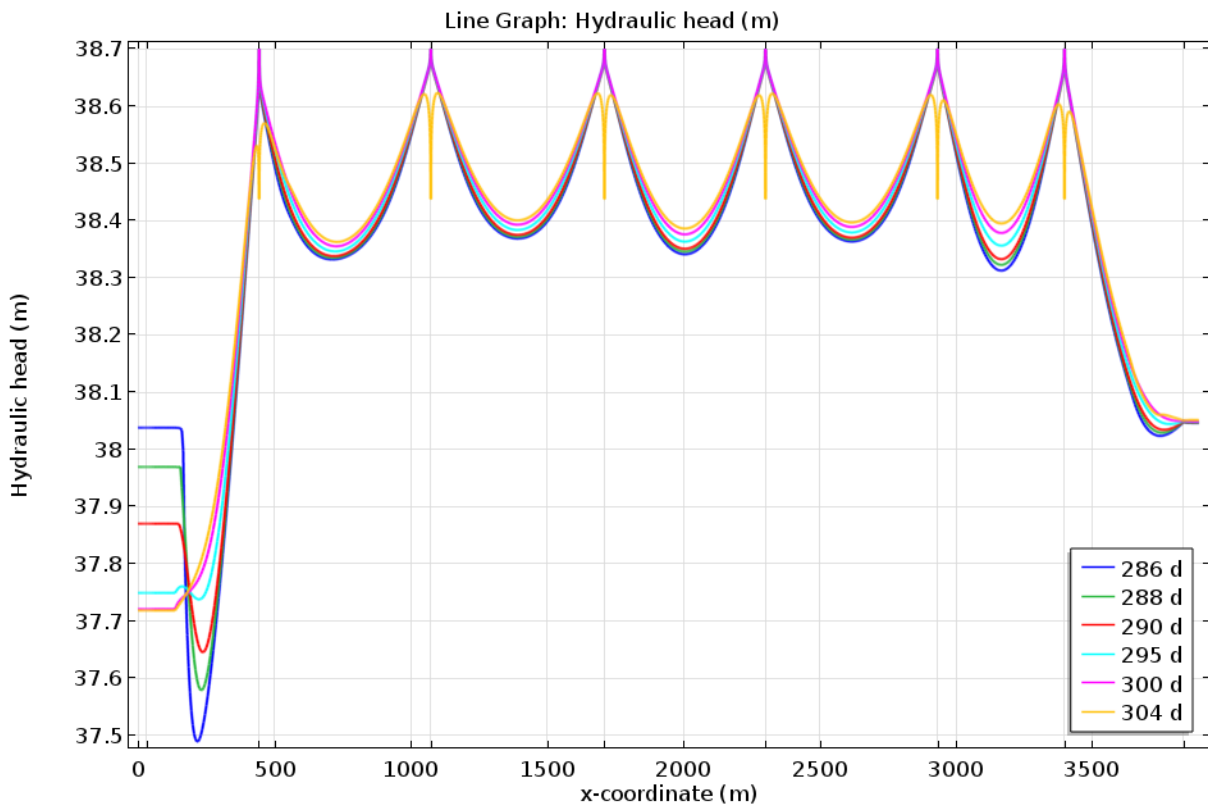
#### 4.2.2 Simulationsergebnisse

Abbildung 88 und Abbildung 89 dokumentieren die Verteilungen der Grundwasserspiegelhöhen entlang des Profils 3 für die Szenarios I und II zu ausgewählten Zeitpunkten einschließlich und nach dem Hochwasserscheitel. Anlage 5 zeigt die gemeinsame Darstellung der Grundwasserspiegelhöhen während des Hochwasserscheitels am 286. Tag.

In beiden Szenarios I gesteuertes Wehr und II Schwelle gibt es durch das relativ kurzfristige Ereignis nur eine geringe Beeinflussung der Grundwasseroberfläche, die sich lokal auf den Bereich zwischen Schneller Havel und ersten Meliorationsgraben beschränkt. Der zeitliche Verlauf der Grundwasserspiegelentwicklung wird in Abbildung 90 gegeben. Während in direkter Nähe der Schnellen Havel bei  $x=300$  m noch eine deutliche Beeinflussung erkennbar ist, sind bei  $x=600$  m und  $x=1000$  m die Ganglinien identisch.



**Abbildung 88: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 4 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 1**



**Abbildung 89: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 4 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 2**

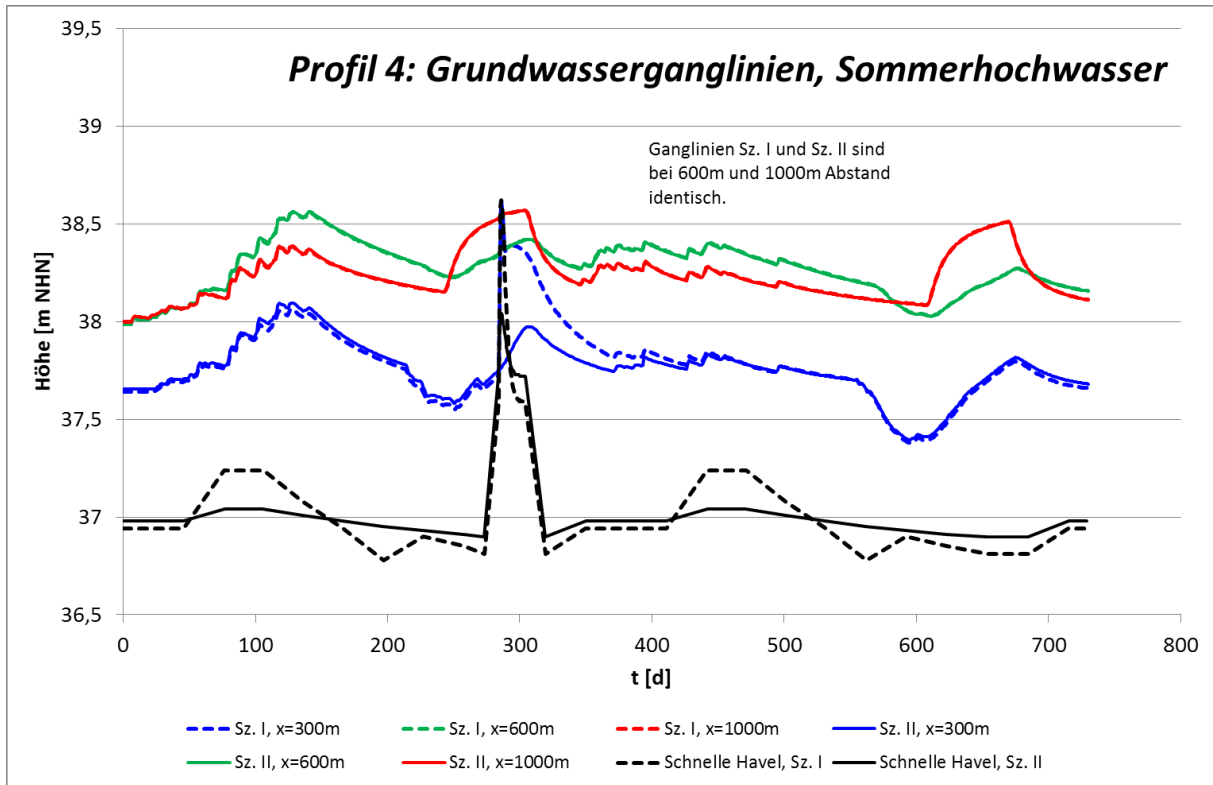


Abbildung 90: Grundwasserganglinien für das Sommerhochwasser an ausgewählten Lokationen im Profil 4

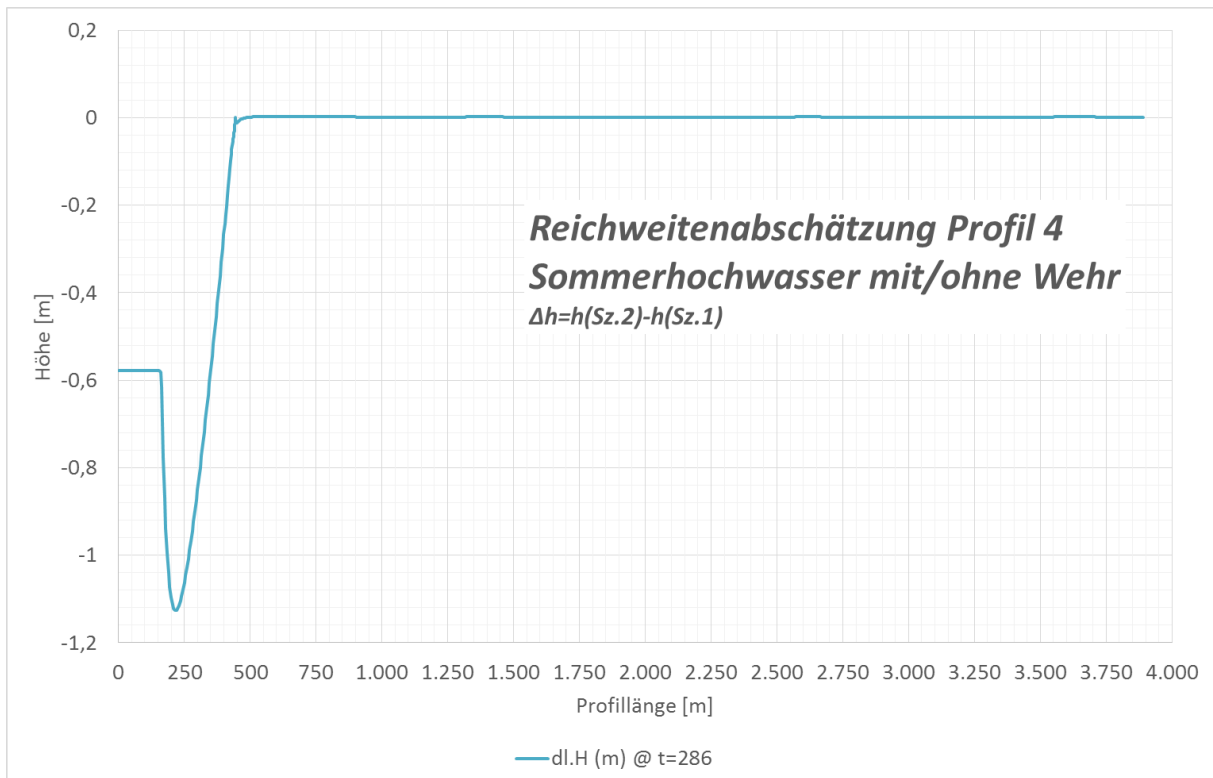


Abbildung 91: Reichweitenabschätzung für das Sommerhochwasser Profil 4

Abbildung 91 zeigt die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung bei einem Sommerhochwasser durch den Rückbau des Wehres. Dargestellt sind die Differenzen der simulierten Grundwasserspiegelhöhen zwischen den Szenarios 2 und 1 zu unterschiedlichen

Zeiten. Deutlich erkennbar ist, dass eine Beeinflussung der Grundwasserspiegelhöhe  $\text{abs}(\Delta h) > 10\text{cm}$  im unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel ( $x=30\text{ m}$ ) und der Talauie bis zum nächsten das Profil querenden Meliorationsgraben bei  $x=443\text{ m}$  zu erwarten ist.

### 4.3 Vertikalschnittmodell Profil 5

#### 4.3.1 Modellaufbau

Auf der Grundlage des Vertikalschnittmodells Profil 5 für die hydrogeologische Bewertung der Wehre (Abschnitt 3.3) wurde das Vertikalschnittmodell für die Simulation des Sommerhochwassers aufgebaut.

Auf Grund der zeitlichen Einordnung des Sommerhochwassers August 2002 erstreckt sich der Simulationszeitraum vom 01.11.2001 bis zum 31.10.2003. Ausgehend von einem quasi-stationären Ausgangszustand bei abgesenkten Oberflächenwasserspiegeln in den Meliorationsgräben sind die angesetzten zeitabhängigen Randbedingungen für die Meliorationsgräben übereinstimmend mit der in Abschnitten 1.5.3 und 3.3 dokumentierten Staubewirtschaftung.

In den Wasserspiegelgang der Schnellen Havel am Profil 5 für die Szenarios I Wehr gesteuert und II Schwelle ist das hypothetische Sommerhochwasser (Abschnitt 1.5.4) vom 11.08.2002 bis 31.08.2002 eingearbeitet. Abbildung 92 dokumentiert den Oberflächenwasserspiegelgang der Schnellen Havel für die beiden betrachteten Szenarios.

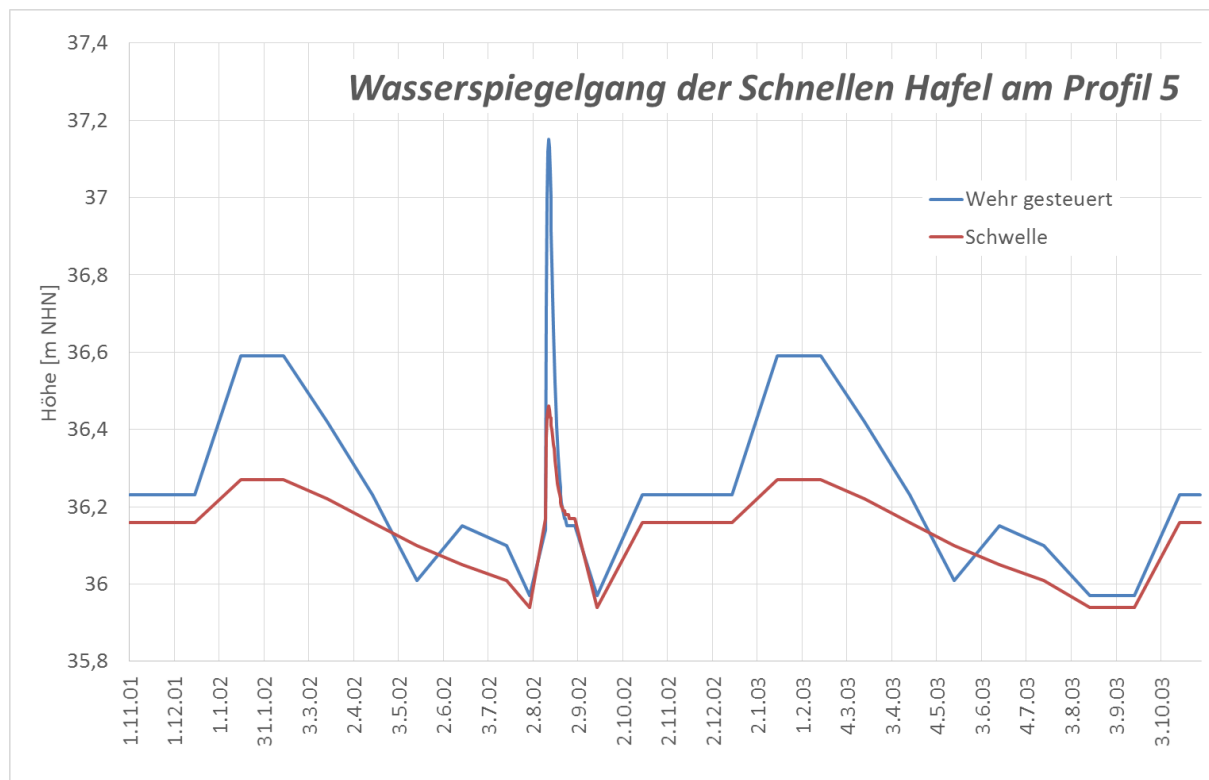


Abbildung 92: Wasserspiegelgang für das Sommerhochwasser in der Schnellen Havel am Profil 5

Die zeitabhängige Grundwasserneubildung wurde Profil bezogen ermittelt [U12] und mit einer Auflösung von 100 m als Tageswerte berücksichtigt. Abbildung 93 zeigt die über die Profillänge aufsummierte zeitabhängige Sickerwasserrate.

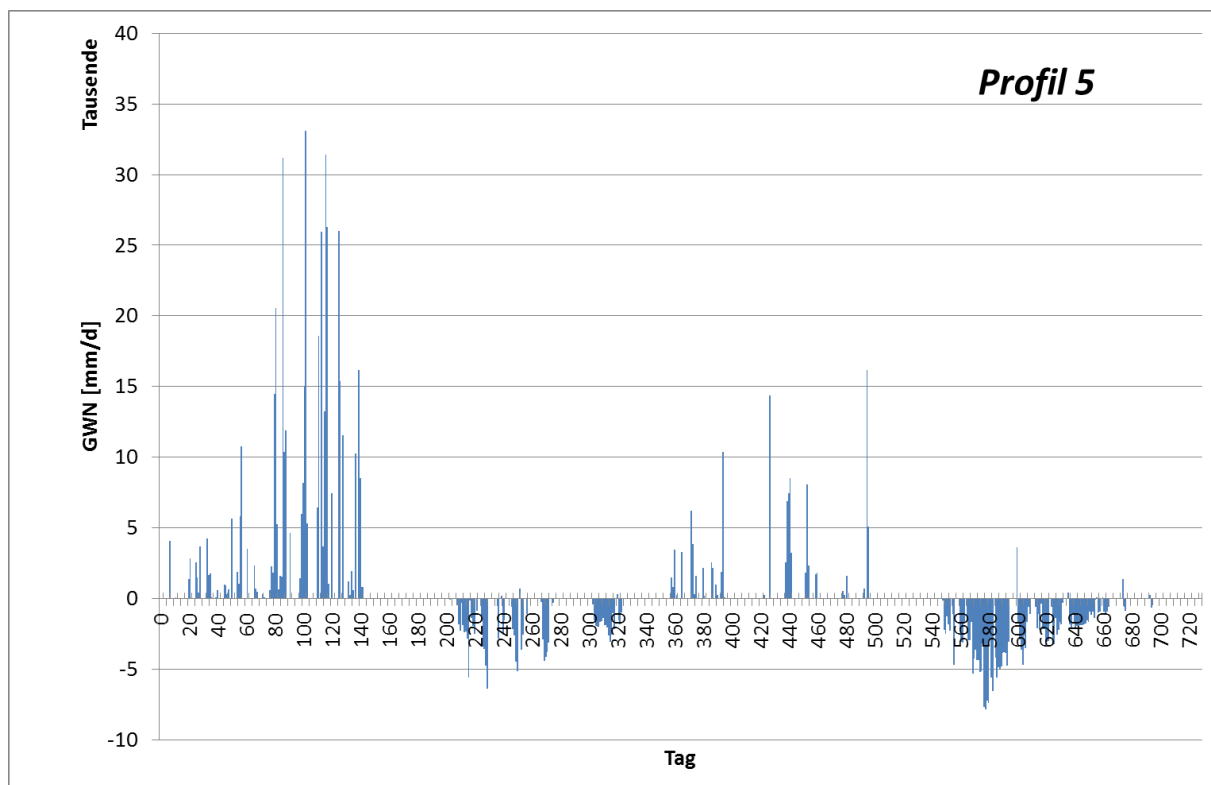


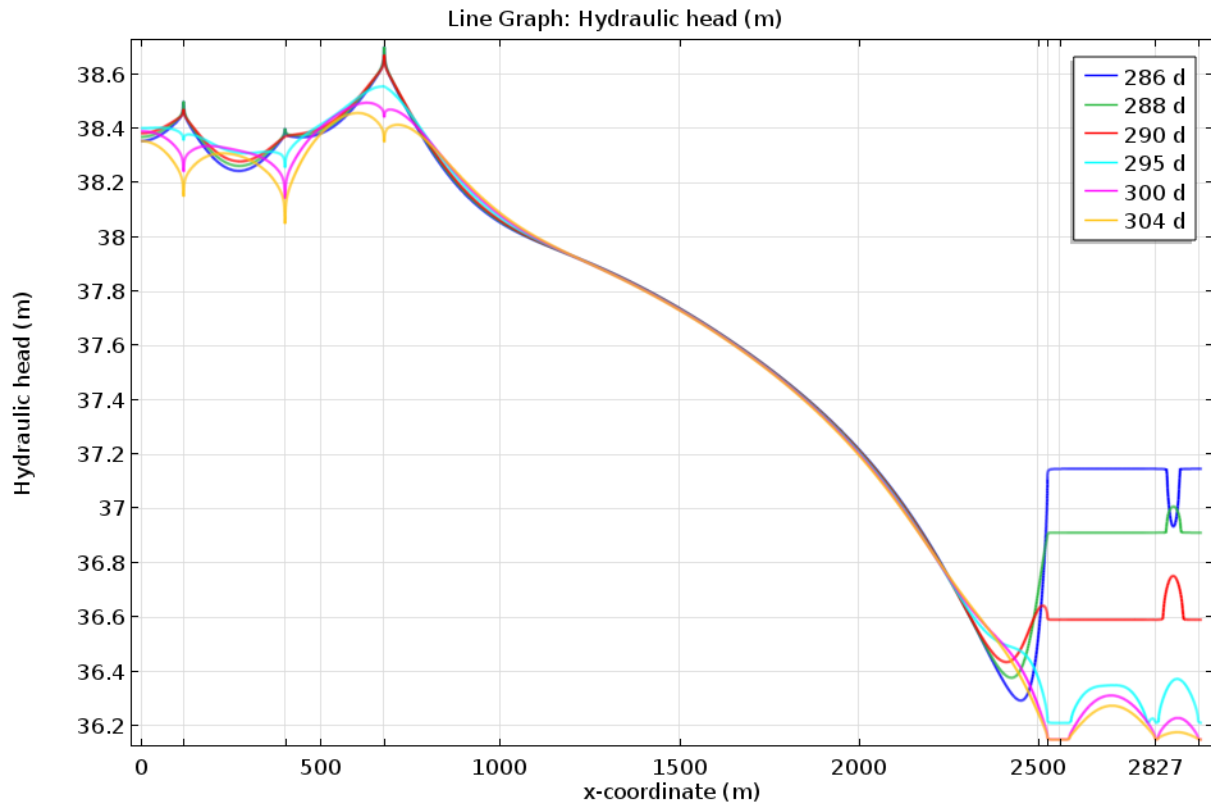
Abbildung 93: Tägliche Sickerwassersummen am Profil 5

#### 4.3.2 Simulationsergebnisse

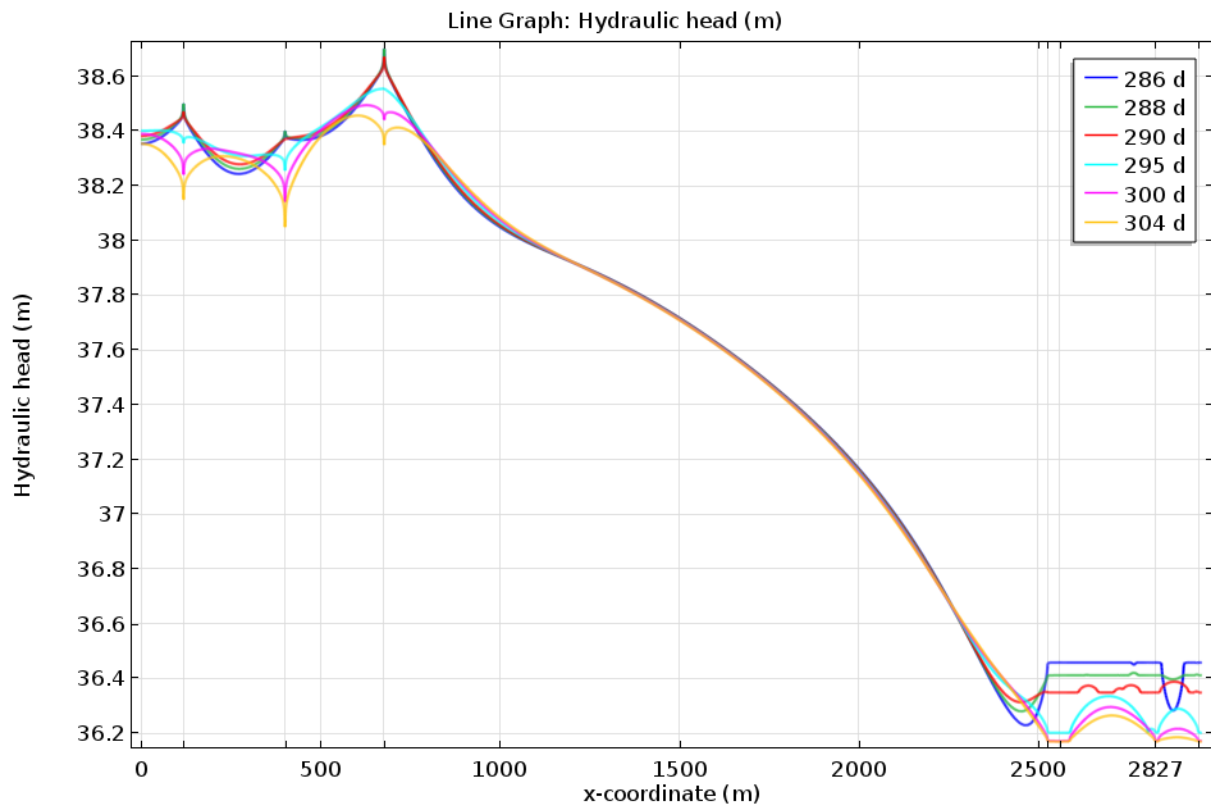
Abbildung 94 und Abbildung 95 dokumentieren die Verteilungen der Grundwasserspiegelhöhen entlang des Profils 5 für die Szenarios I und II zu ausgewählten Zeitpunkten einschließlich und nach dem Hochwasserscheitel. Anlage 6 zeigt die gemeinsame Darstellung der Grundwasserspiegelhöhen während des Hochwasserscheitels am 286. Tag.

In beiden Szenarios I gesteuertes Wehr und II Schwelle gibt es durch das relativ kurzfristige Ereignis nur eine geringe Beeinflussung der Grundwasseroberfläche, die sich lokal auf den Bereich in Nähe der Schnellen Havel beschränkt. Der zeitliche Verlauf der Grundwasserspiegelentwicklung wird in Abbildung 96 gegeben. Während in direkter Nähe der Schnellen Havel bei  $x=2400$  m noch eine deutliche Beeinflussung erkennbar ist, ist sie in Folge der Entfernung zur Schnellen Havel bei  $x=2000$  m nur noch gering und bei  $x=1500$  m sind die Ganglinien nahezu identisch.





**Abbildung 94: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 5 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 1**



**Abbildung 95: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 5 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 2**

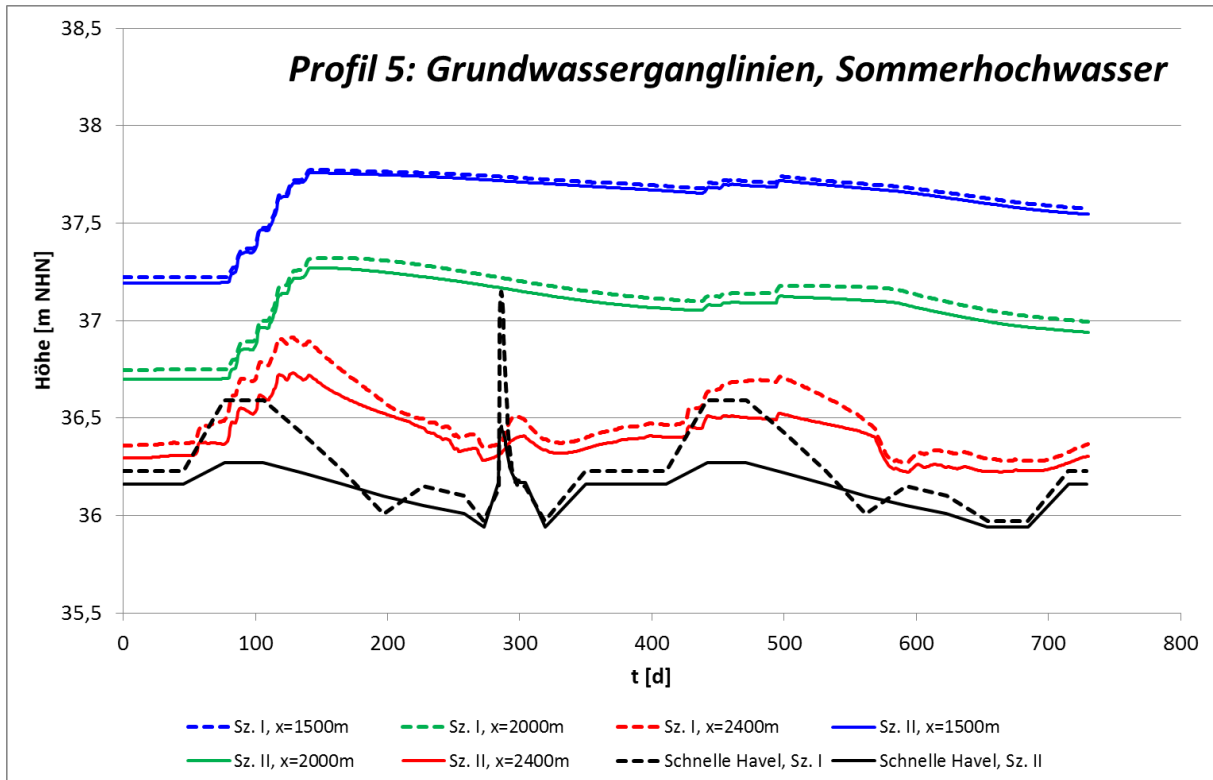


Abbildung 96: Grundwasserganglinien für das Sommerhochwasser an ausgewählten Lokationen im Profil 5

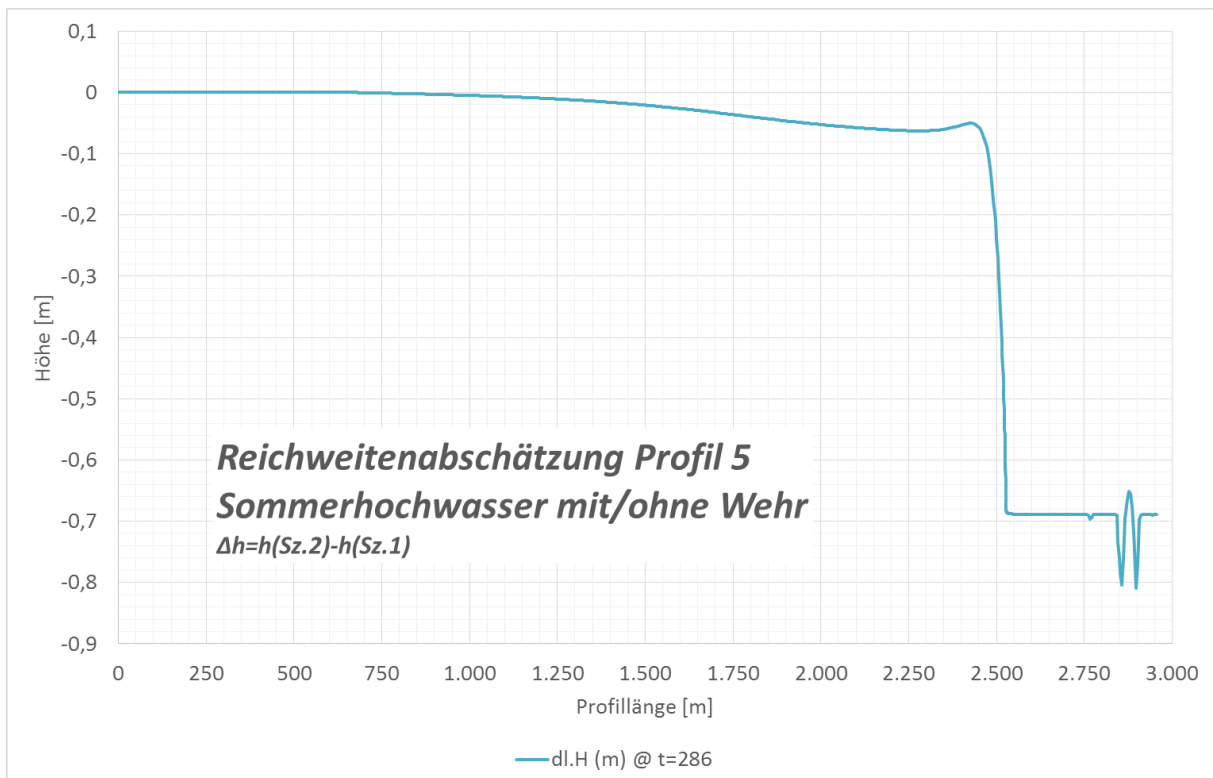


Abbildung 97: Reichweitenabschätzung für das Sommerhochwasser Profil 5

Abbildung 97 zeigt die Abschätzung der Reichweite der Grundwasserbeeinflussung bei einem Sommerhochwasser durch den Rückbau des Wehres. Dargestellt sind die Differenzen der simulierten Grundwasserspiegelhöhen zwischen den Szenarios 2 und 1 zu unterschiedlichen

Zeiten. Deutlich erkennbar ist, dass eine Beeinflussung der Grundwasserspiegelhöhe  $\Delta h > 10\text{cm}$  im unmittelbaren Bereich der Schnellen Havel ( $x=2.947\text{ m}$ ) und der Talaue bis  $x=2.450\text{ m}$  zu erwarten ist.

## 5 Zusammenfassung

Anhand von fünf Vertikalschnittmodellen wurden die Auswirkungen

- eines Winterhochwassers mit  $HQ=8\text{ m}^3/\text{s}$  in der Schnellen Havel auf ihren Wasserhalt,
- die Beeinflussung der Grundwasserdynamik durch die Wehre Neuholland, Maihof und Knüppeldamm und deren Rückbau und
- eines hypothetischen Sommerhochwassers in der Schnellen Havel in Anlehnung an das Sommerhochwasser August 2002

untersucht.

Durch die gezielte Einleitung eines Winterhochwassers mit  $HQ=8\text{ m}^3/\text{s}$  von Januar bis März kann der Grundwasserspeicher soweit aufgefüllt werden, dass über 91 d ein mittlerer Volumenstrom von  $>0,204\text{ m}^3/\text{s}$  aus dem rechtsseitigen Einzugsgebiet zur Stützung des Abflusses in der Schnellen Havel bis Juni zur Verfügung steht. Aufgrund der Wirkung des Grundwasserspeichers im oberen Abschnitt der Schnellen Havel steht die Stützung des Abflusses dort zur Verfügung, wo das natürliche Dargebot (Summe aus Zufluss Freiarche und Grundwasserzufluss) gering ist.

Einschränkend muss beachtet werden, dass der zur Stützung aus dem Grundwasserspeicher gewinnbare Volumenstrom anfangs am größten ist und mit der Zeit abnimmt.

Durch die Vertikalschnittmodelle konnte gezeigt werden, dass der Einfluss der Wehre, Neuholland, Maihof und Knüppeldamm auf die Grundwasserdynamik u. a. aufgrund der kurzen Einwirkungszeiten, der Grundwasserneubildung, der Höhenverhältnisse und der Staubewirtschaftung gering ist. Ein Rückbau der Wehre führt nicht zu einer großräumigen Grundwasserspiegelbeeinflussung. In den untersuchten Fällen ist eine Vergleichmäßigung des Grundwasserganges in der Aue der Schnellen Havel feststellbar.

Positiv wirkt sich der Rückbau der Wehre auf Hochwasserereignisse aus. Durch den Rückbau der Wehre tritt eine Vergleichmäßigung des Abflusses in der Schnellen Havel ein, so dass der Hochwasserscheitel geringer ausfällt. Damit verbunden ist ebenfalls eine geringere Beeinflussung des Grundwasserspiegels bei Hochwasserereignissen. Durch die Staubewirtschaftung der Meliorationsgräben und die konstruktive Gestaltung der Schwelle ist keine Absenkung des Grundwasserspiegels durch den Rückbau der Wehre unter normalen Abflussverhältnissen und den untersuchten Bewirtschaftungsszenarios feststellbar.

## **6 Empfehlungen**

Die Untersuchungen mit den Vertikalschnittmodellen basieren auf einem plausiblen Bewirtschaftungsszenario der Meliorationsgräben und auf aus dem DGM 1 abgeleiteten Oberflächenwasserspiegelhöhen in diesen Gräben. Für eine weitere sachliche Vertiefung der Untersuchungen wird empfohlen, dass das zukünftige Bewirtschaftungsszenario in der Projektgruppe abgestimmt und Bestandteil der Planfeststellung wird. Weiterhin ist das Einmessen der Oberflächenwasserspiegelhöhen in den Gräben an den Schnittpunkten mit den Profilen für definierte Zustände des Bewirtschaftungsszenarios erforderlich.

Die gemeinsam mit dem AG festgelegten Profillagen für die Vertikalschnittmodelle wurden nach bestem Wissen ausgewählt. Bedingung für die Gültigkeit der Näherungslösung mit Vertikalschnittmodellen ist die Lage der Profile entlang von Stromlinien. Für eine weitere Vertiefung und umfassende Bewertung der Geohydraulik ist deshalb der Aufbau eines horizontalebene 2D- oder 3D-Grundwasserströmungsmodells mit Kopplung eines Grundwasserneubildungsmodells empfehlenswert.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Profile 1 und 2 sowie der Wehre Bauhofarche und Krewelin (rückgebaut)	5
Abbildung 2: Lage der Profile 3, 4 und 5 sowie der Wehre Neuholland, Maihof und Knüppeldamm (roter Pfeil)	6
Abbildung 3: Generalisierter Abfluss an den Wehren Neuholland, Maihof und Knüppeldamm für ein Sommerhochwasser	12
Abbildung 4: Oberpegelwasserstände an den Wehren Neuholland, Maihof und Knüppeldamm für ein Sommerhochwasser	13
Abbildung 5: Tägliche Sickerwassersummen für die Profile 1 bis 5	14
Abbildung 6: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 1. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].	16
Abbildung 7: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 1 bezogen auf die Profillänge x.	17
Abbildung 8: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 1 für das Szenario Winterhochwasser	18
Abbildung 9: Ablaufkurve der Schnellen Havel am Profil 1	19
Abbildung 10: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 1	20
Abbildung 11: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung, Profil 1	21
Abbildung 12: Horizontale Grundwasserströmungsgeschwindigkeit im Profil 1 $>0$ (W nach E) und $<0$ (E nach W)	22
Abbildung 13: Grundwasserflurabstand für die quasi stationäre Strömung im Profil 1	22
Abbildung 14: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 1	23
Abbildung 15: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 1	24
Abbildung 16: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 1	24
Abbildung 17: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr ohne Winterhochwasser für das Profil 1	25
Abbildung 18: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 2. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].	26
Abbildung 19: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 2 bezogen auf die Profillänge x.	27

Abbildung 20: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 2 für das Szenario Winterhochwasser	28
Abbildung 21: Ablaufkurve der Schnellen Havel am Profil 2	29
Abbildung 22: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 2	30
Abbildung 23: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung, Profil 2	31
Abbildung 24: Horizontale Grundwasserströmungsgeschwindigkeit im Profil 2 $>0$ (W nach E) und $<0$ (E nach W)	32
Abbildung 25: Grundwasserflurabstand für die quasi stationäre Strömung im Profil 2	32
Abbildung 26: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 2	33
Abbildung 27: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 2	34
Abbildung 28: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr mit Winterhochwasser für das Profil 2	34
Abbildung 29: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr ohne Winterhochwasser für das Profil 2	35
Abbildung 30: Grundwasserspeicher wirksame Fläche	36
Abbildung 31: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 3. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].	37
Abbildung 32: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 3 bezogen auf die Profillänge x.	38
Abbildung 33: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 3 für das Szenario mit aktiven Wehren (offen/geschlossen)	40
Abbildung 34: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 3	40
Abbildung 35: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 1, Profil 3	41
Abbildung 36: Darstellung der vertikalen Strömungskomponente in Richtung der Gravitation (Versickerung) zur Aushaltung speisender Bereiche und infiltrierender Vorfluter (Meliorationsgräben) im Profil 3.	42
Abbildung 37: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 1 für das Profil 3	43
Abbildung 38: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 3	44
Abbildung 39: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 3	45

Abbildung 40: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 3	45
Abbildung 41: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2, Profil 3	46
Abbildung 42: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 2 für das Profil 3	47
Abbildung 43: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 3	48
Abbildung 44: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 3	48
Abbildung 45: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 3	49
Abbildung 46: Gegenüberstellung der Grundwasserspiegelhöhen und der Grundwasserspiegelhöhenänderung in den Szenarios 1 und 2 für das Profil 3	50
Abbildung 47: Reichweitenabschätzung Profil 3	50
Abbildung 48: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 4. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].	51
Abbildung 49: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 4 bezogen auf die Profillänge $x=0-500$ m und $x>500$ m.	52
Abbildung 50: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 4 für das Szenario mit aktiven Wehren (offen/geschlossen)	54
Abbildung 51: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 3	54
Abbildung 52: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 1, Profil 4	55
Abbildung 53: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 1 für das Profil 4	56
Abbildung 54: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 4	57
Abbildung 55: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 4	58
Abbildung 56: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand ( $t=0$ ) über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 4	58
Abbildung 57: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2, Profil 4	59
Abbildung 58: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 2 für das Profil 4	60

Abbildung 59: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 4	61
Abbildung 60: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 4	61
Abbildung 61: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 4	62
Abbildung 62: Gegenüberstellung der Grundwasserspiegelhöhen und der Grundwasserspiegelhöhenänderung in den Szenarios 1 und 2 für das Profil 4	63
Abbildung 63: Reichweitenabschätzung Profil 4	63
Abbildung 64: Schematische Darstellung des Vertikalschnittmodells Profil 5. Oberer Bereich: Grundwasserleiter, unterer Bereich: Grundwasserstauer/-hemmer. Koordinaten: y:Höhe [m NHN], x: Profillänge [m].	64
Abbildung 65: Mittlere monatliche Sickerwasserrate [U6] für das Profil 5 bezogen auf die Profillänge x.	65
Abbildung 66: Geländeoberkante und Oberflächenwasserspiegel Profil 5 für das Szenario mit aktiven Wehren (offen/geschlossen)	67
Abbildung 67: Zeitabhängiger Oberflächenwasserspiegel in der Schnellen Havel für das Profil 5	68
Abbildung 68: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 1, Profil 5	69
Abbildung 69: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 1 für das Profil 5	70
Abbildung 70: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 5	71
Abbildung 71: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 5	72
Abbildung 72: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr im Szenario 1 für das Profil 5	72
Abbildung 73: Verteilung der Grundwasserspiegelhöhe und Stromlinien im oberen Grundwasserleiter für die quasi-stationäre Strömung im Szenario 2, Profil 5	73
Abbildung 74: Grundwasserflurabstand bei quasi-stationärer Strömung im Szenario 2 für das Profil 5	74
Abbildung 75: Grundwasserspiegelhöhe über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 5	75
Abbildung 76: Grundwasserflurabstand über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 5	75
Abbildung 77: Grundwasserspiegeländerung gegenüber dem Ausgangszustand (t=0) über das hydrologische Jahr im Szenario 2 für das Profil 5	76



Abbildung 78: Gegenüberstellung der Grundwasserspiegelhöhen und der Grundwasserspiegelhöhenänderung in den Szenarios 1 und 2 für das Profil 5	77
Abbildung 79: Reichweitenabschätzung Profil 5	77
Abbildung 80: Wasserspiegelgang für das Sommerhochwasser in der Schnellen Havel am Profil 3	79
Abbildung 81: Tägliche Sickerwassersummen am Profil 3	79
Abbildung 82: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 3 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 1	80
Abbildung 83: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 3 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 2	81
Abbildung 84: Grundwasserganglinien für das Sommerhochwasser an ausgewählten Lokationen im Profil 3	81
Abbildung 85: Reichweitenabschätzung für das Sommerhochwasser Profil 3	82
Abbildung 86: Wasserspiegelgang für das Sommerhochwasser in der Schnellen Havel am Profil 4	83
Abbildung 87: Tägliche Sickerwassersummen am Profil 4	84
Abbildung 88: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 4 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 1	85
Abbildung 89: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 4 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 2	85
Abbildung 90: Grundwasserganglinien für das Sommerhochwasser an ausgewählten Lokationen im Profil 4	86
Abbildung 91: Reichweitenabschätzung für das Sommerhochwasser Profil 4	86
Abbildung 92: Wasserspiegelgang für das Sommerhochwasser in der Schnellen Havel am Profil 5	87
Abbildung 93: Tägliche Sickerwassersummen am Profil 5	88
Abbildung 94: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 5 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 1	89
Abbildung 95: Grundwasserspiegelhöhe für das Profil 5 während des hypothetischen Sommerhochwassers im Szenario 2	89
Abbildung 96: Grundwasserganglinien für das Sommerhochwasser an ausgewählten Lokationen im Profil 5	90
Abbildung 97: Reichweitenabschätzung für das Sommerhochwasser Profil 5	90

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Oberflächenwasserspiegelhöhen in der Schnellen Havel an den Querungen der Profile 1 bis 5	9
Tabelle 2: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 1	17

Tabelle 3: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 2	27
Tabelle 4: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 3	39
Tabelle 5: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 4	53
Tabelle 6: Simulationszeit und Sickerwasserraten für das Profil 5	66

## **Anlagenverzeichnis**

- 1 Profil 3 Grundwasserspiegelhöhen für die Szenarios 1 und 2
- 2 Profil 4 Grundwasserspiegelhöhen für die Szenarios 1 und 2
- 3 Profil 5 Grundwasserspiegelhöhen für die Szenarios 1 und 2
- 4 Profil 3 Grundwasserspiegelhöhen für das Sommerhochwasser Szenarios 1 und 2
- 5 Profil 4 Grundwasserspiegelhöhen für das Sommerhochwasser Szenarios 1 und 2
- 6 Profil 5 Grundwasserspiegelhöhen für das Sommerhochwasser Szenarios 1 und 2