



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB Netz AG
Technik Projekt S6 / NMS (I.NG-MI-N)
Hahnstraße 49
60528 Frankfurt am Main

Projekt-Nr.	Datei	Diktat	Büro	Datum
P28.2288	P2288b191025_Blaudruck_PFA 3_rev01	Fe/Ric	Witten	25.10.2019

– Numerische 3D-Grundwasser- und Transportmodellierung zur

Beurteilung des Einflusses des Streckenneubaus im Wasserschutzgebiet "Hanau-Wilhelmsbad" –

– Erläuterungsbericht –

Anlage 12.13.2.0a neu

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, <https://www.dr-spang.de>
58453 Witten, Rosi-Wolfstein-Straße 6, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de

Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Christian Spang, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Spang

Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Weilst. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Rennbahnstraße 72 – 74, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de
21079 Hamburg, Harburger Schloßstraße 30, Tel. (040) 524 73 35-0, Fax 524 73 35-20, hamburg@dr-spang.de
06618 Naumburg, Wilhelm-Franke-Straße 11, Tel. (03445) 762-25, Fax 762-20, naumburg@dr-spang.de
90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
14480 Potsdam, Großbeerenstraße 231, Haus III, Tel. (0331) 231 843-0, Fax 231 843-20, berlin@dr-spang.de

Banken: Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDEB430
Sparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	5
1.1 Projekt	5
1.2 Auftrag	5
1.3 Unterlagen	6
2. GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE SITUATION	8
2.1 Morphologie und Vegetation	8
2.2 Allgemeine geologische Beschreibung	8
2.3 Hydrogeologische Verhältnisse	11
2.3.1 Hydraulische Durchlässigkeiten	14
2.3.2 Grundwasserneubildung	15
3. GRUNDWASSERMODELL	16
3.1 Theoretischer Hintergrund	16
3.2 Abgrenzung des Modellgebiets und Randbedingungen	17
3.2.1 Festlegung der Potenzialhöhen am Modellrand	20
3.2.2 Brunnenentnahmen und Grundwasserhaltungen	22
3.2.3 Grundwasserneubildung	24
3.2.4 Hydraulische Durchlässigkeiten	24
3.3 Modellkalibrierung	24
3.3.1 Ermittlung der Durchlässigkeiten	26
3.3.2 Verbleibende Abweichungen	28
3.4 Bilanzbildung	30
3.5 Strömungsverhältnisse im Umkreis des Brunnenfelds Wilhelmsbad	33
3.6 Erhöhung der Brunnenförderrate	34
3.6.1 Strömungsverhältnisse im Umkreis des Brunnenfelds Wilhelmsbad	34
3.6.2 Bilanzbildung	35
3.7 Stichtagsmessung 17.04.2018	37
3.8 Baugrube EÜ Burgallee	39
4. TRANSPORTMODELLIERUNG	40
4.1 Theoretischer Hintergrund	40
4.2 Randbedingungen	41
4.3 Schadstoffausbreitung bei Förderraten von 274.000 m ³ pro Jahr im WSG II	43
4.4 Schadstoffausbreitung bei Förderraten von 400.000 m ³ pro Jahr im WSG II	43
5. AUSBREITUNG DER SCHADSTOFFFAHNE UND ABWEHRMAßNAHMEN	44



5.1	Schadstoffausbreitung und Abwehr entlang der Strecke im WSG II	45
5.2	Ausbreitung und Abwehr der Schadstofffahne im Wasserschutzgebiet II	46
5.3	Ausbreitung und Abwehr der Schadstofffahne im Wasserschutzgebiet IIIA	50
5.4	Vorbehaltsflächen	56
6.	Ersatzbrunnen	56
6.1	1 Ersatzbrunnen	57
6.2	2 Ersatzbrunnen	58
7.	Schadstoffausbreitung und Abwehr bei erhöhter Förderrate	58
7.1	Erhöhte Förderrate auf 500.000 m ³ pro Jahr	58
7.2	Erhöhte Förderrate auf 600.000 m ³ pro Jahr	61
8.	Brunnenergiebigkeit	64
9.	Sensitivitätsanalyse	65
9.1	Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeit	65
9.2	Verringerung der Potenzialhöhen auf 100,5 m NHN	69
10.	Ergänzende Modellierungen zu den Abschnitten 13 und 14 im PFA 2	70
10.1	Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit im Brunnenfeld	71
10.2	Verringerung der Potenzialhöhe des nördlichen Randes auf 100,0 m NHN	74
11.	Setzungen infolge von Grundwasserabsenkung	78

12. ANLAGEN

Anlage 12.13.2.1a-neu:	Grundwassergleichen der Stichtagsmessungen (6)
Anlage 12.13.2.2a-neu:	Modellgrenzen und Randbedingungen (39)
Anlage 12.13.2.3a-neu:	Darstellung der Modellagen (8)
Anlage 12.13.2.4a-neu:	Ergebnisse der Grundwassermodellberechnungen (17)
Anlage 12.13.2.5a-neu:	Einteilung der Bahngleise in Abschnitte und Vorbehaltsflächen (3)
Anlage 12.13.2.6a-neu:	Ausbreitung eines Schadstoffs bei variierender Förderrate (22)
Anlage 12.13.2.7a:	Ausbreitung und Abwehr eines Schadstoffs auf Streckenabschnitten (171)
Anlage 12.13.2.8a:	entfällt
Anlage 12.13.2.9a:	Grundwassergleichen unter Einbezug der Abwehrmaßnahmen (20)
Anlage 12.13.2.10a:	Absolute Grundwasserabsenkung (19)
Anlage 12.13.2.11a:	Erhöhung der Förderrate auf 500.000 m ³ im Jahr (18)
Anlage 12.13.2.12a:	Sensitivitätsanalyse (51)



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 4

25.10.2019

Anlage 12.13.2.13a-neu:	Neuberechnung des Modells nach geänderter Durchlässigkeit im Brunnenfeld (38)
Anlage 12.13.2.14a-neu:	Neuberechnung des Modells nach geänderter Durchlässigkeit im Brunnenfeld und verringertem Nordrand (32)
Anlage 12.13.2.15a-neu:	Erhöhung der Förderrate auf 600.000 m ³ im Jahr (17)



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Die DB Netz AG plant den Neubau der „Nordmainischen S-Bahn“. Die Nordmainische S-Bahn soll an das Bestandsnetz der Frankfurter S-Bahn (Strecke 3685) in der Nähe der Station Konstablerwache anschließen und über den Bahnhof Frankfurt/Main – Ost zum HBF Hanau führen. Dabei soll die Streckenführung auf der nördlichen Mainseite, im Wesentlichen in Bündelung mit der bestehenden Schnellbahnstrecke Frankfurt – Fulda (Strecke 3660), erfolgen. Mit der Nordmainischen S-Bahn soll somit das Frankfurter S-Bahn-Netz mit der bereits bestehenden, südlich des Mains geführten S-Bahn-Strecke ergänzt werden.

Der vorliegende Erläuterungsbericht beschreibt die Erstellung und die Ergebnisse eines numerischen Grundwassermodells zur Beurteilung des Einflusses des Streckenumbaus der "Nordmainischen S-Bahn" auf das Wasserschutzgebiet "Hanau-Wilhelmsbad" und insbesondere die Trinkwasserbrunnen. Hierzu sollen die Strömungsverhältnisse mittels einer Transportmodellierung im Bereich des Streckenumbaus östlich der EÜ Burgallee im Wasserschutzgebiet geklärt werden.

1.2 Auftrag

Die DB Netz AG hat die Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH auf Basis des Angebots vom 18.09.2015 beauftragt, ein Grundwassermodell zur Beurteilung des Einflusses des Streckenneubaus auf das Wasserschutzgebiet "Hanau-Wilhelmsbad" zu erstellen. Als Basis für die Modellierung sollte das Grundwassermodell für die EÜ Burgallee verwendet werden.

Am 11.08.2015 erfolgte eine Stichtagsmessung an Grundwassermessstellen sowie an den Förderbrunnen. Die Brunnenentnahmeraten entsprechen denen aus dem Jahr 2014. Auf Basis dieser Daten und weiteren Maßgaben der UWB und OWB wurde das von der EÜ Burgallee vorhandene Strömungsmodell überarbeitet. Zur Ausführung des Auftrags wird das Modellierungsprogramm *Visual Modflow Flex* angewandt.



1.3 Unterlagen

Für die Bearbeitung des Projektes wurden von uns folgende Unterlagen verwendet:

- [U 1] **Geologische Karte von Hessen, Blatt Hanau (5819), Karte 1 : 25.000 und Erläuterungen;** Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1998.
- [U 2] **S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn, Strecke km 54,310 – km 71,900, Hydrogeologisches Gutachten (Anlage 12.6.0.1);** Dr. Spang GmbH, Witten, 08.04.2010.
- [U 3] **S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn, BÜ Burgallee, Strecken km 67,205, Geotechnisches Gutachten;** Dr. Spang GmbH, Witten, 20.12.2011.
- [U 4] **S-Bahn Rhein-Main / Nordmainische S-Bahn, Strecke km 54,310 – km 71,900; Geotechnisches Gutachten (Anlage 12.5.0.1);** Dr. Spang GmbH, Witten, 25.01.2010.
- [U 5] **124 Schichtenverzeichnisse aus dem Bohrprofilportal Hessen;** Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Wiesbaden, 22.07.2013.
- [U 6] **Pegeldaten GW-Modell EÜ Burgallee mit Übersichtsplan Brunnen und Pegel in Wilhelmsbad;** Stadtwerke Hanau, 17.07.2013.
- [U 7] **Innerstädtische Tunnelbauwerke als Strömungshindernis für das Grundwasser, Grundwasserkommunikationsanlagen zur Beherrschung von Aufstau und Sunk am Beispiel des City Tunnel Leipzig;** Spang, C., Glitsch, W., Taschenbuch für den Tunnelbau 2009, Essen, 2008.
- [U 8] **INKLIM 2012 - Integriertes Klimaschutzprogramm, Klimafolgen in der Wasserwirtschaft (Grundwasser), Flächendifferenzierte Untersuchungen zu möglichen, Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung in Hessen, Abschlussbericht für den Bereich Grundwasser;** Berthold, G., Hergesell, M., Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), Wiesbaden, September 2005.



- [U 9] **Hydrogeologische Methoden**; Langguth, H.-R., Voigt, R., 2. Auflage, Springer-Verlag, 2004.
- [U 10] **Hydrogeologische Modelle (Leitfaden)**; Hydrogeologische Beiträge der Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Heft 10, 1999.
- [U 11] **Gewässerkundliches Informationssystem der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Pegeldaten Krotzenburg vom 05.09. - 06.10.2014**, <https://www.pegelonline.wsv.de/webservices/zeitreihe/visualisierung?ansicht=einzeln&pegelnummer=24700335>, Stand: 11.08.2015
- [U 12] **Grundwasserneubildung**; Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dezernat W4 – Hydrogeologie, Grundwasser, 29.04.2014.
- [U 13] **Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Wasser / Grundwasserstand an den Pegeln Groß-Krotzenburg und Langenselbold vom 11.08.2015**, (<http://www.hlug.de/static/pegel/wiskiweb2/index.html>, Stand: 11.08.2015).
- [U 14] **Geotechnik Grundbau (Bauingenieur-Praxis)**; Möller, G.; Berlin, 18.04.2012.
- [U 15] **Grundbau-Taschenbuch - Teil 1**; Smoltczyk, U.; Berlin; 2009.
- [U 16] **Grundrisse und Schnitte 1 : 200, 1 : 100, 1 : 50 BÜ – Beseitigung Burgallee**; Schüßler Plan GmbH, Frankfurt, 2010.
- [U 17] **Protokoll der Besprechung mit den Stadtwerken Hanau am 31.10.2016**; DB Netz AG, Frankfurt.
- [U 18] **E-Mail: WG: P2288 NMS, WW Hanau-Wilhelmsbad**; Stadtwerke Hanau GmbH, 28.03.2018.
- [U 19] **<http://www.hlug.de/static/pegel>**; Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, abgerufen am 5.6.2018.
- [U 20] **E-Mail: WG: P2288: Fördermengen - Wassergewinnungsanlage Hanau Wilhelmsbad, NMS - PFA 3**; Stadtwerke Hanau GmbH, 27.03.2019.



2. GEOLOGISCHE UND HYDROGEOLOGISCHE SITUATION

2.1 Morphologie und Vegetation

Das für die Erstellung des Grundwassersmodells im Westen der Stadt Hanau relevante Projektgebiet mit einer Ausdehnung von 2,9 km in Ost-West-Richtung und 3,1 km in Nord-Süd-Richtung weist Geländehöhen zwischen 100,0 m NHN im Bereich der Mainstaustufe Mühlheim im Südwesten und 108,5 m NHN im Bereich der „Hohen Tanne“ im Nordwesten auf. Im Allgemeinen fällt das Gelände von Norden nach Süden zum Main hin ab. Das Gelände besitzt ca. 1 km südlich des zu betrachtenden Streckenabschnitts zwischen dem Verkehrsknotenpunkt L 3209 Frankfurter Landstraße und der L 3268 Maintaler Straße / Kennedyallee und dem Stadtteil Kesselstadt eine Senke, die sich in Richtung Südosten zum Main öffnet.

Im Norden und Westen des Gebiets befinden sich Grünflächen, die ca. 60 % der Fläche einnehmen, während im Osten und Süden eine Besiedlung durch die Vorstadt von Hanau im Osten und den Stadtteil Kesselstadt im Süden vorhanden ist.

2.2 Allgemeine geologische Beschreibung

Die Beschreibung der geologischen Verhältnisse entspricht der Beschreibung in den vorangegangenen Gutachten [U 2], [U 3] und [U 4]. Zusätzlich wurde für die Erstellung des Grundwassersmodells auf die erhobenen 124 geologischen Aufschlüsse des Bohrdatenportals Hessen [U 5] zurückgegriffen. Es standen somit 141 Aufschlüsse für den Aufbau des geologischen Schichtmodells zur Verfügung. Die Aufschlüsse konzentrieren sich auf den Bereich der Bahnstrecke und der Trinkwassergewinnungsanlage sowie der Main-Staustufe Mühlheim. In den seitlichen Bereichen ist die Aufschlusssichte geringer und es ergeben sich daraus naturgemäß größere Unschärfen in der Modellbildung. Im Bereich des Streckenneubaus km 67,091 bis 68,080 und im Bereich der Trinkwassergewinnungsanlage ist die Aufschlusssichte vergleichsweise hoch und das geologische Modell daher als gut zu bezeichnen.

Danach werden im Simulationsgebiet im Wesentlichen folgende Bodenschichten angetroffen:

Schicht I.1	Auffüllungen
Schicht I.2, I.3	Auesedimente / Hochflutlehm, Flugsand
Schicht I.4	Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig



Schicht II.x Tertiäre Schichten.

Quartär (Schichten I.x)

Auffüllung (Schicht I.1)

Auffüllungen können vor allem unmittelbar im Bereich der Bahnstrecke festgestellt werden. Ansonsten wurden nur vereinzelt Auffüllungen angetroffen, sodass davon auszugehen ist, dass diese nicht flächig vorhanden sind. Hauptbestandteil der Auffüllungen ist ein Gemisch aus kiesigen und steinigen Sanden mit schluffigen Beimengungen.

Auesedimente / Hochflutlehm (Schicht I.2b) und Flugsand (Schicht I.3)

Aueablagerungen, Hochflutlehme und Flugsande werden in dieser Zusammenstellung zusammengefasst, da diese für die Durchströmung vergleichbare Eigenschaften aufweisen. Die Schichten I.2 und I.3 wurden in insgesamt 95 Bohrungen aufgeschlossen. Es ist daher davon auszugehen, dass Aueablagerungen, Hochflutlehme oder Flugsande über das gesamte Modellgebiet auftreten. An den Bohrungen wurde das Material im Wesentlichen als schluffiger Feinsand bzw. sandiger Schluff, örtlich mit geringen organischen Bestandteilen angesprochen. Die Konsistenz ist überwiegend weich bis steif, z. T. auch halbfest.

Die Mächtigkeit der Aue-, Hochflutablagerungen und Flugsande schwankt gemäß den vorliegenden Aufschlüssen im Modellgebiet zwischen 0,4 m und 5,5 m. Die Schichtgrenze zu den unterlagernden Mainterrassen fällt im Allgemeinen von ca. 103,0 m NHN im Nordwesten auf ca. 97,0 m NHN im Südosten.

Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4)

Die oberflächennahen, quartären Sande und Kiese (Terrassenablagerungen) (Schicht I.4) bilden den oberen Grundwasserleiter aus dem auch die Trinkwassergewinnung des Wasserwerks "Hannau-Wilhelmsbad" erfolgt.



Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig wurden in insgesamt 100 Bohrungen angetroffen, weshalb auch hier von einer Durchgängigkeit der Schicht im Modellgebiet auszugehen ist. Die Terrassenablagerungen bestehen überwiegend aus Fein- bis Grobsand und Fein- bis Grobkies, seltener mit geringen Schluffanteilen oder Geröllen > 60 mm Durchmesser. Die Kiesanteile sind in der Regel gerundet. Die Lagerungsdichte der Terrassensedimente wurde in der Erkundung überwiegend mitteldicht bis sehr dicht angetroffen, in den oberen Lagen z. T. auch locker.

Die Mächtigkeit der Terrassenablagerungen schwankt gemäß den vorliegenden Aufschlüssen im Modellgebiet zwischen 0,8 m und ca. 10,0 m. Auch hier ist allgemein ein Fallen der Schichtung von ca. 101,0 m NHN im Nordwesten auf ca. 96,0 m NHN nach Südosten festzustellen. Im westlichen Brunnenfeld sind südlich der Bahnstrecke z.T. geringe Schichtmächtigkeiten angetroffen worden, die die Ergiebigkeit der Brunnen (z.B. geplante Horizontalbrunnen 27 fğ 28) maßgeblich begrenzen werden.

Tertiär (Schichten II.x)

Unter den Mainterrassen stehen tertiäre Schichten (Schichten II.x) an, bei denen es sich von oben nach unten um die folgenden Schichten handelt:

- Schicht II.1 Pliozän: bindige und rollige Schichtglieder mit Braunkohleeinlagerungen**
- Schicht II.2 Vulkanite**
- Schicht II.3 Hydrobienschichten**
- Schicht II.4 Inflatenschichten**
- Schicht II.5 Cerithienschichten**
- Schicht II.6 Rupelton**

Der hier gegenständliche Bereich bis ca. 20 m u. Geländeoberfläche (GOF) umfasst jedoch vorwiegend das Pliozän (Schicht II.1), welches durchgängig im oberen Bereich bindig angetroffen wird sowie Vulkanite (Schicht II.2). Die teilweise bis in 20 m Tiefe anstehenden rolligen Bereiche des Pliozäns werden nicht abgebildet, da diese für die Strömungsverhältnisse keine ausgeprägte Relevanz besitzen.

Die bindigen Teile der Pliozänschichten bestehen meist aus feinsandigem bis sandigem, grauem, graugrünem und grünem Schluff. Die rolligen Schichtglieder bestehen hingegen aus Feinsanden mit wechselnden Mengenanteilen von Schluff, teilweise mit organischen Beimengungen. Sie sind



ebenfalls meist grau, graugrün oder grün. Sowohl bindige wie auch nichtbindige Schichtglieder wurden kalkfrei angetroffen.

Nur in 17 Aufschlüssen wurde eine Unterkante der Pliozän- bzw. der Vulkanitschichten festgestellt, sodass diese für das ca. 20 m mächtige Modell praktisch unerheblich sind.

Der allgemeine Schichtaufbau ist in Tabelle 2.2-1 zusammengestellt.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Schichtmächtigkeit [m]
I.1	Auffüllung	0 – 8
I.2 / I.3	Aue-/Hochflutlehm / Flugsande	0 – 5,5
I.4	Terrassenablagerungen	0,8 – 10
II.1 / II.2	Plio­zän / Vulkanite	0 – 14 bis nicht erkundet

Tabelle 2.2-1: Schematischer Baugrundaufbau

2.3 Hydrogeologische Verhältnisse

Zur Charakterisierung der hydrogeologischen Verhältnissen dienen zunächst die im Zuge der Baugrunderkundung für die Nordmainische S-Bahn erstellten fünf Grundwassermessstellen entlang der Bahnstrecke in einem mittleren Abstand von ca. 500 m. Zusätzlich geben die Beobachtungsbrunnen im Bereich des Brunnenfelds Wilhelmsbad sowie die Brunnen selbst ein vergleichsweise genaues Bild über die Grundwasserstände im Nahbereich des Brunnenfelds. Im Übrigen Modellgebiet liegen kaum weitere Grundwassermessstellen vor. Lediglich im westlichen Bereich nördlich der Kesselstädter Straße befindet sich die Messstelle 5 und im östlichen Bereich die Messstellen 13, BK 08/85 sowie die BK 30(G). Durch eine Modellerweiterung östlich des Salibachs stehen nördlich der Überführung der B 45 über der Kinzig 7 weitere Messstellen (11, 12, 14, 16, 17, 19 und 22) zur Überprüfung und Anpassung des Grundwassermodells zur Verfügung. Am 11.08.2015 erfolgte eine Stichtagsmessung an den Grundwassermessstellen sowie Förderbrunnen (Anlage 12.13.2.1.3a-neu).

Mittels dieser Stichtagsmessung erfolgte eine Interpolation der Grundwassergleichen zur Beschreibung der vorherrschenden Strömungsverhältnisse (Anlage 12.13.2.1.1a-neu). Aus den Potenzialhöhenlinien geht ein Gefälle des Grundwasserspiegels von Norden nach Süden zum Main hervor. Der hydraulische Gradient liegt zwischen 0,4 % bis 1,7 %. Im südwestlichen Bereich steigt



das hydraulische Gefälle, aufgrund einer Staustufe im Main, die von 99,15 m NHN auf 95,38 m NHN (Mittelstau) abfällt, an. Hier ist lokal eine Strömung nach Südwesten zu beobachten bzw. anzunehmen. Genaue Informationen über Abdichtungsmaßnahmen an der Staustufe liegen jedoch nicht vor. Ferner tritt ein nach Südosten gerichtetes Grundwassergefälle im Bereich der Kinzig auf. Hieraus ist zu entnehmen, dass auch die Kinzig einen Vorfluter darstellt. Des Weiteren ist das Strömungsfeld durch die Brunnenförderrungen und die daraus folgende Ausbildung eines Absenkt-richters beeinflusst. Durch die aktiven Förderbrunnen wird die eigentlich zum Main gerichtete Strömung zum Brunnenfeld umgekehrt. Diese Umkehrung der Strömung bleibt bis Kesselstadt bestehen. Nördlich der Bahnstrecke am Wilhelmsbad ist die Beeinflussung auf das Strömungsfeld durch das Brunnenfeld mit zunehmenden Abstand vernachlässigbar, da es sich im Zufluss des Brunnenfeldes befindet.

Die Betriebswasserstände der Brunnen wurden von den Stadtwerken Hanau ermittelt und im Rahmen des betriebsinternen Kontrollings der Stadtwerke Hanau geprüft. Für diese Brunnen wurde von den Stadtwerken Hanau ein kontrollierendes Nivellement ausgeführt. Die Grundwasserstände und Grundwasserhöhen wurden nach der Prüfung durch die Stadtwerke Hanau der DB AG zur Verfügung gestellt und stellen für das Projekt NMS ein geprüfte Zulieferung einer fremden Stelle dar. Die Betriebswasserstände der Brunnen spiegeln nicht den Grundwasserstand am Brunnen wieder und können somit nicht zur Modellierung verwendet werden.

Die Grundwasserstände in den Grundwassermessstellen wurden von der Dr. Spang GmbH mittels Lichtlot am Stichtag festgestellt. Die im Auftrag der DB AG erstellten Grundwassermessstellen wurden nach Erstellung von einem öffentlich bestellten Vermesser nach Lage und Höhe eingemessen. Die restlichen Grundwassermessstellen wurden bezüglich Lage und Höhe durch die Dr. Spang GmbH mittels DGPS eingemessen und weisen nach den Qualitätsdaten der Satellitenverfügbarkeit eine Genauigkeit bezüglich der Höhe von 5 cm auf. Eine Neueinmessung erfolgt im Zuge der weiteren Grundwassermessstellen für das vorgeschaltete Monitoring mit einer höheren Genauigkeit bzgl. der Höhe. Die Anlage 12.13.2.2.5a-neu enthält die Ausbaupläne der Flachbrunnen sowie der Grundwassermessstellen BK 08/72, BK 08/85, BK 26, BK 30 (G) und P1.N bis P7.N.

Die in Verbindung mit den geologischen Aufschlüssen ([U 4] und [U 5]) sowie aus der Stichtagsmessung ermittelten Grundwasserstände erlauben eine Abschätzung der Tiefenlage des Grundwassers. Danach bewegen sich die Grundwasserflurabstände im Untersuchungsgebiet zwischen sehr geringen Werten im Bereich des Mainufers und bis zu 7 m ca. 500 m nördlich des Mainufers im Südwesten in Kesselstadt.



Das Projektgebiet befindet sich im Tal des Untermain. Dieser bildet hauptsächlich den natürlichen Vorfluter für die quartären Schichten im Modellgebiet. Da der Main staugeregelt ist, sind die Spiegelschwankungen des Mains begrenzt. Am südwestlichen Rand des Modellgebiets befindet sich die Stauhaltung Mühlheim. Der Einfluss von Spiegelschwankungen des Mains auf den Grundwasserstand ist zeitlich versetzt und gedämpft, sodass insgesamt von einem eher untergeordneten Einfluss auszugehen ist. Am Südostrand entwässert das Modellgebiet in die von Nordosten zu strömende Kinzig.

Im Nordosten umströmt der Braubach südlich die „Hohe Tanne“. Der nach Osten fließende Braubach mündet am Nordostrand des Projektgebiets in den Salisbach, welcher wiederum weiter südlich kurz vor deren Mündung in den Main in die Kinzig fließt. Der Main bildet den Südrand des Grundwassermodells. Im Nordwesten, Nordosten und Norden lässt sich keine eindeutige Begrenzung des Grundwassermodells durch ein Gewässer oder eine Grundwasserscheide festlegen.

Auf Basis der Archivunterlagen und der von der Dr. Spang GmbH durchgeführten Erkundung bilden die Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4) den eigentlichen oberen Grundwasserleiter im Projektgebiet. Da die teilweise darüber liegenden Auffüllungen (Schicht I.1) nur bereichsweise angetroffen wurden, können diese nicht als eigenständiger Grundwasserleiter ausgewiesen werden. Im Grundwassermodell werden die Auffüllungen somit dem eher gering durchlässigen Aue-/Hochflutlehm (Schicht I.2) und den Flugsanden (Schicht I.3) zugerechnet.

Nach oben werden die Terrassenablagerungen durch den wasserstauenden Aue-/ Hochflutlehm (Schicht I.2) begrenzt. Unter diesen bindigen Schichten kann das Grundwasser aufgrund der schwach nach Nordwesten geneigten Schichten ggf. subartesisch gespannt sein. Nach unten wird der Grundwasserleiter durch die tertiären Pliozän- und Vulkanitschichten (Schicht II.1 + II.2) begrenzt, welche gemäß den vorliegenden Aufschlüssen im oberen Bereich vorwiegend bindig und damit grundwasserstauend angetroffen wurden.

Der aus dem hydrogeologischen Gutachten [U 2] sowie einer neuen Auswertung der Grundwassermessungen zwischen 2008 bis 2014 abgeleitete Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels im Modellgebiet liegt bei ca. 0,50 m bis 1,20 m, wobei eine Beeinflussung durch eine unstetige Brunnenförderung bestehen kann.

Die örtlichen Grundwasserverhältnisse werden durch die zur Trinkwassergewinnung genutzten Brunnenentnahmen im Bereich des Brunnenfelds Wasserwerk III Wilhelmsbad der Stadtwerke Hanau beeinflusst. Das unmittelbar südlich des Streckenumbaus der Nordmainischen S-Bahn



liegende Brunnenfeld umfasst gemäß [U 6] 23 Brunnen und liegt in einem durch die Bahnstrecke im Norden und die L 3209 Frankfurter Landstraße im Süden begrenzten Gebiet und erstreckt sich damit ca. 700 m in Nord-Süd- und ca. 1,1 km in Ost-West-Richtung. Die gesamte geförderte Wassermenge für das Jahr 2014 liegt bei 274.188 m³. Für das Folgejahr 2015 wird von einer ähnlichen Brunnenförderungsrate ausgegangen. Die gesamte Wassermenge teilt sich gemäß eines Förderschlüssels [U 6] auf die einzelnen Brunnen auf, die zwischen 0,9 % und 7,6 % der Gesamtentnahme entziehen.

2.3.1 Hydraulische Durchlässigkeiten

Das Projektgebiet berücksichtigt die Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4) als Grundwasserleiter, der durch die wasserstauenden Aue-/ Hochflutlehme und Flugsande (Schicht I.2 + I.3) nach oben und die tertiären Pliozän- und Vulkanitschichten (Schicht II.1 + II.2) nach unten begrenzt wird.

Grundsätzlich unterliegen die in den Gutachten [U 2] - [U 4] angegebenen Durchlässigkeiten großen Schwankungsbreiten. Eine zuverlässigere Anfangsschätzung liefern die im hydrogeologischen Gutachten [U 2] beschriebenen Pumpversuche, wobei durch diese nur der Beitrag der grundwasserleitenden Schichten abgeleitet werden kann.

Horizontale Durchlässigkeiten [m/s]	Bandbreiten nach [U 2] - [U 4]	aus Pumpversuchen [U 2]
Aue-/ Hochflutlehme (Schicht I.2) und Flugsande (Schicht I.3)	$1,0 \cdot 10^{-7} - 5,0 \cdot 10^{-3}$	-
Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4)	$1,0 \cdot 10^{-5} - 1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-6} - 4,1 \cdot 10^{-3}$
Tertiäre Pliozän- und Vulkanit- schichten (Schicht II.1 + II.2)	$1,0 \cdot 10^{-9} - 5,0 \cdot 10^{-3}$	-

Tabelle 2.3.1-1: Horizontale Durchlässigkeiten der Grundwasserleiter und Grundwasserstauer

Im Modellierungsgebiet wurden an den Grundwassermessstellen BK 08/72, BK 08/85 und der BK 30(G) Pumpversuche durchgeführt. Bei den Grundwassermessstellen BK 08/72 und BK 08/85 erfolgten keine Langzeit- oder Kurzzeitpumpversuche. Hier wurde lediglich das Klarpumpen und der Wiederanstieg messtechnisch erfasst und ausgewertet. Die Grundwassermess-



stellen wurden jeweils 1 Stunde lang klar gepumpt und der Wiederanstieg wurde i. d. R. während einer Dauer von 2 Stunden erfasst. Daraus ergaben sich Durchlässigkeitsbeiwerte von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s bis $3,2 \cdot 10^{-3}$ m/s. In der BK 30(G) wurde ein Kurzzeitpumpversuch durchgeführt. Aus dessen Auswertung resultierte ein Durchlässigkeitsbeiwert von $1,9 \cdot 10^{-5}$ m/s. Ein gebildeter Mittelwert der ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte im Modellierungsgebiet liegt bei $4,7 \cdot 10^{-4}$ m/s.

2.3.2 Grundwasserneubildung

Vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) wurden Grundwasserneubildungsraten [U 12] als langjährig mittlere Grundwasserneubildungsraten aus Niederschlag für die Referenzperiode 1971 – 2000 in einem Raster von 100 m für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung gestellt. Diese beruhen auf einer Modellierung durch das Verfahren GWN-BW der Fa. GIT Hydros Consult, welches in Hessen für die Wasserhaushaltsmodellierung eingesetzt wird.

Die Grundwasserneubildung wird durch die Landnutzung, durch die Besiedelungsdichte in Verbindung mit der Versiegelung der Geländeoberfläche beeinflusst. Gemäß [U 12] beträgt die Grundwasserneubildung als jährliche Wasserbilanz aus Niederschlag und Verdunstung im Stadtgebiet von Hanau abgesehen von lokalen Spitzen im Simulationsgebiet zwischen -90 mm/Jahr und 160 mm/Jahr. Der Mittelwert im Untersuchungsgebiet liegt nur bei 36 mm/Jahr.

Entlang von Vorflutern und im nördlichen Modellgebiet liefert das Wasserhaushaltsmodell auch negative Grundwasserneubildungsraten. Im Bereich der Gewässer sind diese negativen Grundwasserneubildungsraten plausibel, da durch die permanente Benetzung der Geländeoberfläche eine Verdunstung gegenüber dem Niederschlag überwiegt.

Das nördliche Modellgebiet, in dem das Wasserhaushaltsmodell großflächig eine negative Grundwasserneubildung anzeigt, wird als Golfplatz genutzt. Aufgrund der vergleichsweise großen Rasenfläche scheint auch hier ein Überhang der Verdunstung gegenüber dem Niederschlag plausibel. Dieser Überhang kann möglicherweise durch eine Bewässerung ausgeglichen werden. Das vorliegende Wasserhaushaltsmodell beruht auf Jahresmitteln. Für eine Bilanzierung der Grundwasserneubildung im Jahresmittel wäre davon auszugehen, dass die Bewässerung der Rasenfläche die negative Grundwasserneubildung ausgleicht. Aufgrund des Referenzzeitpunkts für das Grundwassermodell im Sommer wird jedoch davon ausgegangen, dass eine negative Grundwasserneubildung im Bereich des Golfplatzes plausibel ist, da auf landwirtschaftlich ge-



nutzten Flächen im Sommer üblicherweise die Verdunstung gegenüber dem Niederschlag überwiegt.

Die Grundwasserneubildung im besiedelten Gebiet wird jedoch wesentlich durch die Versiegelung der Oberfläche durch Gebäude, befestigte Plätze, Straßen und Gehwege beeinflusst. Nur ein Anteil des Niederschlagswassers strömt deshalb dem Grundwasser zu.

3. GRUNDWASSERMODELL

3.1 Theoretischer Hintergrund

Grundlage der Modellierung einer Grundwasserströmung ist das verallgemeinerte DARCY'sche Gesetz und die Kontinuitätsbedingung, aus denen sich die partielle Differenzialgleichung für die dreidimensionale instationäre Sickerströmung in einem heterogenen und anisotropen Medium herleiten lässt:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q_W = S_S \frac{\partial h}{\partial t}$$

K	hydraulischer Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]
h	Piezometerhöhe [m]
Q_W	Volumetrischer Fluss pro Volumeneinheit (Senk- oder Quellterm) [m ³ /s]
S_S	spezifischer Speicherkoeffizient von porösen Material [1/m]
x,y,z	Raumkoordinaten
t	Zeit
∂	Änderung entlang der Raumkoordinaten (x,y,z), Piezometerhöhe (h) oder Zeit (t)

Die ersten drei Terme der Strömungsgleichung erfassen den Volumenstrom des Grundwassers, welches aufgrund von Potenzialunterschieden und den vorhandenen Durchlässigkeitsbeiwerten in einem Gebiet strömt. Der Senk- / Quellterm beinhaltet jede weitere Zugabe und Entnahme von Wasser, wie z. B. Grundwasserneubildung, Infiltration aus einem Vorfluter, Evapotranspiration oder Förderrate eines Brunnens. Bei einer stationären Betrachtung des Grundwassermodells entfällt der spezifische Speicherkoeffizient und das Strömungsmodell wird lediglich durch das hydraulische Potenzial sowie den Senk- und Quellterm bestimmt.



Zur Lösung des Anfangsrandwertproblems sind an den Modellrändern Strömungsrandbedingungen vorzugeben, die die Einwirkung der Umgebung auf das Simulationsgebiet beschreiben. Die DIRICHLET-Randbedingung beschreibt die Potenzialhöhe am Modellrand z.B. bei bekanntem Grundwasserspiegel am Modellrand. Die NEUMANN'sche Randbedingung beschreibt bekannte über den Gebietsrand ein- und austretende Grundwasserströme und vorgegebene Brunnenentnahmen oder -infiltrationen im Modell. Einen Sonderfall stellt die „natürliche Randbedingung“ dar, z.B. eine undurchlässige Umrandung oder eine Grundwasserscheide.

Zur numerischen Lösung der Differenzialgleichung steht bei der angewandten Software *Visual Modflow Flex* das Finite-Differenzen-Verfahren zur Verfügung. Hierbei wird das Modellgebiet durch ein Rechteckraster diskretisiert.

Aufgrund der Variabilität der Brunnenentnahmen und der Grundwasserneubildungen ist eine zeitlich exakte Beschreibung der veränderlichen Grundwasserstände praktisch nicht möglich. Daher wird für die durchgeführte Grundwassermodellierung ein stationäres Modell verwendet, welches von zeitlich unveränderlichen Grundwasserständen ausgeht.

Unter der Verwendung eines stationären Modells ist eine Kalibrierung des numerischen Strömungsmodells möglich, da hierbei die bekannten Randbedingungen (Potenziale, Senk und Quellterme) unverändert bleiben und unbekannte Parameter wie die hydraulische Durchlässigkeit angepasst werden.

3.2 Abgrenzung des Modellgebiets und Randbedingungen

Anhand einer Stichtagsmessung der Grundwasserstände am 11.08.2015, der als Referenzzeitpunkt dient, erfolgte eine Interpolation der Potenzialhöhenlinien (Anlage 12.13.2.1.1a-neu). Zur Interpolation der Grundwassergleichen mit der Software Surfer 7 wurde der Kriging-Typ Point mit linearen Verfahren verwendet. Mittels dieser Potenzialhöhenlinien werden die Abgrenzungen des Modellgebiets sowie die Randbedingungen festgelegt. Aus dem Grundwassergleichenplan geht eine Grundwasserfließrichtung von Nord nach Süd hervor und eine Beeinflussung der Grundwasserströmung durch die Brunnenentnahmen. Die in der Anlage 12.13.2.1.1a-neu dargestellten Grundwassergleichen der Stichtagsmessung unterliegen insbesondere im westlichen Randbereich durch die Extrapolation mit dem Programm Surfer einem Fehler. Hier ist der Einfluss des vorgegebenen Mainwasserstand und der im südwestlichen Bereich geringen Messstellendichte für eine nicht realistische Darstellung der Grundwassergleichen am westlichen Rand verantwortlich. Eine



manuelle Korrektur wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit zunächst nicht vorgenommen, da sonst Rechenergebnisse (Interpolationsalgorithmus) und manuelle Korrektur nicht zu unterscheiden gewesen wären. Die hydrogeologische Karte des Gebiets (siehe Anlage 12.6.2.2.2) der PF-Unterlage zeigt am westlichen Rand fast parallel zum Main verlaufende Grundwassergleichen, was hier als realistisch anzusetzen ist und einen nicht durchströmten Rand rechtfertigt. Die Anlage 12.13.2.1.2a-neu enthält einen manuell korrigierten Grundwassergleichenplan, der u.a. für den westlichen Rand die Information der Hydrogeologischen Karte berücksichtigt. Außerdem wurde die Grundwassermessstelle an der Kastanienallee/Kleinfellerstraße des RP Darmstadt ergänzt und berücksichtigt.

Grundvoraussetzung für die korrekte Erfassung des behandelten Strömungsproblems im numerischen Modell ist die Unabhängigkeit des Ergebnisses von den Modellrandbedingungen. Aus diesem Grund sind die Modellbegrenzungen unter Berücksichtigung der Potenzialhöhenlinien der Stichtagsmessung so zu wählen, dass diese die hydraulische Situation im Modellierungsgebiet wiedergeben, aber keinen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse und Transportmodellierung im Brunnenfeld nehmen.

Zum Definieren der Modellgrenzen eignen sich vorzugsweise natürliche Randbedingungen wie Flüsse, Wasserscheiden oder Seen, da meist exakte Pegeldata vorliegen. Die Pegeldata des Mains und der Kinzig werden schon bei der räumlichen Interpolation der Grundwassergleichen berücksichtigt und eignen sich auch für die Strömungsmodellierung als Potenzial und Modellgrenze im Süden und Südosten. Anhand der Stichtagsmessung werden die Potenzialränder im Norden und Nordosten festgelegt. Der Potenzialrand im Norden folgt dem Verlauf des Braubachs, da aus dem Grundwassergleichenplan (Anlage 12.13.2.1.1a-neu) zu erkennen ist, dass hier keine Beeinflussung der Strömung durch das Brunnenfeld mehr vorhanden ist. Anhand der östlich des Brunnenfeldes befindlichen Grundwassermessstellen wird der Potenzialrand im Nordosten bestimmt. Aufgrund des geeigneten Verlaufs des Salisbachs von Nord nach Süd und der anliegenden Grundwassermessstellen wird der Verlauf des östlichen Potenzialrandes dem Salisbach zugeordnet. Die zugeordneten Potenzialränder müssen nicht den wahren Pegeldata der Bäche entsprechen. Es sind lediglich aus den Grundwasserständen abgeleitete Potenziale im Grundwasserleiter auf Basis der Messstellen.

Damit die Modellierungsergebnisse im Brunnenfeld nicht durch die Potenzialränder beeinflusst werden, ergibt sich ein Simulationsgebiet mit einer Fläche von 2,9 km x 3,1 km. Bei dieser Gebietsgröße liegen die Abstände des Brunnenfelds zu den Modellgrenzen zwischen 600 m und 1.600 m.



Da die wesentlichen Potenzialränder recht gut den Himmelsrichtungen entsprechen, wird das Modellraster gegenüber der Nordrichtung nicht gedreht. Die orthogonalen Elementgrenzen geben damit die natürlichen Modellränder gut wieder.

Das im Grundriss eigentlich unregelmäßig begrenzte Simulationsgebiet ist in einer Finite-Differenzen-Berechnung in einem rechteckförmigen Raster zu diskretisieren. Durch die unregelmäßige Berandung des Modellgebiets, die zum Teil durch den Verlauf des Mains und der Kinzig als Modellgrenzen entsteht, ergeben sich Bereiche, die außerhalb des Modellgebiets liegen und daher in Anlage 12.13.2.2.1a-neu durch rote Schraffur gekennzeichnet sind. Nordwestlich der nördlichen Potenziallinie wird ein Bereich aufgrund zu geringer Datenbasis bei der Modellierung nicht beachtet. Die rot schraffierten Bereiche werden bei jeglichen Berechnungen und Modellierungen nicht integriert.

Zur Ermittlung der Wasserstände des Mains als Randbedingung am südlichen Modellrand wurden die mittleren Wasserstände des Mains an der geregelten Stauhaltung Mühlheim entsprechend den Angaben der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung herangezogen. Das Oberwasser wurde zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung auf 99,15 m NHN gehalten.

In vertikaler Richtung orientieren sich die Elementgrenzen an die geostatistische Interpolation der Schichtenfolge aus den geologischen Aufschlüssen. Dabei wird für die Erstellung des Grundwassermodells eine Auswertung der Tiefenlage der einzelnen grundwasserleitenden und grundwasserstauenden Schichten anhand von 141 Bohrprofilen vorgenommen. Die Tiefenlage und Mächtigkeit der Schicht werden schematisiert, einzelne festgestellte Schichtgrenzen wurden ignoriert, sofern hierfür Gründe vorliegen, wie z.B. Höhenlage des Aufschlusses auf einem Damm, oder sofern diese nicht eindeutig aus den vorliegenden Aufschlüssen abgeleitet werden konnten. Durch eine geeignete geostatistische Interpolation werden die Bohrprofile miteinander verbunden, und eine zusammenhängende, horizontbeständige hydrostratigraphische Einheit erzeugt, die die wasserführende Schicht im Untergrund realitätsnah abbildet.

Das Netz ist an Stellen zu verfeinern, an denen große hydraulische Gradienten auftreten oder an denen besondere Anforderungen an die Modellgenauigkeit gerichtet werden. Eine Netzverfeinerung war im vorliegenden Modell in den Bereichen des Brunnenfelds und den hier nahe gelegenen Abschnitt des Streckenumbaus angebracht. Im Rahmen dieser Netzverfeinerung erfolgte eine sukzessive Reduzierung der horizontalen Elementabmessungen von 155 m x 145 m auf 9,69 m x 9,06 m. Das so gewählte numerische Modell umfasst 23.296 Elemente pro Schicht. Der Aufbau des Netzes ist in der Anlage 12.13.2.2.1a-neu dargestellt.



Bestehende Hindernisse im Baugrund für die Grundwasserströmung wie z.B. Tunnel, Gründungsbauteile oder verbliebene Baugrubenumfassungen sind in der Umgebung des gegenständlichen Streckenabschnitts nicht bekannt und werden daher nicht berücksichtigt.

Nachfolgend werden die Abgrenzungen und der Aufbau des Modellgebiets zusammenfassend aufgelistet:

- **Modellgrenzen**
 - Main im Süden
 - Braubach im Norden
 - Kinzig im Südosten
 - fester, undurchlässiger Rand im Westen
- **Modellgröße**
 - 2.900 m x 3.100 m
- **Vertikale Ausrichtung**
 - ca. 18 m
 - 6 Schichten
- **Netzverfeinerung**
 - sukzessive Reduzierung der Zellen von 155 x 145 m
 - auf 9,69 m x 9,06 m

3.2.1 Festlegung der Potenzialhöhen am Modellrand

Das Strömungsfeld im Untersuchungsgebiet ist durch ein von Nord nach Süd, teilweise auch nach Südwest und Südost abfallendes Grundwasserspiegelgefälle gekennzeichnet (vgl. Anlage 12.13.2.1.1a-neu). Zur Beschreibung des hydraulischen Gradienten im Grundwassermodell werden die Potenzialhöhen, orientierend an den Flusspegeln, am südlichen und südöstlichen Modellrand vorgegeben. Aufgrund der unbekannten hydrogeologischen Situation im westlichen Randbereich des Modellierungsgebiets werden hier keine Potenzialhöhen vorgegeben.

Für das Untersuchungsgebiet liegt nur ein zusammenhängender Grundwassergleichenplan vom 11.08.2015 vor. Die hydrogeologische Karte gemäß [U 1] liefert Grundwassergleichen im Bereich des Brunnenfelds Wilhelmsbad für den Zeitpunkt 15.10.1977 sowie Grundwassergleichen östlich des Brunnenfelds für den Zeitpunkt 03./04.10.1993. Am östlichen Modellrand konnten die Potenzialhöhen aufgrund der zum Referenzzeitpunkt 11.08.2015 gemessenen Wasserstände in der Nähe des Modellrands nördlich der Überführung der B 45 über die Kinzig vergleichsweise exakt be-



stimmt werden. Entlang des nördlichen und nordöstlichen Modellrands müssen Potenzialhöhen aufgrund der an dem Modellrand befindlichen Grundwassermessstellen charakterisiert werden. Am westlichen Modellrand werden keine Potenzialhöhen vorgegeben und stellt somit eine "natürliche Randbedingung" ohne Durchflüsse durch den Rand dar.

Die im Untersuchungsgebiet liegende Stauhaltung Mühlheim sorgt für eine abrupte Änderung der Wasserstandshöhen, die im Nahbereich auch Einfluss auf die Grundwasserhöhen nimmt. Die mittlere Fallhöhe an der Staustufe beträgt 3,77 m. Im Grundwassermodell musste aufgrund von Konvergenzkriterien im Unterwasser ein Wasserstand von 97 m NHN anstatt von 95,38 m NHN angenommen werden. Zur modelltechnisch vollständig richtigen Abbildung hätte neben der Abbildung eines plötzlichen Wasserspiegelsprung im Main auch die Abbildung von Maßnahmen zur Verminderung der Umströmung der Staustufe gehört, die baulich vorhanden sind. Dies hätte in der südwestlichen Modellecke zu einem deutlich aufwendigeren Modellbereich geführt. Da dieser Modellbereich aber nur einen sehr geringen Einfluss auf die Strömungsverhältnisse im Bereich der Schadstoffausbreitung haben kann (ca. 2 km von den betrachteten Streckenabschnitten entfernt), wurde zugunsten der Rechenzeit auf eine genauere Modellierung verzichtet und der Potenzialunterschied auf einen größeren Flussabschnitt des Unterwassers verteilt. Aus den Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu ist anhand der Grundwassergleichen zu entnehmen, dass dennoch ein starkes hydraulisches Gefälle nachgebildet werden konnte. Daher wird eine Veränderung der ein- und ausströmenden Wassermengen im Umfeld der Stauhaltung Mühlheim nur einen geringen Einfluss auf die Grundwasserverhältnisse im Brunnenfeld an dem Streckenabschnitt besitzen.

Dem Vorfluter Kinzig, der in den Main fließt, wird ebenfalls ein Wasserstand von 99,15 m NHN zu geordnet. Entlang des Salisbaches werden die Potenzialhöhen von Nord nach Süd aus den anliegenden Wasserständen der GWM interpoliert. Aufgrund der Messstelle 22, die einen Grundwasserstand von 100,96 m NHN aufweist (Anlage 12.13.2.1.1a-neu), wird dem Salisbach im Norden eine Potenzialhöhe von 101 m NHN zugewiesen. Die BK 30 (G), liegt nahe am Salisbach und weist einen Grundwasserstand von 99,17 m NHN auf. Der Salisbach mündet kurz darauf in die Kinzig. Dies lässt auf einen konstanten Pegel- und Grundwasserstand im südlichen Modellbereich schließen. Daher wurde für den Main und die Kinzig, die lediglich im südöstlichen Randbereich in den Main mündet, ein konstanter Pegelstand von 99,15 m NHN angesetzt.

Am 26.10.2017 wurden die Wasserstände des Mains aus dem Onlineportal des Hochwassernachrichtendienstes Bayern abgerufen. Entsprechend der dort gemachten Angaben lag ein Mittlerer Niedrigabfluss vor. Demzufolge befand sich die Staustufe Mühlheim (Fluss km 53,185) im Regel-



stau. Am Mainpegel Krotzenburg (Fluss km 63,23) wurde nach den Daten des Hochwassernachrichtendienstes Bayern zur gleichen Zeit ein um 19 cm höherer Wasserstand gemessen. Demnach weist der Main ein Fließgefälle von 19 cm auf 10,05 km auf und somit ein Gefälle von 1,89 cm je Kilometer. Auf 4 km ergibt sich dann ein Höhenunterschied von 7,56 cm. Der Ansatz einer konstanten Höhe für den Main weist somit nur eine geringe Ungenauigkeit auf, die aufgrund des großen Abstands keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse im Bereich der Schadstoffausbreitung hat.

Durch die vorgegebene Potenzialhöhe des Mains und der Kinzig wird für den östlichen Potenzialrand im Süden eine Potenzialhöhe von ebenfalls 99,15 m NHN angenommen. Dem im Norden befindlichen Potenzialrand wird eine Potenzialhöhe von 101 m NHN zugewiesen. Dieser schließt im Nordosten direkt an den östlichen Potenzialrand an.

Die absolute Wasserspiegeldifferenz zwischen nördlichem und südlichem Modellrand beeinflusst das Wasserspiegelgefälle im Bereich des Streckenabschnitts. Diese absolute Wasserspiegeldifferenz lässt sich mit ca. 1,85 m vergleichsweise zuverlässig aus bekannten Grundwasserständen (z.B. Messstelle 22) und dem Flusspegel des Mains bestimmen.

Anschließend zusammenfassend die Festlegung bzw. der Verlauf der Potenzialhöhen:

- **Main (Oberwasser)** 99,15 m NHN
- **Main (Unterwasser)** 97,00 m NHN
- **Kinzig** 99,15 m NHN
- **Salisbach** 101 m NHN → 99,15 m NHN (Nord → Süd)
- **Braubach** 101 m NHN

Die angesetzten Potenzialhöhen können Anlage 12.13.2.2.2a entnommen werden.

3.2.2 Brunnenentnahmen und Grundwasserhaltungen

Die Wasserstände der Brunnen und Beobachtungspegeln vom 11.08.2015 (Anlage 12.13.2.1.3a-neu) im Untersuchungsgebiet wurden durch Mitarbeiter der Stadtwerke Hanau und der



Dr. Spang GmbH gemessen. Die gesamte Entnahmerate für alle Brunnen pro Monat sowie ein Förderschlüssel als Aufteilung auf die einzelnen Brunnen ist angegeben. Nach Auskunft der Stadtwerke Hanau sind die Brunnenentnahmerate im Jahr 2015 unverändert zu Juli 2014 (Anlage 12.13.2.2.3a-neu).

Für das stationäre Grundwassermodell wird die Annahme getroffen, dass über die Simulationszeit eine zeitunabhängige konstante Wassermenge entnommen wird. In Wirklichkeit variiert die abgepumpte Wassermenge jedoch über die Dauer. Die jeweils in Intervallen abgepumpte Gesamtrate von 88 m³/h wird als durchschnittliche Entnahmerate mit 31,3 m³/h zeitlich gemittelt. Die 23 Brunnen des Wasserwerks Wilhelmsbad in der Nähe des Streckenumbaus der Nordmainischen S-Bahn besitzen eine gesamte Entnahmerate von 752 m³/d. An den Bahngleisen am nächsten positioniert und somit bei einem Havarieszenario am gefährdetsten sind die Flachbrunnen (Flb) 7, 9, 26, 33, 34 und 35. Die Abstände zum Streckenneubau liegen bei etwa 20 m bis 70 m.

Aufgrund der präzisen Aufzeichnung zum 08. und 09.07.2014 können die Brunnenentnahmeraten zuverlässig bestimmt werden und tauchen in der Bilanzbildung des Grundwassermodells auch genauso wieder auf. Da sich die Brunnenanlage in der Nähe des betrachteten Streckenumbaus befindet, ist eine genaue Kenntnis der Brunnenentnahme für die Bestimmung der Grundwasserverhältnisse auch von großer Bedeutung. Eine Erhöhung der Entnahmeraten führt zu einer Absenkung des Grundwasserspiegels im Bereich des Brunnenfelds und zu einer deutlichen Beeinflussung des mittleren Fehlers der beobachteten mit den errechneten Wasserständen. Neben einer erhöhten Grundwasserabsenkung im Brunnenfeld kommt es auch zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit im näheren Brunnenumfeld. Daher wird eine zweite instationäre Strömungs- und Transportmodellierung mit der maximal zulässigen Brunnenförderungsrate für das Wasserwerk Wilhelmsbad von 400.000 m³ pro Jahr durchgeführt. Die Aufteilung der Brunnenentnahmeraten auf die Modelllayer sind in der Anlage 12.13.2.2.4a-neu dargestellt.

Gemäß den Brunnenausbauplänen in Anlage 12.13.2.2.5a-neu wurden die Brunnen mit Filterrohren der Größen von DN 400, DN 500 oder DN 600 errichtet. Das Modell ist mit Zellgrößen von 9,69 m x 9,06 m im Brunnenfeld zu groß, um Skineffekte berücksichtigen zu können. Die Anlage 12.13.2.2.5a-neu enthält neben den Ausbauplänen der Flachbrunnen, die der Grundwassermessstellen BK 08/72, BK 08/85, BK 26, BK 30 (G) und P1.N bis P7.N. Der Anlage 12.13.2.2.6a-neu ist ein Fließschema der Wassergewinnungsanlage „Hanau - Wilhelmsbad“ (Wasserwerk III) sowie ein Datenblatt des Wasserwerkes beigelegt. Gemäß [U 18] sind die Brunnen mit eingezeichnetem Pumpensymbol im Fließschema mit einer Unterwasserpumpe ausgestattet. Davon ist im Regelbetrieb nur eine Pumpe aktiv. Die Saugpumpen 1 und 2 sind derzeit nicht in Betrieb.



(Stand 03/2018). Des Weiteren ist [U 18] zu entnehmen, dass der Rohwasserzähler in der gemeinsamen Leitung nach den Saugpumpen installiert ist. Eine tatsächliche Messung der Entnahmemenge an allen Einzelbrunnen ist nach Auskunft der Stadtwerke Hanau technisch derzeit nicht möglich.

3.2.3 Grundwasserneubildung

Die vom HLUG zur Verfügung gestellten Grundwasserneubildungsraten liegen in einem Raster von 100 m vor. Die Grundwasserneubildungsraten wurden räumlich gemittelt und in insgesamt 18 Zonen mit konstanter Grundwasserneubildungsrate im Modellgebiet diskretisiert. Diese Neudiskretisierung ist aufgrund dem nicht mit der Datengrundlage übereinstimmenden Modellierungsraster erforderlich.

3.2.4 Hydraulische Durchlässigkeiten

Für die oberflächennahen Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4) wird zunächst eine Anfangsschätzung der mittleren, horizontalen Durchlässigkeit $k_x = k_y = 1,0 \cdot 10^{-3}$ m/s und der vertikalen Durchlässigkeit von $k_z = 1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s angesetzt. Für die zusammengefassten überlagernden bindigen Schichten (Schicht I.2 + I.3) wird eine horizontale Durchlässigkeit von $k_x = k_y = 4,0 \cdot 10^{-6}$ m/s und vertikalen Durchlässigkeit von $k_z = 4,0 \cdot 10^{-7}$ m/s angesetzt. Eine horizontale Durchlässigkeit der unterlagernden tertiären Pliozän- und Vulkanitschichten (Schicht II.1 + II.2) von $k_x = k_y = 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s wird verwendet, aufgrund einer ausgeprägten Anisotropie im Tertiär wird hier ebenfalls eine um den Faktor 10 geringere vertikale Durchlässigkeit angesetzt.

3.3 Modellkalibrierung

Auch bei sorgfältiger Datenerhebung und Datenaufbereitung werden einzelne Parameter unbekannt bleiben oder nur mit eingeschränkter Genauigkeit bekannt sein. Im Rahmen einer Kalibrierung werden diese Parameter innerhalb vorgegebener Vertrauensbereiche so eingeregelt, dass ein durch Messungen dokumentierter Zustand des Grundwassersystems durch das Modell nachvollzogen werden kann. Dies kann entweder durch einen automatischen Optimierungsalgorithmus oder durch ein „trial and error“ - Verfahren erfolgen.



In der Regel zählen Standrohrspiegelhöhen zu den zuverlässigsten Daten, die über die Verhältnisse in einem Grundwasserleiter zur Verfügung stehen, während Durchlässigkeitswerte in der Regel nur in ihrer Größenordnung bekannt sind. Meistens werden Durchlässigkeitswerte innerhalb ihrer Vertrauensbereiche mit dem Ziel variiert, die Abweichung zwischen gemessenen und gerechneten Grundwasserständen zu minimieren. Allerdings führt dieses Vorgehen nur zum Erfolg, wenn Entnahmen innerhalb des Untersuchungsgebiets bekannt und in der Berechnung berücksichtigt sind. Ansonsten könnten verschiedene Durchlässigkeitskombinationen, die sich jeweils nur um einen Faktor unterscheiden, das gleiche Gleichbild ergeben, auch wenn sich diese Berechnungen bei den zu- und abfließenden Wassermengen und den Grundwassergeschwindigkeiten unterscheiden würden.

Die Fehlerminimierung zwischen berechneten und gemessenen hydraulischen Höhen führt für das vorliegende Modell zu plausiblen Grundwasserströmungsverhältnissen. Für kalibrierte Randbedingungen und Durchlässigkeiten liegt der Tiefpunkt des Grundwasserspiegels im Ausströmbereich des Mains und der Kinzig aus dem Modell im Süden und Südosten sowie im Bereich des Brunnenfelds Wilhelmsbad inmitten des Modellgebiets. Ebenfalls besitzen die Durchlässigkeiten der einzelnen Schichten Einfluss auf die Reichweiten der Grundwasserentnahmen, deren Plausibilität anhand der in unterschiedlichen Abständen vom Brunnen gelegenen Grundwassermessstellen überprüft werden kann.

In der Regel liegt bei Aufstellen eines Grundwassermodells im innerstädtischen Bereich eine bessere Modellgenauigkeit vor, da üblicherweise auf eine größere Anzahl von Beobachtungsmessstellen im Zusammenhang mit durchgeführten Baumaßnahmen zurückgegriffen werden kann. In ländlichen Gebieten muss zumeist eine Datenbasis durch die Erstellung neuer Grundwassermessstellen aufgebaut werden, was jedoch die größere Modellgenauigkeit nicht ausgleichen kann. Demgegenüber stehen bei Modellbildungen für innerstädtische Gebiete jedoch Unsicherheiten aus Grundwassersperren durch im Baugrund verbliebene Verbaumaßnahmen, die häufig nicht dokumentiert sind.

Eine Variation der Durchlässigkeiten in den einzelnen Schichten besitzt unterschiedlichen Einfluss auf die berechneten Grundwasserstände. Eine Veränderung der Durchlässigkeit des oberen Grundwasserstauers führt nur zu einer geringfügigen Veränderung der Grundwasserstände, was der Tatsache geschuldet ist, dass der Grundwasserspiegel zumeist unterhalb der Schichtgrenze zum darunterliegenden Grundwasserleiter verläuft. Demgegenüber führt eine Veränderung der Durchlässigkeit des unteren Grundwasserstauers zu einer erheblichen Variation der Pegelhöhen, auch da die Brunnen im Wilhelmsbad teilweise in den Grundwasserstauer eindringen und zu einer



Absenkung führen. Die Variation der Durchlässigkeit der Terrassenablagerungen hat im ersten Kalibrierungslauf noch eine geringe Auswirkung auf die Grundwasserstände, während sich in den weiteren Läufen der Einfluss auf die Grundwasserstände erhöht.

Die Durchlässigkeiten können innerhalb des Simulationsgebiets eine gewisse Variabilität aufweisen, weshalb die über das Gebiet gemittelten Werte von den aus den Pumpversuchen stammenden lokalen Durchlässigkeiten abweichen können. Weiterhin liefern die zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführten Pumpversuche vertikal gemittelte Durchlässigkeiten über die Verfilterung der Grundwassermessstelle, die im Bereich grundwasserstauender und grundwasserleitender Schichten liegt, während im Grundwassermodell Durchlässigkeiten dezidiert für Aquifer und Grundwasserstauer angesetzt werden. Im Gegensatz zu den im Pumpversuch sich naturgemäß nur langsam einem stationären Zustand annähernden Wasserentnahmen beruhen die im numerischen Grundwassermodell bestimmten Durchlässigkeiten auf stationären Annahmen. Auch hier sind Streubereiche für die Durchlässigkeit zu verzeichnen, mit denen auch noch eine vergleichsweise gute Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen erreicht wird.

Das vorhandene Netz an Grundwassermessstellen, mit denen eine Kalibrierung des Grundwassermodells durchgeführt werden kann, ist bezogen auf das gesamte Modellierungsgebiet recht grob und liefert vergleichsweise große Unsicherheiten bei der Abbildung der realen Grundwasserstände. Dagegen ist die Anzahl der Grundwassermessstellen im Brunnenfeld sehr groß. Allerdings wird hier eine Kalibrierung des Grundwassermodells, durch die stark variierenden Grundwasserstände auf kurzen Distanzen, verursacht durch die aktive Brunnenentnahme, erschwert.

3.3.1 Ermittlung der Durchlässigkeiten

Die Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4) bilden den Hauptgrundwasserleiter im Untergrund der Stadt Hanau. Die Schichtgrenze zwischen den Terrassenablagerungen und dem Tertiär liegt zwischen ca. 1,0 m und ca. 11,0 m unter GOF.

Da sich aus den vorliegenden Bohrprofilen keine systematischen räumlichen Durchlässigkeitsunterschiede einer geologischen Schicht ableiten lassen, werden die Durchlässigkeiten einer Schicht zuerst über das gesamte Modellgebiet als konstant angesetzt.

Aus der Anfangsschätzung der Durchlässigkeiten der Terrassenablagerungen mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s resultieren gemittelte Abstände von den gemessenen zu den kalkulierten Grund-



wasserstände von im Mittel 0,54 m. Innerhalb des Brunnenfeldes sind die Differenzen am größten und die Grundwasserstände werden mit einem Unterschied von bis 1,5 m zu hoch berechnet. Neben den starken Abweichungen indiziert eine fehlende Absenkung der Grundwassergleichen im Brunnenfeld, dass weitere Modellanpassungen hinsichtlich der Durchlässigkeitsbeiwerte notwendig sind.

Mittels der Kalibrierung durch die im *Visual Modflow Flex* integrierten Funktion PEST (Parameter Estimation) kann keine Modelanpassung erfolgen. Aufgrund der starken Grundwasserstandsänderungen innerhalb des Brunnenfeldes kalkuliert PEST stark voneinander abweichende Durchlässigkeitsbeiwerte. Um diesen Fehler zu vermeiden wird eine manuelle Kalibrierung vorgezogen.

Bei der manuell durchgeführte Kalibrierung werden nacheinander Durchlässigkeiten variiert und die Veränderungen der Abweichungen beobachtet. Da die zuerst kalkulierten Grundwasserstände im Vergleich zu den gemessenen zu hoch sind, findet eine Erniedrigung des Durchlässigkeitsbeiwerts der Terrassenablagerungen statt. Durch den langjährigen aktiven Brunnenbetrieb kann eine Verfrachtung des Feinkorns in das Brunnenfeld stattfinden. Daher wird um eine optimalere Anpassung der Grundwasserstände im Brunnenfeld zu erreichen, in einem Teilbereich des Brunnenfeldes die Durchlässigkeit weiter herabgesetzt. Allerdings werden die Terrassenablagerungen die vertikale Durchlässigkeit gegenüber der horizontalen Durchlässigkeit nur um den Faktor 5 verringert. Das vorläufige Strömungsmodell besitzt somit in den Terrassenablagerungen einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k_x = k_y = 6,0 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_z = 1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s und im Teilbereich des Brunnenfeldes $k_x = k_y = 2,0 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_z = 4,0 \cdot 10^{-5}$ m/s (Anlage 12.13.2.3.1a-neu bis Anlage 12.13.2.3.6a-neu). In der Anlage 12.13.2.3.7a-neu sind zudem zwei Schnitte durch das Modell dargestellt. Ebenfalls werden zusätzliche Berechnungen durchgeführt, bei denen keine lokale Abminderung der hydraulischen Durchlässigkeit in der Mainterrasse angesetzt wird. Die Berechnungen werden in Kap. 10 beschrieben und ausgewertet. Des Weiteren befinden sich in der Anlage 12.13.2.13.1a-neu eine Darstellung der hydraulischen Durchlässigkeiten für dieses Berechnungsszenario. Die geologische Einheit des Tertiärs ist im Modell in zwei Schichten unterteilt. Der oberen tertiären Schicht werden höhere Durchlässigkeitsbeiwerte zugeordnet als der unteren tertiären Schicht, da die Filterstrecken der Brunnen 1 und 33 im Tertiär liegen und sonst die Förderung der angegebenen Brunnenraten in diesem Bereich rechnerisch nicht nachvollzogen werden kann. Daher erhält die obere tertiäre Schicht Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_x = k_y = 8,0 \cdot 10^{-6}$ m/s und $k_z = 8,0 \cdot 10^{-7}$ m/s. Hierdurch kann das Strömungsmodell auf eine durchschnittliche Abweichung von 0,34 m angepasst werden. Des Weiteren ist der Absenkekanal des Brunnenfeldes nachzuvollziehen (Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu). Bei der Kalibrierung des



Grundwassermodells werden ausschließlich die Grundwasserstände der Grundwassermessstellen und Beobachtungsbrunnen betrachtet, da bei den Brunnen die Gefahr von Verockerungen besteht und im Brunnen zu einen tieferen Grundwasserstand als in der direkten Umgebung führt.

Eine Optimierung des Strömungsmodells durch abändern der Eingangswerte der tertiären Pliozän- und Vulkanitschicht sowie der Aue-/Hochflutlehm und Flugsande ist nicht zu beobachten. Daher bleiben die zuerst angenommenen Durchlässigkeiten bestehen.

Tabelle 3.3.1-1 enthält die für das Grundwassermodell angenommenen Durchlässigkeitsbeiwerte im Vergleich zu literarischen und aus Feldversuchen ermittelten Werten.

Horizontale Durchlässigkeiten [m/s]	Bandbreiten nach [U 2] - [U4]	aus Pumpversu- chen [U 2]	aus Modellka- librierung
Aue-/ Hochflutlehm (Schicht I.2) und Flugsande (Schicht I.3)	$1,0 \cdot 10^{-7} - 5,0 \cdot 10^{-3}$	-	$4,0 \cdot 10^{-6}$
Terrassenablagerungen des Mains und der Kinzig (Schicht I.4)	$1,0 \cdot 10^{-5} - 1,0 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-6} - 4,1 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$ lokal: $2,0 \cdot 10^{-4}$
Tertiäre Pliozän- und Vulkanit- schichten (Schicht II.1 + II.2)	$1,0 \cdot 10^{-9} - 5,0 \cdot 10^{-3}$	-	Oberste Schich- teine- heit: $8,0 \cdot 10^{-6}$ darunter: $1,0 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 3.3.1-1: Horizontale Durchlässigkeiten der Grundwasserleiter und Grundwasserstauer

Es zeigt sich, dass die aus der Modellkalibrierung ermittelten Durchlässigkeiten innerhalb der aus den Pumpversuchen ermittelten Ergebnisse und im Bereich der Bandbreiten gemäß [U 2] - [U4] bzw. gem. Kap. 2.3.1 liegen.

3.3.2 Verbleibende Abweichungen

Insgesamt erscheint die Genauigkeit der Kalibrierung für das betrachtete Modellgebiet am Stadtrand von Hanau akzeptabel. Unter den über das Modellgebiet verteilten Grundwassermessstellen nördlich des Mains kann festgestellt werden, dass für die Messstelle P43A an der Bahnstrecke bei km 67,8 und P1N der berechnete Grundwasserspiegel den gemessenen Grundwasserspiegel um



1,1 m und (vgl. Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu) übersteigt. Des Weiteren konnte für Abweichungen der Messstellen P39, P.26, P.3N und P.2N keine optimierte Anpassung erfolgen. Hier liegen die Abweichungen bei 0,8 m bis 0,54 m. Die Messstelle P.26 liegt im nahen Umfeld eines Brunnen und somit im unmittelbaren Absenktrichter. Aufgrund des Abstandes der verfügbaren Messstellen und auch der Elementgröße im numerischen Modell, kann der Absenktrichter nicht in allen Fällen durch die Interpolation vollständig nachvollzogen werden. Der Messwert der Messstelle weist einen etwas höheren Wert auf als die unmittelbar daneben liegenden interpolierte Grundwassergleiche. Der Absenktrichter wird sich tatsächlich etwas steiler ausbilden, als es das Interpolationsverfahren hier ergibt. In dem manuell korrigierten Grundwassergleichenplan (Anlage 12.13.2.1.2a-neu) erfolgt diesbezüglich ebenfalls eine Anpassung.

Auch in den Messstellen BK 26 und BK 08/72 an der Bahnstrecke bei km 66,483 und 65,691 liegt der berechnete Grundwasserstand 0,96 m und 0,91 m über den gemessenen Grundwasserstand. Die Messstellen BK 26 und BK 08/72 liegen sehr nah an der vorgegebenen Potenzialhöhe des Braubachs. Bei einer Erniedrigung dieser Potenzialhöhe steigen dagegen die Abweichungen der Messstellen 22 und 19, da auch die Potenzialhöhen des Salisbaches vermindert werden müssten. Die Abweichungen lassen sich nicht durch eine Kalibrierung der Randbedingungen oder der Durchlässigkeiten reduzieren. Es wird davon ausgegangen, dass vorhandene Abweichungen durch andere unbekannte Einflüsse hervorgerufen werden. Die Messstellen werden daher für die weitere Kalibrierung nicht berücksichtigt. Für die übrigen Messstellen im Untersuchungsgebiet beträgt dann der mittlere Fehler zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen nach durchgeführter Kalibrierung 20 cm. Eine Gegenüberstellung der gemessenen Grundwasserstände zu den berechneten Druckpotenzialen im quartären Grundwasserleiter (Layer 2 bis 4) kann der Anlage 12.13.2.4.5a-neu entnommen werden.

Der Flachbrunnen Flb. 29 und der Flachbrunnen Flb. 32 liegen am südöstlichen Rand des Brunnenfelds und weisen bereits einen vergleichsweise hohen Wasserstand innerhalb des Brunnenfelds auf. Durch den großen Abstand der nächsten südlich bzw. östlich gelegenen Grundwassermessstellen ergeben sich hier Ungenauigkeiten durch das Interpolationsverfahren. Generell ist die Interpolation mittels Surfer im engeren Brunnenumfeld als schwierig zu bewerten, sodass eine manuelle Anpassung besseren Ergebnisse ergibt (s. Anlage 12.13.2.1.2a-neu). Die Wasserstände in den Flachbrunnen und deren Abweichungen zu den modellierten Grundwasserstände wurden bei der Kalibrierung des Grundwassersmodells nicht berücksichtigt, da es sich um Betriebswasserstände handelt, die vom Modell nicht abgebildet werden. Die Aufteilung der Brunnenentnahmeraten auf die Modelllayer sind der Anlage 12.13.2.2.4a-neu zu entnehmen.



Zur Verwendung der Messstellen für das weitere Monitoring während des Baus der Strecke ist eine erneute Einmessung der Messstellen und eine Funktionsprüfung vor Baubeginn vorgesehen. Für eine Kalibrierung an einem zweiten hydrogeologischen Zustand fehlte bisher die Kenntnis bzw. die Existenz eines solchen Zustandes. Am 17.04.2018 erfolgte eine neue Stichtagsmessung der Grundwassermessstellen mit abweichenden Fördermanagement der Trinkwasserbrunnen von ca. 330.000 m³ im Jahr. Andere geeignete Zustände, wie z. B. eine größere Grundwasserabsenkung durch eine Baumaßnahme, sind in diesem TGA nicht bekannt. In Ermangelung geeigneter Daten konnte daher keine zweite Modellkalibrierung durchgeführt werden, ist aber für das geplante Grundwassermonitoring (Anlage 12.6.11a-neu) vorgesehen.

3.4 Bilanzbildung

Eine Kontrolle der Strömungsverhältnisse stellt der Vergleich der eingegebenen Grundwasserentnahmeraten mit den abgepumpten Wassermengen der Berechnung dar. Für die gesamte Grundwasserentnahme durch alle Brunnen wird eine Rate von 752 m³/d berücksichtigt. Dies entspricht der berechneten ausströmenden Wassermenge im Grundwassermodell nach der Kalibrierung.

Eine ausgewogene Aufteilung in der Bilanzbildung auf Potenzialrandbedingung, Flussrandbedingung, Grundwasserneubildung und Brunnenentnahmen wird als sinnvoll erachtet und in Tabelle 3.4-1 aufgeführt.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1.286,1 m ³ /d / 55 %	1.498,9 m ³ /d / 64 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m ³ /d / 55 %	99,8 m ³ /d / 4 %
Brunnen	-	751,7 m ³ /d / 32 %
Gesamt	2.350,2 m ³ /d	2.350,4 m ³ /d

Tabelle 3.4-1: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Kalibrierung

Das in das Grundwassermodell einströmende Wasser wird durch die Vorgabe des Potenzials am nördlichen, östlichen und südlichen Modellrand dominiert. Über den Nordrand strömt ca. 63 % des Wassers in das System und über den nordöstlichen Rand noch weitere 14 %. Aufgrund des starken Gradienten an der Staustufe ist hier ein Zustrom des Mainwassers in das System durch die Umströmung der Staustufe von ca. 23 % zu verzeichnen. Über den südlichen Rand fließen 58 %



ab, südöstlichen/östlichen Rand 21 % und über den nordöstlichen Rand fließen weitere 21 % des ausströmenden Wassers ab. In Abbildung 3.4-1 sind Zu- und Abflüsse graphisch dargestellt.

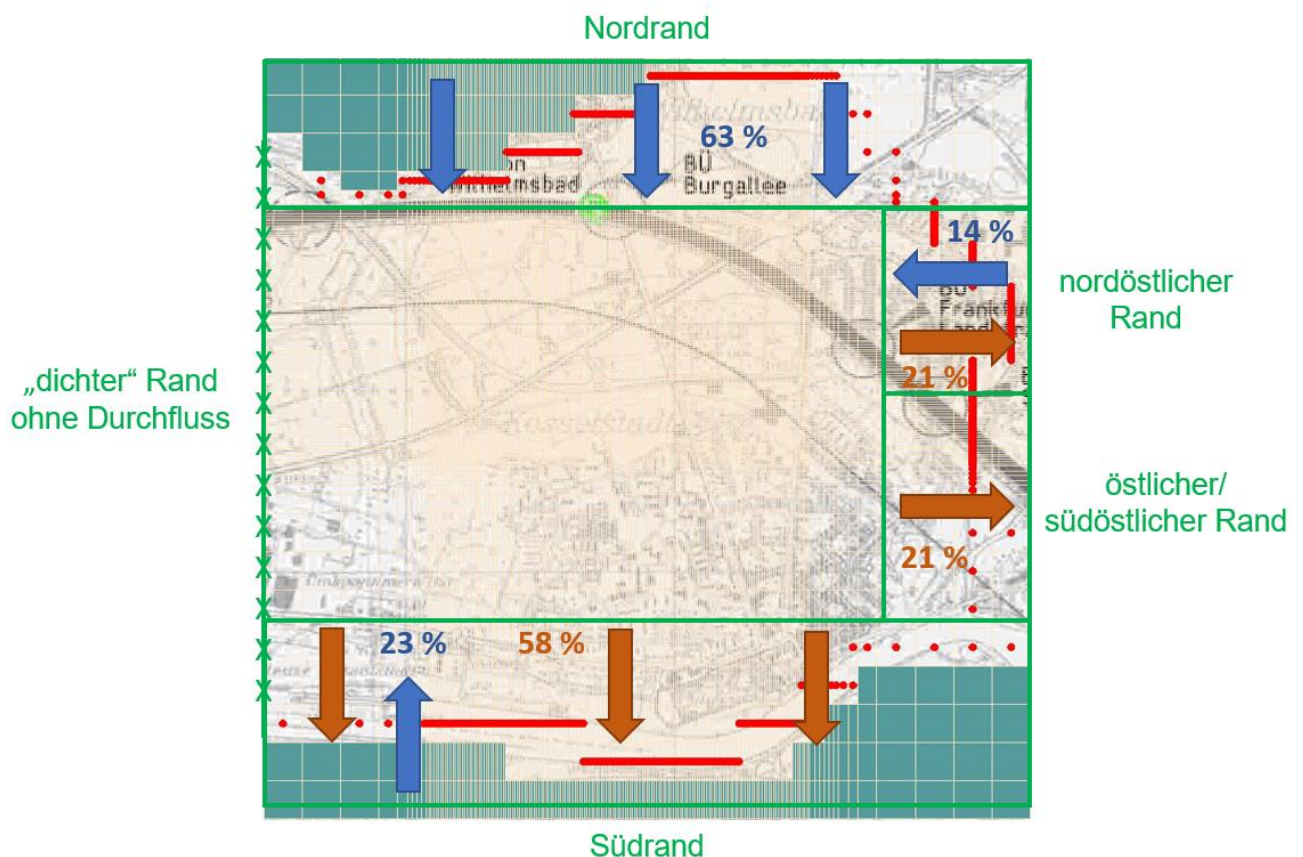


Abbildung 3.4-1: Darstellung der Zu- und Abflüsse der 3D-Grundwassermodellierung, Brunnenförderrate 274.000 m³ im Jahr

Durch den Vergleich der über den nördlichen Modellrand einströmenden Wassermengen kann die Plausibilität überprüft werden. Die einströmende Wassermenge wird aufgrund der Stauhaltung des Mains und sich infolgedessen ansteigenden hydraulischen Gradienten in zwei Gleichungen ermittelt:

$$Q = v * A = k * i * A = k * \frac{\Delta h}{\Delta l} * A$$

$$Q_1 = 6 * 10^{-4} \frac{m}{s} * \frac{101 m \text{ NHN} - 99,15 m \text{ NHN}}{2.345 m} * (6,5 m * 2.390 m)$$



$$Q_1 = 635,3 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_2 = 6 * 10^{-4} \frac{m}{s} * \frac{101 m \text{ NHN} - 97 m \text{ NHN}}{2.373 m} * (6,5 m * 510 m)$$

$$Q_2 = 289,7 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{gesamt} = 925,0 \frac{m^3}{d}$$

Über den nördlichen Modellrand kann ein Grundwasserzufluss von 925,0 m³/d nachgerechnet werden. Da Grundwasser nicht nur über den nördlichen Modellrand, sondern auch teilweise über den östlichen Modellrand einströmt, hier jedoch der anzusetzende Strömungsgradient stark variiert, kann dieser Grundwasserzufluss nicht exakt ermittelt werden und fehlt in der Bilanz der Plausibilitätsprüfung. Somit kann die über die Potenzialrandbedingung einströmende Wassermenge, die vom Programm mit 1.286 m³/d berechnet wird, als plausibel erachtet werden.

Eine Plausibilitätskontrolle der Grundwasserneubildung liefert mit dem Mittelwert aller aus dem Modell [U 12] kommenden Werte von 36 mm/a:

$$Q = v * A$$

$$Q = 36 \frac{mm}{a} * 7,5 km^2 = 740,2 m^3/d$$

Dies liegt gegenüber der aus der Bilanzbildung ausgelesenen Differenz aus ein- und ausströmender Wassermenge gemäß Tabelle 3.3.2-1 von 965 m³/d aus Grundwasserneubildung um 23 % niedriger. Der Unterschied wird durch die Diskretisierung in insgesamt 18 Zonen mit konstanter Grundwasserneubildungsrate im Modellgebiet erklärt, die eine etwas höhere Grundwasserneubildung erzeugt.

Die Potenzialrandbedingung sorgt dafür, dass das Wasser im Modellgebiet maßgeblich dem Main und der Kinzig als Vorfluter zuströmt. In vergleichbarer Größenordnung macht sich die Trinkwassernutzung durch das Brunnenfeld Wilhelmsbad bemerkbar, die 40 % des im Modellgebiet einströmenden Wassers aufnimmt. Die verbleibenden 5 % an negativer Grundwasserneubildung ergeben sich aus der negativen Grundwasserneubildungsrate (vgl. Kapitel 2.3.2) im Bereich der vorhandenen Gewässer und des Golfplatzes.



3.5 Strömungsverhältnisse im Umkreis des Brunnenfelds Wilhelmsbad

Das Brunnenfeld bezieht das Wasser aus einer Einzugsfläche, die von der Ausrichtung des Brunnenfelds von Südwest nach Nordost geprägt ist. Entsprechendes ist aus den Potenzialhöhenlinien der Brunnenfelds ersichtlich. Diese bilden um und im Brunnenfeld einen Absenkrichter mit der zuvor beschriebenen Orientierung des Brunnenfeldes. Die Strömung verläuft orthogonal zu den Potenziallinien (s. Anlage 12.13.2.1.1a-neu und Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu).

Des Weiteren ist aus dem Verlauf der Potenzialhöhenlinien (Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu) erkennbar, dass der Brunnenbetrieb eine Umkehrung des Strömungsfeldes im südlichen Modellierungsgebiets nach Norden bis etwa 1.500 m oberhalb des Mains im Bereich der Kesselstadt bewirkt. Im weiter angrenzenden Bereich herrscht eine nach Süden zum Main gerichtete Grundwasserströmung. In den westlichen und östlichen Randbereichen besitzt das Grundwasser eine vom Braubach zum Main gerichtete Strömung. Damit sorgt das Brunnenfeld nicht für eine großräumige Veränderung des generell von Nord nach Süd gerichteten Strömungsfelds. Aus dem Verlauf der Grundwassergleichen im südöstlichen Modellierungsgebiet ist zu entnehmen, dass auch die Kinzig neben dem Main als ein Vorfluter fungiert. Dagegen findet durch den Salisbach eine Infiltration in den Grundwasserkörper statt.

Durch Variationen der Durchlässigkeiten ist eine Veränderung des Strömungsfeldes in räumlich begrenzten Bereichen nicht auszuschließen. Aber gleichbleibend wird die primäre Grundwasserströmung mit einer nach Süden zum Main verlaufenden Richtung sein sowie eine Umkehrung der Strömung zum Brunnenfeld.

Bei einem Vergleich der konstruierten Grundwassergleichen mit den numerisch berechneten Grundwassergleichen erscheinen zuerst Unterschiede (Anlage 12.13.2.4.2a-neu). Es muss berücksichtigt werden, dass die Erstellung der Grundwassergleichen auf unterschiedliche Verfahren beruht. Die konstruierten Grundwassergleichen werden ohne Randbedingungen interpoliert, wodurch im Norden die Potenzialhöhenlinien größere Abstufungen und einen geringeren hydraulischen Gradienten bilden. Zudem wird für das Unterwasser des Mains der gemessene Flusspegel von 95,38 m NHN angesetzt. Dies ist infolge von Konvergenzproblemen im numerischen Modell nicht möglich. Hierdurch wird im konstruierten Gleichenplan im Südwesten des Modellierungsgebiets ein größerer Gradient erzeugt. Die dominierende Grundwasserfließrichtung ist von Nord nach Süd und der stark ausgebildete Absenkrichter wird ebenfalls erzeugt. Beim konstruierten Grundwassergleichenplan werden die Brunnenpegel bei der Interpolation mitberücksichtigt und führen



lokal zu ausgebildeten Absenkttrichter. Somit differenzieren sich die Grundwassergleichenpläne nur geringfügig in begrenzten Bereichen.

3.6 Erhöhung der Brunnenförderrate

Für das Wasserwerk Wilhelmsbad ist eine deutlich höhere als die aktuelle Brunnenförderrate von 274.000 m³ pro Jahr genehmigt. Eine rechnerische Erhöhung der Förderraten der Brunnen auf insgesamt 400.000 m³/a beinhaltet eine Erhöhung der Grundwasserströmung im Brunnumfeld, die bei einer Havarie entlang der Bahngleisen zu einer schnelleren Kontamination der Trinkwasserbrunnen führen könnte. Aus diesem Grund werden die sich hier verändernden Strömungsverhältnisse mit betrachtet. Für die nachfolgende Schadstoffsimulation wird eine Förderrate von 400.000 m³/a als Referenz verwendet. Die Unterschiede zum aktuellen Zustand mit einer Gesamtfördermenge von 274.000 m³/a werden nachfolgend dargestellt.

Das zuvor beschriebene Strömungsmodell mit seinen Randbedingungen bleibt bestehen. Es erfolgt ausschließlich eine Erhöhung der Brunnenförderrate von 274.000 m³ pro Jahr auf 400.000 m³ pro Jahr. Zur Umrechnung der Förderrate auf die einzelnen Brunnen wird der von den Wasserwerken Wilhelmsbad zur Verfügung gestellte Förderschlüssel angewandt. Die sich daraus ergebenden Förderraten der einzelnen Brunnen sind Anlage 12.13.2.2.3a-neu zu entnehmen.

Im Gegensatz zum ursprünglichen Strömungsmodell ist eine Validierung der kalkulierten Grundwassergleichen bei erhöhter Förderrate hinsichtlich ihrer Abweichung zum gemessenen Grundwasserstand nicht möglich, da eine entsprechende Situation mit der Fördermenge von 400.000 m³ im Jahr im Wasserwerk „Hanau-Wilhelmsbad“ noch nicht bei Erstellung des 3D-Grundwassermodells im Jahr 2015 vorlag. Das Wasserwerk „Hanau-Wilhelmsbad“ fördert inzwischen höhere Wassermengen. Im Zuge des Grundwassermonitorings können hydraulische Situationen bei hohen Brunnenförderraten erfasst werden. Die neu gewonnen Kenntnisse werden zusammen mit den Erkenntnissen aus den geplanten Grundwassermonitoring in das Modell eingearbeitet und dienen einer weiteren Kalibrierung des Modells.

3.6.1 Strömungsverhältnisse im Umkreis des Brunnenfelds Wilhelmsbad

Bedingt durch die Erhöhung der Brunnenförderrate verändert sich die Grundwasserströmung im Modell (Anlage 12.13.2.4.3.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.3.6a-neu). Aufgrund der relativen Nähe



des Brunnenfeldes zu der vorgegebenen Potenzialhöhe des Braubachs sind im nördlichen Modellierungsgebiets nur geringe Differenzen zwischen den Potenzialhöhenlinien bei unterschiedlichen Förderraten festzustellen. Dagegen ändert sich der Verlauf der Grundwassergleichen im Brunnenumfeld sowie im südlichen Modellierungsgebiet. Die Potenzialhöhenlinien bilden im Brunnenumfeld einen größeren Gradienten aus und infolge dessen einen stärkeren Absenkungstrichter. Dies verursacht einen abflachenden Verlauf der Potenzialhöhenlinien im südlichen Modellierungsgebiet. Die Anlage 12.13.2.4.4a-neu enthält den Vergleich der berechneten Grundwassergleichen mit aktueller Förderrate und maximaler Förderrate.

Eine weitere Veränderung der Strömungsverhältnisse zeichnet sich durch eine lange Umkehrung des Strömungsfeldes aus. Erst etwa 750 m oberhalb des Mains findet eine Strömung des Strömungsfeldes zum Main hin statt.

3.6.2 Bilanzbildung

Eine Kontrolle der Strömungsverhältnisse stellt der Vergleich der veränderten eingegebenen Grundwasserentnahmeraten mit den abgepumpten Wassermengen der Berechnung dar. Für die gesamte Grundwasserentnahme durch alle Brunnen wird eine Rate von 1.095,9 m³/d berücksichtigt. Dies entspricht der berechneten ausströmenden Wassermenge im Grundwassermodell (Tabelle 3.6.1-1).

Die nachfolgende Tabelle 3.6.1-1 beinhaltet die veränderte Massenbilanz des Grundwassermodells verursacht durch die Erhöhung der Brunnenentnahmerate.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1.481,7 m ³ /d / 49 %	1.351,7 m ³ /d / 43 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m ³ /d / 51 %	98,4 m ³ /d / 5 %
Brunnen	-	1.095,9 m ³ /d / 52 %
Gesamt	2.545,9 m ³ /d	2.546,0 m ³ /d

Tabelle 3.6.2-1: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Kalibrierung

Zunächst einmal ist festzustellen, dass die Steigerung der Fördermenge von 274.000 m³/a auf 400.000 m³/a einer Steigerung um 46% entspricht. Der Zufluss über den nördlichen Potenzialrand ist um 16 % auf 1.481,7 m³/d gestiegen. Dies resultiert aus den größeren hydraulischen Gradienten-



ten im Brunnenfeld. Durch den neuen Verlauf der Potenzialhöhenlinien steigt ebenfalls geringfügig der Zufluss aus der Randbedingung. Die Grundwasserneubildung ist unabhängig von hydrogeologischen Verhältnissen und dem Brunnenbetrieb. Daher bleiben diese Werte konstant. Des Weiteren kann der Massenbilanz entnommen werden, dass über die Potenzialränder, dem Main und der Kinzig, weniger abfließt, basierend auf den schwächeren hydraulischen Gradienten und der größeren Förderrate. Der größte Anteil muss also über die anderen Modellränder, insbesondere den südlichen Modellrand des Mains zuströmen bzw. die Modellränder müssen einen geringeren Abfluss aufweisen, dies ist auch plausibel.

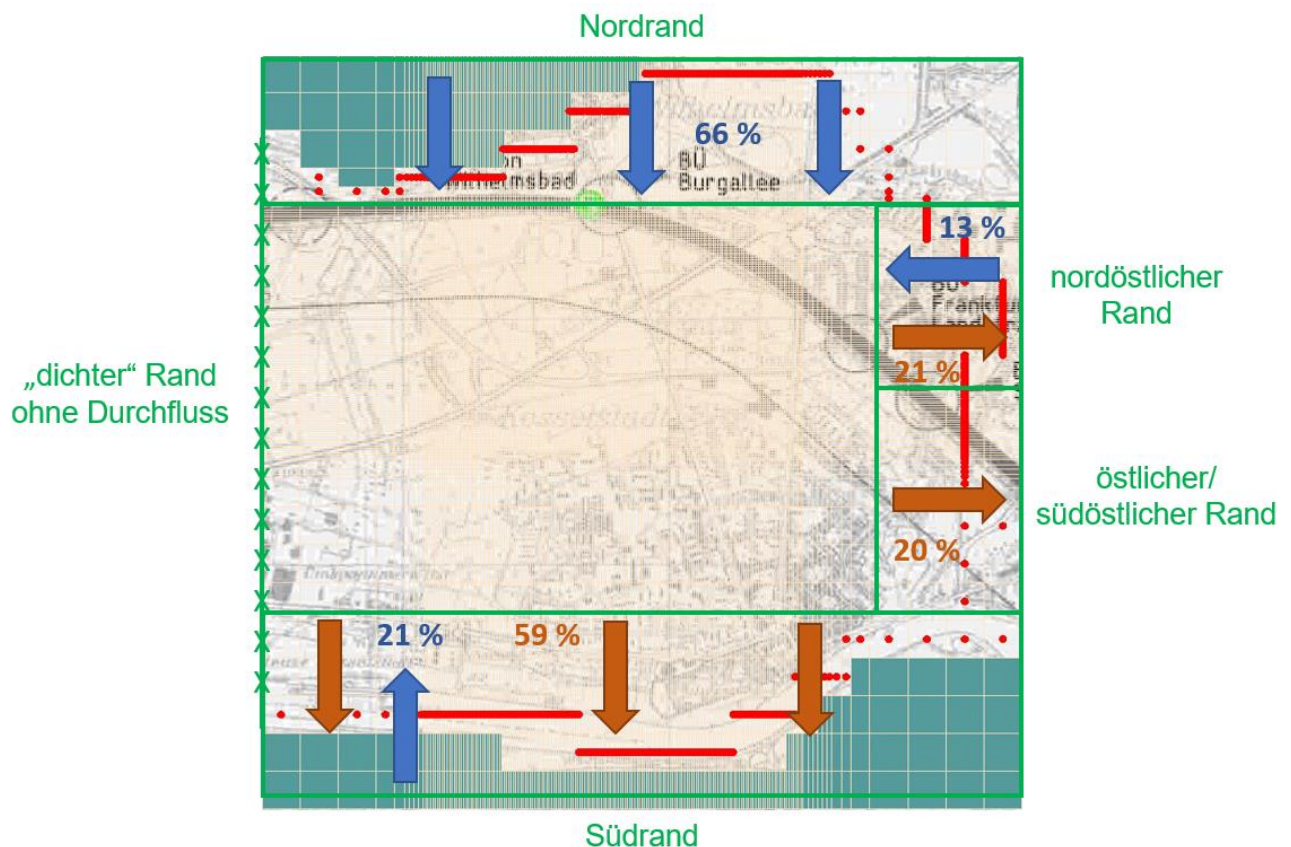


Abbildung 3.6.2-1: Darstellung der Zu- und Abflüsse der 3D-Grundwassermodellierung, Brunnenförderrate 400.000 m³ im Jahr

Bei einer solchen Steigerung der Förderrate verändert sich das Grundwassergleichgewicht eindeutig. Es muss Wasser auch aus den Randbereichen herangezogen werden. Insoweit ist eine Steigerung des Zuflusses über den nördlichen Rand anzunehmen. Auch wenn unterstellt würde, dass mit dem Modell ein zu großer Zufluss über den nördlichen Rand prognostiziert wird, würde sich daraus ergeben, dass die Verschleppung des Schadstoffs durch zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten überschätzt und die mit den Abwehrbrunnen zu fördernde Wassermenge aufgrund der zu großen



Zuströmung ebenfalls überschätzt würde. Die Berechnung liegt somit hinsichtlich der Schadstoffsanierung auf der sicheren Seite, wird aber über das geplante Grundwassermonitoring weiter validiert und ggf. angepasst.

3.7 Stichtagsmessung 17.04.2018

Aufgrund einer erhöhten Förderraten des Wasserwerks „Hanau-Wilhelmsbad“ im Jahr 2017 empfahl die OWB eine Stichtagsmessung an den vorhandenen Grundwassermessstellen auszuführen und auszuwerten. Die Stichtagsmessung erfolgte am 17.04.2018 durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH. In der Anlage 12.13.2.1.3a-neu sind die Ergebnisse der Stichtagsmessung tabellarisch zusammengefasst und eine grafische Aufbereitung durch eine Interpolation der Ergebnisse mit Surfer 15 erfolgte in Anlage 12.13.2.1.4a-neu. Der Verlauf der rechnerisch ermittelten Grundwassergleichen wurde insbesondere am westlichen Rand des Untersuchungsgebiets manuell angepasst.

Gemäß dem Onlineportal des HLUNG ([U 19]) wies die Kinzig im Bereich der Mündung-Hanau einen mittleren Pegel von 99,14 m NHN auf. Dieser Pegel wird für den Main bis zur Staustufe als konstant angenommen. Gemäß dem Landesgrundwasserdienst des HLNUG besitzt das Unterwasser der Staustufe einen Pegel von 96,6 m NHN bei Normalstau.

Im südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets verlaufen die Grundwassergleichen 99,25 m NHN und 99,50 m NHN parallel zum Main. Nach Norden zum Brunnenfeld des WW „Hanau-Wilhelmsbad“ wird die Grundwassergleiche 99,75 m NHN bereits in das Brunnenfeld gezogen. Im nordöstlichen Gebiet wird durch die Trinkwasserförderung ein Absenkrichter abgebildet. Da im südlichen Bereich des Brunnenfeldes die Brunnen Flb 19, Flb 20, Flb 29 und Flb 32 nicht in Betrieb waren zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung, sind hier auch folglich nur geringere Grundwasserabsenkungen zu beobachten.

Die Grundwassergleichen zeigen generell eine Beeinflussung durch das Brunnenfeld und die Grundwasserfließrichtung ist im Nahbereich des Brunnenfeldes zum Brunnenfeld gerichtet. Am östlichen Rand ist ein gleichmäßiger Verlauf der Grundwassergleichen zu beobachten, die nach Süden zu den Vorflutern abnehmen. Wie bereits erwähnt, wurde das Auslaufen der Grundwassergleichen am westlichen Rand manuell korrigiert, sodass diese ebenfalls parallel zur Vorflut verlaufen.



Die Stichtagsmessung vom 17.04.2018 weist an allen Messstellen höhere Grundwasserstände auf als die vom 11.08.2015 (vgl. 12.13.2.1.3a-neu), wodurch ein geringerer Absenktrichter trotz höherer Brunnenförderraten abgezeichnet wird und andererseits bei den berechneten Grundwasserständen sich generell niedrige Potenziale ergeben. Im Vergleich beider Stichtagsmessungen aus den Jahren 2015 und 2018 ist tendenziell ein ähnlicher Verlauf der Grundwassergleichen zu erkennen. Im Süden, Westen und Osten verlaufen die Grundwassergleichen parallel zum Vorfluter Main. Bei der Stichtagsmessung im Jahr 2015 ist der Abstand zwischen der Isolinie 99,75 m NHN und 99,5 m NHN am westlichen Rand vergleichsweise groß. Dies ist jedoch auf die geringeren Grundwasserstände zurückzuführen. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass derzeit am westlichen Rand nur eine geringe Messstellendichte vorliegt, die eine genauere Darstellung der Grundwassersituation nicht zulässt. Durch neu errichtete Grundwassermessstellen und ergänzenden Messstellen im westlichen Randbereich wird die dortige hydraulische Situation mit erfasst und kann zukünftig nachgebildet werden.

Ebenfalls zeigt die grafische Aufbereitung der Stichtagsmessung aus 2018 eine vergleichbare hydraulische Situation wie bei einer höheren modellierten Förderrate von 400.000 m³/a (Anlage 12.13.2.4.3a-neu), da der Verlauf der Grundwassergleichen und somit das Fließverhalten des Grundwassers sich ähnlich verhalten. Da der Modellierung für die hydraulische Situation mit einer Förderrate von 400.000 m³ im Jahr die Stichtagsmessung aus 2015 mit geringeren Grundwasserständen zugrunde liegt, ergeben sich dementsprechend Grundwassergleichen mit niedrigeren Potenzialen und einen weitreichenderen Absenktrichter als bei der Stichtagsmessung 2018.

Eine Gegenüberstellung der modellierten hydraulischen Situation mit einer Förderrate von 500.000 m³/a zu der Stichtagsmessung im Jahr 2018 zeigt in gleicher Weise bis auf den südlichen Bereich weiterhin eine ähnliche hydraulische Situation. Im Norden weisen die Grundwassergleichen eine abnehmende Tendenz zum Brunnenfeld auf. Östlich und westlich des Brunnenfeldes zeigen die Grundwassergleichen ein unbeeinflusstes Verhalten von dem Brunnenbetrieb und verlaufen parallel zum Vorfluter. Nur die Grundwassergleichen im Süden werden durch die erhöhte Förderrate bereits bis zum Brunnenfeld gezogen und verlaufen nicht parallel zum Main.

Die Stadtwerke Hanau teilten mit, dass die Gesamt-Förderung der Brunnen zum Zeitpunkt der Stichtagsmessung im Jahr 2018 75 m³/h betrug. Dies ist jedoch nur ein temporärer Wert. Je nach Wasserbedarf schwankt die Förderung zwischen 55 m³/h und 75 m³/h und zwischen einer Laufzeit von 16-18 Stunden am Tag. Da die Brunnen im Intervall betrieben werden, beläuft sich die gesamte Fördermenge des Tages also auf eine wesentliche geringere Fördermenge. Im Jahr 2017 wurde eine Gesamtförderung von 327.730 m³ im Jahr erzielt.



Ein Vergleich der Stichtagsmessungen und der berechneten Grundwasserstände zeigen, dass keine Auffälligkeiten im Verlauf der Grundwassergleichen bzw. der hydraulischen Situation vorliegen. Durch die neu zu errichtenden Messstellen werden neue Informationen, besonders in den Randbereichen des Modells, über das Grundwasser gewonnen.

3.8 Baugrube EÜ Burgallee

Der derzeit bestehende Bahnübergang (BÜ) Burgallee soll nach vor dem Bau der NMS durch eine EÜ Burgallee mit Unterführung der Straße in einem Trogbauwerk ersetzt werden. (siehe [U 16]). Für die NMS ist daher der Zustand nach Errichtung der EÜ Burgallee zu berücksichtigen. Nach temporärer Abkopplung des Brunnens W 26 von der Trinkwassergewinnung (temporär für die Bauzeit der EÜ) werden wasserundurchlässige Baugrubenumschließungen in den Baugrund eingebracht, um einen Aushub innerhalb der Baugrube vornehmen zu können. Die Baugrubenumschließung verbleibt dauerhaft im Grundwasserleiter und wird nur oberflächennah zurückgebaut. Für die Modellierung der Baugrubenwandung wurde der Grundriss der Baugrube gemäß [U 16] herangezogen. Danach besitzt die Baugrube in Nordnordwest-Südsüdostrichtung ihre größte Ausdehnung mit einer Länge von ca. 145 m. Orthogonal dazu besitzt die Baugrube eine maximale Breite von ca. 50 m. Als Verbauwandart zur Erstellung der Baugrube soll eine Spundwand zur Ausführung kommen. Zur Abschätzung der Tiefe der Verbauwand wurde eine Vorbemessung durchgeführt. Mit einem geringfügigen Sicherheitszuschlag ergibt sich eine ungefähre Tiefe der Verbauwand von 12 m unter GOF. Die Verbauwand bindet damit in die unterlagernden tertiären Pliozän- und Vulkanitschichten ein. Aufgrund der geringen Durchlässigkeit der unterlagernden Schichten ist von einer vorwiegenden Umströmung der Baugrube auszugehen. Grundsätzlich liegt die geplante Baugrube EÜ Burgallee günstig zur Grundwasseranströmung, da die Ausdehnung quer zur nord-süd-ausgerichteten Grundwasserströmung nur maximal ca. 50 m beträgt, während die Baugrubenwandung in Nordnordwest-Südsüdostrichtung eine Länge von ca. 145 m aufweist.

Die Verbauwand wird im Grundwassermodell durch eine horizontale Fließbarriere (HFB), die bis in die tertiäre Schicht hineinreicht, nachgebildet. Aufgrund dessen dass die horizontale Fließbarriere durch Polylinien aber nicht durch Polygone gebildet wird, erfolgt die Nachbildung des Baugrubenverbauwerks über 2 Linien, deren Endpunkte die gleichen Koordinaten besitzen. Hierdurch wird eine geschlossene Baugrube wiedergegeben. Für die horizontale Barriere ist eine Durchlässigkeit von 10^{-14} m/s und eine Wanddicke von 0,3 m eingegeben. Die Darstellung der Baugrube wird in einem rechteckförmigen Raster erzeugt. Die Baugrube besitzt in Modflow eine Länge von ca. 155 m und eine maximale Breite von ca. 60 m.



Bei der Anwendung des HFB-Moduls ist zu berücksichtigen, dass das Programm, trotz der Fließbarriere, bei den Transportberechnungen einen Schadstofftransport über die Barriere hinweg modelliert. Aufgrund des starken Konzentrationsgradient zwischen den benachbarten Zellen beidseitig der Barriere kommt es zu einer „überschätzten“ Dispersion, die einen Schadstofftransport über die Barriere ermöglicht. Dieser Prozess ist bei dem Abschnitt 7 zu beobachten, aber rein numerischer Natur und ist für die Beurteilung der Schadstoffausbreitung nicht relevant.

4. TRANSPORTMODELLIERUNG

Mittels einer Transportmodellierung soll der Einfluss von potentiellen Havariefällen in dem Streckenabschnitt von km 67,091 bis 68,080 auf die anliegenden Trinkwasserbrunnen in Hanau-Wilhelmsbad bewertet werden. Besonders soll ein Schadstofftransport während einer Fließzeit von 50 Tagen von den Bahngleisen ausgehend untersucht werden, um eine Gefährdung des Grundwassers durch einen schädlichen Stoffen bewerten zu können. Darüber hinaus werden Langzeitfolgen bis zu einer Dauer von 5 Jahren berechnet.

4.1 Theoretischer Hintergrund

Basierend auf dem stationären Strömungsmodell erfolgt die Transportmodellierung mittels dem in *Visual Modflow Flex* implementierten Programm MT3DMS. Der Transport und das Verhalten von Stoffen in einem dreidimensionalen, instationären Strömungsmodell kann mit folgender partiellen Differenzialgleichung beschrieben werden:

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right)}_{\text{Dispersion}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_{ij} C^k)}_{\text{Advektion}} + \underbrace{q_s C_s^k}_{\text{Senk- / Quellterm}} + \underbrace{\sum R_n}_{\text{Reaktions-term}}$$

C^k	gelöste Konzentration eines Stoffs [g/m ³]
θ	Porosität des Untergrunds
t	Zeit
x_i	Distanz entlang der x-Achse [m]
D_{ij}	hydrodynamische Dispersion [m ² /s]
v_{ij}	Filtergeschwindigkeit [m/s]
q_s	Volumenstrom pro Volumeneinheit (repräsentiert Senke oder Quelle)
C_s^k	Stoffkonzentration des Senk- oder Quellterms [g/m ³]



ΣR_n chemischer Reaktionsterm [$g/(m^3 \cdot s)$]

Die Advektion stellt den Stofftransport entlang von Bahnlinien dar und benötigt zum Berechnen der Transportgeschwindigkeit die Filtergeschwindigkeit aus dem zuvor erstellten Strömungsmodell. Somit bildet die Advektion die Schnittstelle zwischen dem Strömungs- und Transportmodell. Aufgrund von Geschwindigkeitsverteilungen innerhalb der Poren kommt es zu einer Aufweitung der Stofffront. Dieser Vorgang wird als Dispersion bezeichnet. Die Diffusion wird bei dieser Transportmodellierung nicht berücksichtigt, da dieser Prozess von der Dispersion überlagert wird und nur bei Stofftransporten mit einer sehr geringen Advektion, wie bei geologische Barrieren, Einfluss nehmen. Analog zum Senk- / Quellterm bei der Strömungsmodellierung werden bei der Transportmodellierung Vorgänge bezeichnet, die dem System einen Stoff zufügt oder entzieht. Mittels des Reaktionsterms sind chemische Abbau- und Zerfallsreaktionen simulierbar.

4.2 Randbedingungen

Für die Transportmodellierungen dienen die zuvor erstellten Strömungsmodelle als Grundlagen. Es werden keine Randbedingungen geändert. Die bereits erläuterten Strömungsverhältnisse für unterschiedliche Förderraten bleiben somit während der Transportmodellierung bestehen. Lediglich für die Eintragung des Schadstoffs muss ein Zufluss auf der Geländeoberfläche an den Gleisen dem System zugegeben werden. In der Simulation wird dabei von einem Schadstoffeintrag über einen Tag ausgegangen.

Für die durchzuführende Transportmodellierung empfiehlt sich die Wahl eines konservativen Stoffes. Ein konservativer Stoff geht im Grundwasserkörper keine chemischen und mikrobiologischen Abbaureaktionen ein. Darüber hinaus erfolgt keine Adsorption des Stoffs an der Gesteinsmatrix. Somit beruht die Transportmodellierung, die den Zeitpunkt der Erst-Kontamination der Trinkwasserbrunnen des Wasserwerks Wilhelmsbad nachweisen soll, allein auf Advektions- und Dispersionsprozesse.

Für die Dispersion rechnet *Visual Modflow Flex*, aufgrund von der Anisotropie in porösen Medien, mit einem Verhältnis der horizontalen zur longitudinalen Dispersivität von 0,1 und der vertikalen zur longitudinalen Dispersivität von 0,01. Die Advektion basiert auf dem zuvor erläuterten Strömungsmodell.



Als einzuleitenden Stoff wird eine Natriumchlorid (NaCl)-Lösung gewählt, da dieser als konservativ gilt und häufig für Markierungsversuche im Grundwasser eingesetzt wird. Aufgrund der guten Löslichkeit von NaCl enthält die Stofflösung eine Eintrags-Konzentration von 300 g/l. Simuliert wird der Eintrag von NaCl-Lösung, der einen Schadstoff nachstellt, über die Geländeoberfläche an den Bahngleisen nördlich der Förderbrunnen. Die Eintragung des Schadstoffs erfolgt zum einen entlang der Bahngleise auf einem Streckenabschnitt von 610 m (WSG II) und zum anderen auf Streckenabschnitten von jeweils 100 m (WSG IIIA), dies entspricht etwa 11 bis 12 Zellen der Modellierung. Der Schadstoffeintrag erfolgt über die Zellen mit einer Zuflussrate von $87,8 \text{ m}^3/(\text{d} \cdot \text{Zelle})$. Auf einem Streckenabschnitt von etwa 100 m passen auf zwei Gleise ca. 16 Kesselwagen unter der Annahme von 4-achsigen Kesselwaggons mit 60 m^3 Fassungsvermögen. Die eingetragenen Stoffmengen entsprechen 18 Kesselwagen auf 100 m. Bei der Schadstoffmodellierung findet dementsprechend ein Stoffeintrag statt, der einem extremen Haveriefall mit zwei Zügen, auf zwei benachbarten Gleisen, die gleichzeitig verunglücken und vollständig auslaufen, entspricht. Der Eintrag des Schadstoffs findet über einen Tag statt. Es werden zwei Systeme berechnet. Zum einen die Schadstoffausbreitung mit der Grundwasserströmung unter Berücksichtigung der aktuellen Förderrate der Brunnen von $274.000 \text{ m}^3/\text{a}$ (Anlage 12.13.2.6.1a-neu) und zum anderen die Schadstoffausbreitung bei einer auf die derzeit genehmigte maximale Förderrate von $400.000 \text{ m}^3/\text{a}$ gesteigerten Förderung (Anlage 12.13.2.6.2a-neu) und damit erhöhten Grundwasserströmung.

Es wurde die Zugabe des Schadstoffs in der obersten Bodenschicht (Elementlage), die Versickerung durch die ungesättigte Bodenzone und der Transport mit dem Grundwasserstrom über 50 Tage modelliert. Bei der Modellierung eines Schadstoffeintrags in die eine elementlagehohe bindige Decksicht besteht im nächsten Zeitschritt der unmittelbare Eintrag des Schadstoffs in die gut durchlässigen Sande und Kiese (GW-Leiter). Unter den neu zu errichtenden Eisenbahngleisen wird im Zuge des Neubaus eine teilweise vorhandene, schützende, aber gering tragfähige Deckschicht (Auelehm) ausgebaut und durch eine technische Barriere (Tondichtung) ersetzt. Die verwendete Modellierung geht dabei davon aus, dass die technische Barriere im 1. Zeitschritt mit einem Schadstoff verunreinigt wird und im nächsten Zeitschritt der Schadstoff unmittelbar in die Sande und Kiese abgegeben wird, somit ein Versagen der technischen Barriere eintritt. Eine Rückhaltung durch eine schützende Deckschicht im Bereich des Schadstoffeintrags wird somit **nicht** simuliert.

Es ist natürlich nicht davon auszugehen, dass gleichzeitig entlang des gesamten Streckenabschnitts ein Schadstoff eingetragen wird, so dass bei einem realen Havariezenario nicht alle Brunnen gleichzeitig betroffen sind. Die Berechnung dient lediglich der Darstellung der maximalen Schadstoffausbreitung und der Feststellung welche Brunnen betroffen sein könnten.



4.3 Schadstoffausbreitung bei Förderraten von 274.000 m³ pro Jahr im WSG II

Zu Beginn der Transportmodellierung wird ein Havarieszenario bei der aktuellen Förderrate von 274.000 m³ pro Jahr modelliert. Der Beginn des Schadstoffeintrags wird als Zeitpunkt Null definiert. Bereits nach einem Tag ist ein Teil des Schadstoffs in den für die Wasserwerke wesentlichen Grundwasserleiter der Mainterrasse infiltriert (Anlage 12.13.2.6.1.1a-neu), aber ein Eintreffen des Schadstoff in den Brunnen findet nicht sofort statt. Der ungleichmäßige Verlauf der Schadstofffahne ist auf die unterschiedlichen Mächtigkeiten der Deckschicht zurückzuführen, wodurch die Versickerung beeinflusst wird. Diese ist im westlichen Bereich der Schadstofffahne im Mittel 1,7 m mächtig und steigt im Mittel auf 2,5 m im östlichen Fahnenbereich an. Darüber hinaus beeinflussen die unterschiedlichen Förderraten der anliegenden Brunnen 7, 9, 26, 33, 34 und 35 den Schadstofftransport. Infolge der großen Aufbringung von Wasser auf die Bahngleise über einen Tag kommt es zu einer schnellen Versickerung bzw. Infiltration des gelösten Schadstoffs durch die Deckschicht in den Hauptgrundwasserleiter.

Nach 5 Tagen sind die Flachbrunnen 33 und 9 von dem Schadstoff betroffen. Der Brunnen 34 ist einen Tag später, Tag 5, kontaminiert. Der Anlage 12.13.2.6.1.2a-neu kann entnommen werden, dass nach 10 Tagen keine weiteren Brunnen kontaminiert sind. Erst 10 Tage später hat sich die Schadstofffahne soweit ausgebreitet, dass sie im Einzugsgebiet des Brunnen 26 vorzufinden ist (Anlage 12.13.2.6.1.3a-neu). Der Brunnen 35 besitzt mit 57,45 m³/d die höchste Entnahmerate. Daher erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 35 20 Tage eher als den Brunnen 7 bei annähernd gleicher Entfernung zu den Gleisen, da im Umfeld von Brunnen 35 stärkere Grundwasserströmungen vorherrschen (Anlage 12.13.2.6.1.4a-neu bis Anlage 12.13.2.6.1.6a-neu).

Aus der Transportmodellierung wird deutlich, dass bei einer Havarie auf dem Streckenabschnitt von km 67,091 bis 68,080 Grundwasser kontaminiert und bei einer Fließzeit von 50-Tagen die anliegenden Brunnen 7, 9, 26, 33, 34 und 35 im Wasserschutzgebiet II betroffen sind.

4.4 Schadstoffausbreitung bei Förderraten von 400.000 m³ pro Jahr im WSG II

Im Vergleich zu der Schadstoffausbreitung bei einer Brunnenförderrate von 274.000 m³ pro Jahr wird im Modell die Förderrate um 126.000 m³ pro Jahr erhöht. Der Zufluss des gelösten Stoffs erfolgt mit gleichbleibender Konzentration und über die gleiche Fläche mit 1,7 m³ pro Quadratmeter pro Tag.



Angesichts der erhöhten Förderrate verkürzen sich die Fließzeiten und in den an den Bahngleisen naheliegenden Brunnen ist der Schadstoff früher nachweisbar sein. Bereits nach vier Tagen erreicht die Schadstofffahne die Brunnen 9, 33 und 34. Ebenfalls ist in den Brunnen 26, 35 und 7 ein frühzeitiger Eintritt des Schadstoffs von bis zu 20 Tagen zu beobachten (Anlage 12.13.2.6.2.1a-neu bis Anlage 12.13.2.6.2.7a-neu). Die Tabelle 4.4-1 fasst die Ergebnisse der Eintrittszeiten des Schadstoffs in den Brunnen vergleichend mit den variierenden Förderraten zusammen.

Brunnen	Szenario 1 Trinkwassergewinnung bei 274.000 m³/a		Szenario 2 Trinkwassergewinnung bei 400.000 m³/a	
	Förderrate [m³/d]	Eintrittszeit [d]	Förderrate [m³/d]	Eintrittszeit [d]
7	18,12	50	26,41	30
9	17,68	5	25,75	4
26	33,14	20	48,33	11
33	44,19	5	64,44	4
34	33,14	6	48,33	4
35	57,45	30	83,73	20

Tabelle 4.4-1: Eintrittszeiten des Schadstoffs in den Trinkwasserbrunnen in Abhängigkeit zu den Förderraten

Besonders gefährdet sind in beiden Fällen die Brunnen 9, 33 und 34. Hier beträgt die Fließzeit von den Gleisen bis zu den Brunnen nur 4 bis 6 Tage.

5. AUSBREITUNG DER SCHADSTOFFFAHNE UND ABWEHRMAßNAHMEN

Für die weiteren Transportmodellierungen zur Ermittlung der Schadstoffausbreitung wird eine Entnahmerate von **400.000 m³ pro Jahr** angenommen. Des Weiteren werden diverse Havarien zur Schadstoffausbreitung entlang der Strecke im WSG II und III modelliert. Hierbei variieren lediglich die Standorte entlang der Strecke zur Eintragung des Schadstoffs. Aus dem berechneten Verlauf der Schadstofffahne innerhalb eines Zeitraums von 5 Jahren soll ermittelt werden, welche Brunnen in Abhängigkeit vom Eintragungsort gefährdet sind und welche Maßnahmen notwendig sind, um die Kontamination anderer Brunnen zu verhindern. Werden weitere Förderbrunnen durch die Schadstofffahne kontaminiert, so sind zusätzliche Abwehrbrunnen erforderlich. Diese werden dort errichtet, wo die Schadstofffront nach 30 Tagen vorzufinden ist. Neben einer Schadstoffeintragung



entlang der gesamten Strecke im Wasserschutzgebiet 2 wird diese in Abschnitte unterteilt. Der Schadstoffeintrag im Wasserschutzgebiet 3 wird ebenfalls über Abschnitte (s. Anlage 12.13.2.5a-neu) abgebildet.

5.1 Schadstoffausbreitung und Abwehr entlang der Strecke im WSG II

Zunächst wird der Verlauf der Schadstoffausbreitung gem. Kap. 4.4 für einen Zeitraum von 5 Jahren weiter modelliert, um festzustellen welche Brunnen neben den Brunnen 7, 9, 26, 33, 34 und 35 gefährdet sind. Nach etwa 6 Monaten erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 18. Eine Kontamination des Brunnens 21 ist nach etwa 10 Monaten festzustellen. Nach 2 Jahre ist die Schadstofffront über den Brunnen 21 hinaus geströmt und gefährdet ebenfalls den Brunnen 23. Die Schadstoffausbreitung nach 5 Jahren kann der Anlage 12.13.2.6.2.7a-neu entnommen werden.

Um die Schadstofffahne lokal einzugrenzen, ist es nicht ausreichend nur die Förderleistungen der Brunnen 7, 9, 26, 33, 34 und 35 zu erhöhen. Zur Eingrenzung der Schadstofffahne werden vierzusätzliche Abwehrbrunnen benötigt:

- Abwehrbrunnen 1: im Unterstrom von Brunnen 26 und 33,
- Abwehrbrunnen 2: westlich von Brunnen 35
- Abwehrbrunnen 3: südwestlich im Unterstrom von 7
- Abwehrbrunnen 4: südöstlich im Unterstrom von Brunnen 7,

Die nachfolgende Tabelle 5.1.1-1 fasst die erhöhten Förderleistungen sowie die Förderleistungen der Abwehrbrunnen zusammen.

Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m³/d]	erhöhte Förderrate [m³/d]
7	26,41	40
9	25,75	40
26	48,33	60
33	64,44	75
34	48,33	60
35	83,73	-
Abwehrbrunnen 1	-	50
Abwehrbrunnen 2	-	50



Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m³/d]	erhöhte Förderrate [m³/d]
Abwehrbrunnen 3	-	60
Abwehrbrunnen 4	-	50

Tabelle 5.1.1-1: Förderleistungen der Brunnen zur Einhaltung der Schadstoffausbreitung

Durch die in Tabelle 5.1.1-1 erläuterten Abwehrmaßnahmen kann eine Ausbreitung des Schadstoffs verhindert werden (Anlage 12.13.2.6.2.8a-neu - Anlage 12.13.2.6.2.15a-neu). Zugleich erfolgt eine Sanierung des Grundwasserleiters. Nach 5 Jahren sind nur noch sehr schwache Kontaminationen zu beobachten.

Bei Inbetriebnahme der Abwehrbrunnen wird die Grundwasserhydraulik im System beeinflusst. Daraus ergeben sich Veränderungen in der Grundwasserfließrichtung bzw. den Grundwassergleichungen. Die Grundwassergleichungen, unter Einbezug der Abwehrbrunnen, sind der Anlage 12.13.2.9.17a-neu zu entnehmen. Des Weiteren wird in Anlage 12.13.2.10.17a-neu die zusätzliche absolute Grundwasserabsenkung aus den zusätzlich betriebenen Brunnen dargestellt. Hierzu werden den Grundwassergleichungen gem. Anlage 12.13.2.9.17a-neu, die die Situation während der Schadstoffsanierung darstellen, die Grundwassergleichungen bei der Förderrate von 400.000 m³ im Jahr (Anlage 12.13.2.4.3.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.3.6a-neu) abgezogen. Daraus resultiert die zusätzliche Grundwasserabsenkung im Vergleich zu der Förderrate von 400.000 m³ im Jahr.

Die zusätzlichen Förderraten der Abwehrbrunnen entlang der Strecke wirken sich durch eine Absenkung der Grundwasserstände im Modellsystem aus. Jedoch ist den Anlage 12.13.2.9.17a-neu und 12.13.2.10.17a-neu zu entnehmen, dass die Auswirkungen der zusätzlichen Abwehrmaßnahmen lokal auf das Brunnenfeld begrenzt sind und keinen weiten Einfluss auf die hydraulischen Bedingungen des Aquifers nehmen. Aus Anlage 12.13.2.10.17a-neu wird ersichtlich, dass die Grundwasserabsenkung, abgesehen von der Absenkung im unmittelbaren Brunnenumfeld, unter 1,25 m liegt.

5.2 Ausbreitung und Abwehr der Schadstofffahne im Wasserschutzgebiet II

Die nachfolgenden Schadstoffeinträge erfolgen abschnittsweise entlang der Strecke im WSG II und sind auf jeweils 100 m begrenzt. Die Lage der Abschnitte ist in Anlage 12.13.2.5.1a-neu dargestellt. Analog zu der Schadstoffabwehr entlang der Strecke sind für die nachfolgenden Abschnitte 1 bis 6 die Grundwassergleichungen sowie die Grundwasserabsenkungen den Anlage 12.13.2.9.1a-



neu bis Anlage 12.13.2.9.6a-neu und den Anlage 12.13.2.10.1a-neu bis Anlage 12.13.2.10.6a-neu zu entnehmen. In den einzelnen Abschnitten ist die Auswirkung der Abwehrbrunnen auf das Grundwasser lokal begrenzt und besitzt keine großen Reichweiten. Die Grundwasserabsenkungen sind abhängig von den angesetzten Förderrate sowie der Anzahl der Abwehrbrunnen und liegen bei max. 1,0 m.

Abschnitt 1

Der erste Stoffeintrag findet östlich der Burgallee über die Bahngleisen statt. Im Unterstrom des Schadstoffeintrags ist der Brunnen 26. Dieser wird nach etwa 20 Tagen ebenso wie der Brunnen 33 von der Schadstofffahne erreicht. Der Brunnen 33 befindet sich lediglich am Rand der Schadstofffahne. Bei einem ungehinderten Schadstofftransport erfolgt nach 7 Monaten auch eine Kontamination des Brunnens 18. Nach ca. 2 Jahren ist die Schadstofffront mit der Grundwasserströmung weiter nach Süden transportiert worden und tritt in den Brunnen 21 ein. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.1a-neu zu entnehmen.

Bei einer alleinigen Erhöhung der Förderraten der Brunnen 26 und 33 kann ein verdriften der Schadstofffahne nicht vollständig verhindert werden. Erst mit **zwei** zusätzlichen Abwehrbrunnen, die südlich im Abstrom der beiden genannten Brunnen liegen, sowie einer Erhöhung der Förderraten der Brunnen 26 und 33 auf 70 m³/d und 85 m³/d kann ein verdriften der Fahne verhindert werden (Anlage 12.13.2.7.1a-neu). Den Abwehrbrunnen werden eine Förderrate von je 80 m³/d zugeteilt.

Durch eine Kontamination der Brunnen 26 und 33 würden sich die Fördermengen der Wasserwerke Wilhelmsbad zur Trinkwassergewinnung nach dem angegebenen Förderschlüssel um 41.161 m³ im Jahr verringern bei einer gesamt Förderrate von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 2

Der nächste Stoffeintrag erfolgt angrenzend an den ersten Abschnitt und im Oberstrom des Förderbrunnens 33. Durch den Stoffeintrag entlang des Abschnitts 2 erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 33 nach etwa 4 Tagen und den Brunnen 34 nach etwa 5 Tagen. Nach 10 Monaten ist die Schadstofffahne bis zum Brunnen 18 und nach ca. 1,5 Jahren bis zum Brunnen 21 durchgebrochen. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.2a-neu zu entnehmen.



Um ein Ausbreiten des Schadstoffs zu verhindern, ist in diesem Abschnitt **ein** zusätzlicher Abwehrbrunnen neben erhöhter Förderleistungen der Brunnen 33 und 34 auf 80 m³/d bzw. 60 m³/d notwendig. Der Abwehrbrunnen besitzt eine Förderrate von 70 m³/d. Die verminderte und eingegrenzte Schadstoffausbreitung ist den Anlage 12.13.2.7.2.5a-neu bis Anlage 12.13.2.7.2.12a-neu zu entnehmen.

Durch eine Kontamination der Brunnen 33 und 34 würden sich die Fördermengen des Wasserwerks Wilhelmsbad zur Trinkwassergewinnung nach dem angegebenen Förderschlüssel um 41.161 m³ im Jahr verringern bei einer gesamt Förderrate von 400.000 m³ im Jahr.

Abschnitt 3

Der Schadstoffeintrag in Abschnitt 3 erfolgt im Oberstrom von Brunnen 34. Bei einer Havarie in diesem Abschnitt würden die Brunnen 7 und 34 betroffen sein. Bereits nach 4 Tagen trifft der Schadstoff im Brunnen 34 ein. Bis zum Brunnen 7 benötigt es dagegen 30 Tage. Am Brunnen 33 fließt die Schadstofffahne an ca. Tag 15 nah vorbei und gefährdet diesen. Nach etwa 10 Monaten erreicht die Schadstofffahne das Umfeld der Brunnen 18 und 21. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.3a-neu zu entnehmen.

Bei einer alleinigen Erhöhung der Fördermengen der Brunnen 7 und 34, kann ein Verdriften der Schadstofffahne nicht vollständig verhindert werden. Hierzu wird **ein** Abwehrbrunnen im Unterstrom von Brunnen 7 und 34 mit einer Förderleistung von 40 m³/d benötigt. Des Weiteren werden die Förderleistungen von Brunnen 7 auf 40 m³/d und von Brunnen 34 auf 60 m³/d erhöht. Die Anlage 12.13.2.7.3a-neu enthält ebenfalls die Schadstoffausbreitung unter Anwendung der Abwehrmaßnahmen.

Im Falle eines Schadstoffaustrages im Bereich des Abschnitts 3 entfallen die Brunnen 7, 33 und 34 dem Wasserwerk Wilhelmsbad zur Trinkwassergewinnung. Die entfallende Fördermenge beträgt 50.801 m³ im Jahr bei einer gesamt Förderrate von 400.000 m³/d.

Abschnitt 4

Bei einem Stoffeintrag im Oberstrom des Förderbrunnens 7 und 9 werden die Brunnen 7, 9, 34 und 35 gefährdet sein. Nach ca. 10 Tagen hat sich der Schadstoff so ausgebreitet, dass dieser in der Nähe des Brunnens 9 ist. Nach 40 Tagen sind ebenfalls die Brunnen 7, 34 und 35 gefährdet.



Die Schadstofffahne verdriftet zu Brunnen 21 und erreicht diesen nach 1 Jahr. Innerhalb des zweiten Jahres verbreitet sich die Schadstofffahne auch zu Brunnen 18 aus. Dieser wird jedoch nicht von der Schadstofffahne erreicht, ist aber gegebenenfalls durch die Schadstofffahne gefährdet. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.4a-neu zu entnehmen.

Zur Abwehr der Schadstoffausbreitung sind **zwei** Abwehrbrunnen notwendig. Diese befinden sich im Unterstrom südöstlich von Brunnen 7 bzw. westöstlich von Brunnen 9 und weisen eine Förderleistung von je 50 m³/d auf. Des Weiteren ist die Förderleistung des Brunnens 7 um etwa 15 m³/d auf 40 m³/d erhöht. Da die Brunnen 9 und 34 lediglich im Randbereich der Schadstofffahne liegen, bringt eine Erhöhung der Förderleistung keine maßgebliche Steigerung zur Abwehr des Schadstoffs (Anlage 12.13.2.7.4a-neu).

Durch die zusätzlichen Abwehrbrunnen kann ein Verdriften der Schadstofffahne verhindert werden. Trotzdem sind die Brunnen 7, 9, 34 und 35 bei einem Schadstoffeintrag entlang dem Abschnitt 4 durch eine Kontamination mit dem Schadstoff gefährdet und könnten nicht weiter zur Trinkwasserversorgung dienen. Das Wasserwerk Wilhelmsbad würde einen Verlust von Trinkwasser von 67.240 m³ im Jahr verzeichnen bei einer Gesamtförderung von 400.000 m³ im Jahr.

Abschnitt 5

Im Abschnitt 5 erfolgt der Schadstoffeintrag im Oberstrom von Brunnen 9. Eine Kontamination des Brunnens 9 erfolgt bereits nach 4 Tagen. Die Schadstofffahne erreicht den Brunnen 35 nach etwa 20 Tagen. Nach 2 Jahren ist die Schadstofffront bis zu Brunnen 21 durchgebrochen. Des Weiteren besitzen die Brunnen 7, 18 sowie 23, aufgrund ihrer Nähe zu der Schadstofffahne, das Risiko durch die Schadstoffausbreitung kontaminiert zu werden. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.5a-neu zu entnehmen.

Mittels **eines** zusätzlichen Abwehrbrunnens, der südwestlich von Brunnen 9 positioniert ist, kann ein Verdriften der Schadstofffahne verhindert werden (Anlage 12.13.2.7.5.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.5.12a-neu). Der Abwehrbrunnen hat eine Förderleistung von 40 m³/d. Zudem weist der Brunnen 9 eine erhöhte Förderleistung um 10 m³/d auf 35 m³/d auf.

Im Falle eines Schadstoffaustrages im Bereich des Abschnitts 5 entfällt der Brunnen 9 und 35 dem Wasserwerk Wilhelmsbad zur Trinkwassergewinnung, da diese durch die Schadstofffahne kontaminiert sind und zur Abwehr der Schadstofffahne verwendet werden. Die fehlende Fördermenge,



die dem Wasserwerk Wilhelmsbad insgesamt zur Trinkwasserförderung im Jahr fehlen, liegt bei 39.960 m³ bei einer angenommenen gesamt Förderrate von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 6

Ein Schadstoffeintrag in Abschnitt 6 im Oberstrom des Brunnens 35 hat lediglich Auswirkungen auf den Brunnen 35, der nach etwa 30 Tagen von der Schadstofffahne erreicht wird. Nach einer Laufzeit des Transportmodells von 4 Jahren erreicht die Schadstofffahne erst den Brunnen 21 und 23. Die Ausbreitung der Schadstofffahne wird in diesem Streckenabschnitt stark durch den Brunnen 35 aufgrund seiner hohen Förderrate verhindert. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.6a-neu zu entnehmen.

Bei einer Erhöhung der Förderrate von Brunnen 35 um 33 % auf 110 m³/d wird die Grundwasserströmung im Umfeld so beeinflusst, dass die Schadstofffahne stark zurückgehalten wird. Allerdings sind die Brunnen weiterhin durch die Schadstofffahne gefährdet. Mittels **eines** Abwehrbrunnens mit einer Förderrate von 40 m³/d, der östlich zu Brunnen 35 errichtet ist, kann ein verdriften der Schadstofffahne verhindert werden (Anlage 12.13.2.7.6.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.6.12a-neu). Die Schadstofffahne verbleibt im Umfeld des Brunnens 35.

Im Falle eines Schadstoffaustrages im Bereich des Abschnitts 6 entfällt der Brunnen 35 dem Wasserwerk Wilhelmsbad zur Trinkwassergewinnung. Die fehlende Fördermenge beträgt 30.560 m³ im Jahr. Allerdings fließt die Schadstofffahne sehr nah am Brunnen 9 vorbei. Somit sollte dieser bei einer Havarie nicht weiter zur Trinkwasserförderung betrieben werden. Dadurch entfällt dem Wasserwerk Wilhelmsbad insgesamt 39.960 m³ Trinkwasser bei einer gesamt Förderrate von 400.000 m³ im Jahr.

5.3 Ausbreitung und Abwehr der Schadstofffahne im Wasserschutzgebiet IIIA

Wie für die Transportmodellierungen zur Ermittlung der Schadstoffausbreitung im Wasserschutzgebiet 2 wird weiterhin eine Entnahmerate von 400.000 m³ pro Jahr angenommen. Ebenfalls werden Schadstoffeinträge an verschiedenen Streckenabschnitten modelliert. Hierbei variieren lediglich der Standort entlang der Strecke zur Eintragung des Schadstoffs in der Wasserschutzzone IIIa. Aus dem berechneten Verlauf der Schadstofffahne innerhalb eines Zeitraums von 5 Jahren soll ermittelt werden, welche Brunnen, besonders die Brunnen 27 und 28, in Abhängigkeit vom Eintragungsort gefährdet zu welchen Zeitpunkt gefährdet sind. Des Weiteren soll ermittelt werden wie



viele Abwehrbrunnen erforderlich sind, um eine Gefährdung dieser Brunnen zu verhindern. Die Abwehrbrunnen werden dort errichtet, wo die Schadstofffront nach 30 Tagen ist. Die Streckenabschnitte für die Schadstoffeingabe werden eine Ausdehnung von 100 m aufweisen (Anlage 12.13.2.5a-neu). In den Abschnitten 7, 8 und 9 würde sich die Positionierung der Abwehrbrunnen, die sich an der Schadstoffausbreitung nach 30 Tagen orientiert, mit einer Sportanlage überschneiden. Zu der Sportanlage gehören zwei nebeneinander liegende Sportplätze. Folglich sind die Abwehrbrunnen so zu errichten, dass diese nördlich oder südlich der Sportplätze liegen. Dadurch verkürzt sich bei den nördlich der Sportanlage errichteten Abwehrbrunnen der Abstand zum Schadstoffeintrag auf die 7-Tage-Linie. Mit den Abwehrbrunnen muss die Schadstoffahne somit zurückgezogen werden.

Für die Abschnitte 7 bis 14 sind die entsprechenden Grundwassergleichen sowie Grundwasserabsenkungen den Anlage 12.13.2.9.7a-neu bis Anlage 12.13.2.9.14a-neu und den Anlage 12.13.2.10.7a-neu bis Anlage 12.13.2.10.14a-neu zu entnehmen. In den einzelnen Abschnitten ist die Auswirkung der Abwehrbrunnen auf das Grundwasser ebenfalls lokal begrenzt und besitzen keine großen Reichweiten. Die Grundwasserabsenkungen sind abhängig von den angesetzten Förderraten sowie der Anzahl der Abwehrbrunnen und liegen zwischen 0,2 m und 0,75 m. Lediglich in Abschnitt 14 weisen die Abwehrbrunnen größeren Einfluss auf das Grundwasser auf. In Abschnitt 14 liegen die Abwehrbrunnen im Vergleich zu anderen Abschnitten weiter auseinander, da die Schadstoffahne aufgefächert wird und höhere Förderraten zur Schadstoffabwehr notwendig sind. Hierdurch werden größere Grundwasserabsenkung erzeugt.

Abschnitt 7

Bei einer Schadstoffeintragung in Abschnitt 7 strömt die Schadstoffahne innerhalb von 4 Monaten bis zum Brunnen 27 und gefährdet ebenfalls den Brunnen 26. Nach 1 Jahr tritt der Schadstoff in die Brunnen 18 und 17 ein. In dem weiteren Jahr reicht die Schadstoffahne bis zu den Brunnen 19, 20, 21 und 23. Aufgrund der Nähe zum Schadstoff besteht für den Brunnen 25 ebenfalls ein Gefährdungspotenzial.

Zur Verhinderung einer Schadstoffausbreitung werden 4 Abwehrbrunnen (A7.1 ü SP, A7.2 ü SP, A7.3 ü SP, A7.4 ü SP) benötigt. Dabei sind die Abwehrbrunnen nördlich und östlich der Sportanlage geplant. Die Abwehrbrunnen besitzen Förderleistungen 70 m³/d, 50 m³/d, 50 m³/d und 75 m³/d. Die Schadstoffahne kann durch die Abwehrmaßnahmen zurückgehalten werden (Anlage 12.13.2.7.7.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.7.12a-neu). Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann



die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Ohne Abwehrmaßnahmen können die Brunnen 17, 18, 19, 20, 21, 23, 25, 26 und 27 nicht zur weiteren Trinkwasserförderung verwendet werden. Hierdurch entsteht dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Wasserverlust von 118.187 m³ pro Jahr bei einer angenommenen gesamt Fördermenge von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 8

Durch einen Stoffeintrag in Abschnitt 8 besteht eine Gefährdung des Brunnens 27 durch eine Kontamination mit dem Schadstoff. Die Schadstofffahne tritt nach 5 Monaten in den Brunnen 27 ein. Nach 2 Jahren erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 25. Des Weiteren werden die naheliegenden Brunnen 17, 19, 20 und 24 in den nachfolgenden Jahren durch die Schadstofffahne ebenfalls beeinträchtigt sein. Die Schadstoffausbreitungen nach dem 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.8a-neu zu entnehmen.

Zur Verhinderung einer Schadstoffausbreitung werden 3 Abwehrbrunnen (A8.1 ü SP, A8.2 ü SP, A8.3 ü SP) nördlich der Sportanlage benötigt. Diese besitzen Förderleistungen 70 m³/d, 100 m³/d und 70 m³/d. Die Schadstofffahne kann durch die Abwehrmaßnahmen zurückgehalten werden (Anlage 12.13.2.7.8.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.8.12a-neu). Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Ohne Abwehrmaßnahmen können die Brunnen 17, 19, 20, 24, 25 und 27 nicht zur weiteren Trinkwasserförderung verwendet werden. Hierdurch entsteht dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Wasserverlust von 78.183 m³ pro Jahr bei einer angenommenen gesamt Fördermenge von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 9

Bei einem Schadstoffeintrag in dem Abschnitt 9 ist im Zeitraum von 30 Tagen kein Brunnen durch eine Kontamination gefährdet. Erst nach 5 Monaten ist die Schadstofffahne im Umfeld der Brunnen 27 und 28 vorzufinden. Nach etwa 7 Monaten befindet sich die Schadstofffahne nahe des Brunnens 1 und verdriftet weiter in das Brunnenfeld und erreicht dieses nach weiteren 5 Monaten. Hier-von betroffen sind die Brunnen 24 und 25, die auch ein weiteres verdriften des Schadstoffs verhin-



dern können. Die Brunnen 15, 17, 19 und 20 können ebenfalls durch die Schadstofffahne gefährdet sein. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.9a-neu zu entnehmen.

Es sind 4 Abwehrbrunnen notwendig, um die Schadstofffahne ortsfest einzugrenzen und langfristig zu sanieren (Anlage 12.13.2.7.9.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.9.12a-neu). Die Abwehrbrunnen A9.1 ü SP, A9.2 ü SP, A9.3 ü SP und A9.4 ü SP müssen relativ hohe Förderleistungen von 80 m³/d, 100 m³/d, 80 m³/d, 40 m³/d erbringen können. Dabei liegen die Abwehrbrunnen nördlich der Sportanlage, nur der Abwehrbrunnen A9.4 ü SP liegt südlich des Sportplatzes. Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Werden keine Abwehrmaßnahmen hinsichtlich der Schadstoffausbreitung vorgenommen, können die Brunnen 1, 15, 17, 19, 20, 24, 25, 27 und 28 nicht weiter als Förderbrunnen zur Trinkwassergewinnung fungieren. Hierdurch würde dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Verlust von 138.160 m³ im Jahr entstehen bei einer Förderrate von 400.000 m³ im Jahr.

Abschnitt 10

Bei einem Schadstoffeintrag im Abschnitt 10 ist der Brunnen 28 erst nach 5 Monaten gefährdet. Nach 2 weiteren Monaten ist der Brunnen 1 ebenfalls kontaminiert. Innerhalb von 2 Jahren ist die Schadstofffahne bis zum Brunnen 24 nach 4 Jahren bis zu den Brunnen 25 und 15 geströmt. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.10a-neu zu entnehmen.

Zur Eingrenzung der Schadstofffahne werden 4 Abwehrbrunnen (A10.1, A10.2, A10.3 (entspricht Abwehrbrunnen A9.3) und A10.4) mit Förderleistungen von 80 m³/d, 80 m³/d, 70 m³/d und 50 m³/d errichtet. Die Schadstofffahne kann durch die Abwehrmaßnahmen zurückgehalten werden (Anlage 12.13.2.7.10.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.10.12a-neu). Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Werden keine Abwehrmaßnahmen hinsichtlich der Schadstoffausbreitung vorgenommen, können die Brunnen 1, 15, 24, 25 und 28 nicht weiter als Förderbrunnen zur Trinkwassergewinnung fungieren. Hierdurch würde dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Verlust von 103.295 m³ im Jahr entstehen bei einer Förderrate von 400.000 m³ im Jahr.



Abschnitt 11

Bei einem Schadstoffeintrag im Abschnitt 11, ca. 300 m oberhalb des Brunnens 28, dauert es etwa 5 Monate bis die Schadstofffahne im Brunnen 28 und ca. 7 Monate bis sie im Brunnen 1 durchbricht. Nach 2 Jahren erreicht die Schadstofffahne das weitere Brunnenfeld, welches 200 m südlich zu Brunnen 1 vorzufinden ist. Hier werden die Brunnen 15, 24 und 36 kontaminiert. Diese Brunnen verhindern auch ein weiteres verdriften der Schadstofffahne. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.11a-neu zu entnehmen.

Als Abwehrmaßnahmen werden drei Brunnen (A11.1, A11.2 und A11.3) unterhalb der Bahngleise errichtet. Diese Abwehrbrunnen haben Förderraten von 115 m³/d und können die Schadstofffahne ortsfest eingrenzen (Anlage 12.13.2.7.11.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.11.12a-neu). Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Ohne Abwehrmaßnahmen können die Brunnen 1, 15, 24, 28 und 36 nicht zur weiteren Trinkwasserförderung verwendet werden. Hierdurch entsteht dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Wasserverlust von 119.920 m³ pro Jahr bei einer angenommenen gesamt Fördermenge von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 12

Durch einen Schadstoffeintrag in dem Abschnitt 12 erfolgt erst nach 7 Monaten eine Gefährdung des Brunnens 28 und nach 8 Monaten des Brunnens 1. Die Schadstofffahne benötigt 2 Jahre um in das weitere Brunnenfeld zu erreichen und kontaminiert dann die Brunnen 15, 24 und 36. Diese drei Brunnen verhindern auch ein weiteres verdriften der Schadstofffahne.

Durch 3 Abwehrbrunnen (A12.1, A12.2 und A12.3) unterhalb der Bahnstrecke kann ein verdriften der Schadstofffahne verhindert werden (Anlage 12.13.2.7.12.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.12.12a-neu). Dabei weisen die Abwehrbrunnen A12. 1 und A12.3 eine Förderrate von 80 m³/d und A12.2 von 85 m³/d auf. Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Ohne Abwehrmaßnahmen können die Brunnen 1, 15, 24, 28 und 36 nicht zur weiteren Trinkwasserförderung verwendet werden. Hierdurch entsteht dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Wasser-



verlust von 119.920 m³ pro Jahr bei einer angenommenen gesamt Fördermenge von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 13

Bei einem Schadstoffeintrag im Abschnitt 13, nordwestlich oberhalb von Brunnen 28 und 1, werden diese Brunnen erst nach etwa 1,5 Jahren durch den Schadstoffaustrag betroffen sein. Nach weiteren 6 Monaten sind die Brunnen 15, 24 und 36, die weiter im Unterstrom von Brunnen 1 und 28 liegen, gefährdet. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.7.13a-neu zu entnehmen

Durch 3 Abwehrbrunnen (A13.1, A13.2 und A13.3) unterhalb der Bahnstrecke kann ein verdriften der Schadstofffahne verhindert werden (Anlage 12.13.2.7.13.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.13.12a-neu). Die Abwehrbrunnen weisen je eine Förderrate von 50 m³/d auf. Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Ohne Abwehrmaßnahmen können die Brunnen 1, 15, 24, 28 und 36 nicht zur weiteren Trinkwasserförderung verwendet werden. Hierdurch entsteht dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Wasserverlust von 119.920 m³ pro Jahr bei einer angenommenen gesamt Fördermenge von 400.000 m³ pro Jahr.

Abschnitt 14

Bei einem Schadstoffeintrag in dem Abschnitt 14, welcher am westlichen Rand des Wasserschutzgebiets IIIA liegt, resultiert erst nach 3 Jahren eine Gefährdung der Brunnen 1 und 28. Nach einem weiteren Jahr erreicht die Schadstoffausbreitung den Brunnen 36. Im Vergleich zu den anderen Abschnitten erfolgt eine starke Auffächerung der Schadstofffahne. Dies wird durch die geringe Mächtigkeit des quartären Grundwasserleiters erzeugt, da in diesem Bereich das Tertiär stark ausgeprägt ist. Die Schicht der Terrassenablagerungen kommt in diesem Bereich bei etwa 101,3 m NHN zu liegen und somit etwa 3 m höher als in der Umgebung. Bei der Transportmodellierung nehmen Bereiche mit geringer Quartärmächtigkeit bei den Berechnungen der Stoffausbreitung quasi nicht teil und wirken wie ein Hindernis, das umströmt wird.

Aufgrund der starken Ausbreitung werden 4 Abwehrbrunnen (A14.1, A14.2, A14.3 und A14.4) mit Förderraten von 115 m³/d benötigt, um die Schadstofffahne ortsfest einzugrenzen (Anla-



ge 12.13.2.7.14.5a-neu - Anlage 12.13.2.7.14.12a-neu). Bei Anordnung dieser Abwehrbrunnen kann die GW-Förderung im Brunnenfeld unvermindert beibehalten werden und gleichzeitig die Kontamination saniert werden.

Ohne Abwehrmaßnahmen können die Brunnen 1, 15 und 36 nicht zur weiteren Trinkwasserförderung verwendet werden. Hierdurch entsteht dem Wasserwerk Wilhelmsbad ein Wasserverlust von 65.846 m³ pro Jahr bei einer angenommenen gesamt Fördermenge von 400.000 m³ pro Jahr.

5.4 Vorbehaltsflächen

Für die Abwehrbrunnen wird eine Vorbehaltsfläche ausgewiesen, in der bedarfsgerecht die Abwehrbrunnen in Abhängigkeit des Schadens (Größe und Lage) errichtet werden. Die Vorbehaltsfläche ist in der Anlage 12.13.2.5.2a-neu dargestellt.

Die modellierte Schadstoffausbreitung dient als Orientierung, wie sich eine Schadstoffausbreitung im Wasserschutzgebiet Hanau-Wilhelmsbad verhält und welche Maßnahmen erforderlich sind, um diese ortsfest zurückzuhalten und zu sanieren, um die Förderbrunnen zu schützen.

Die Abwehrbrunnen sollen nach spätestens 30 Tagen nach einer Havarie installiert sein. Die Vorbehaltsfläche wurde auf Basis der numerischen Modellierung so festgelegt, dass der Bereich von den Bahngleisen aus bis zu einem Abstand der Schadstoffausbreitung nach 50 Tagen (basierend auf der berechneten Fließgeschwindigkeit) entspricht. Damit wird ein deutlich größerer Bereich für die Errichtung der Abwehrbrunnen gesichert, als nach den aktuellen Berechnungsergebnissen notwendig wäre. Damit werden Anpassungen im Grundwassermodell und im Förderregime des Wasserwerks durch die Vorbehaltsfläche berücksichtigt und es kann eine flexible Anpassung der Standorte der Abwehrbrunnen im Havariefall erfolgen.

6. ERSATZBRUNNEN

Durch die Nähe der Brunnen 7, 9, 26, 33, 34 und 35 zu den Bahngleisen besteht für diese Brunnen eine Gefährdung, bei einem Schadstoffeintrag über die Gleise kontaminiert zu werden. Aufgrund dessen soll im südwestlichen Bereich des Wasserschutzgebiets II ein Ersatzbrunnen errichtet werden, der die Förderleistung für die Trinkwasserversorgung der vor genannten Brunnen ersetzen



kann. Bei einem Ausfall aller 6 Brunnen zu einem Zeitpunkt erleidet das Wasserwerk Wilhelmsbad einen Förderverlust an Grundwasser von 297,0 m³ am Tag bei einer maximalen Förderleistung von 1.095,9 m³/d (entspricht 400.000 m³ im Jahr).

Bei einer Errichtung eines einzelnen Ersatzbrunnens nordöstlich der Brunnen 15 und 36 kann nicht die gesamte Förderleistung von 1.095,9 m³/d ersetzt werden. Der errichtete Ersatzbrunnen kann die Förderleistung von 297,0 m³/d nicht erbringen. Die erzielte Förderleistung liegt bei etwa 250 m³/d. Daraus ergeben sich zwei Möglichkeiten eine Ersatzwasserbeschaffung durchzuführen.

6.1 1 Ersatzbrunnen

Der Ersatzbrunnen kann südwestlich des Brunnens 30 (s. Anlage 12.13.2.9a-neu) errichtet werden. Hier ist der Grundwasserleiter so ergiebig, dass ein Ersatzbrunnen ausreicht, um eine Förderleistung von 297 m³/d zu leisten. Allerdings wird dieser Bereich des Wasserschutzgebiets II durch die Maintalerstraße und der Landstraße L3209 umschlossen. Hieraus ergeben sich Gefährdungen für das Wasserschutzgebiet II und den zu fördernden Brunnen aus Verkehrsunfällen.

Durch den Ersatzbrunnen im südwestlichen WSG II wird der Absenkungstrichter in diesem Bereich des Brunnenfelds ausgeprägter, wodurch die Grundwasserstände im Brunnenumfeld im Vergleich zum ursprünglichen Brunnenfeld abnehmen. Mit abnehmender Entfernung zum Main nimmt der Einfluss des Brunnenfeldes ab. Jedoch verbleiben Veränderungen in der Grundwasserhydraulik und die Grundwasserhöhenlinien verschieben sich zum Brunnenfeld. Die entsprechenden Grundwassergleichen sind der Anlage 12.13.2.9.15a-neu zu entnehmen. Anhand der absoluten Grundwasserabsenkung können die Veränderungen in den Grundwasserständen sowie die Reichweite der veränderten Grundwasserhydraulik erfasst werden. Durch den Ersatzbrunnen entsteht im südwestlichen Bereich eine höhere Grundwasserabsenkung von etwa 1,25 m (s. Anlage 12.13.2.10.15a-neu) als bei der alleinigen Schadstoffabwehr entlang der Strecke (s. Anlage 12.13.2.9.17a-neu und Anlage 12.13.2.10.17a-neu). Die Grundwasserabsenkung wirkt sich etwa bis zur Mitte von Kesselstadt aus und nähert sich mit zunehmender Nähe zum Main den Grundwasserständen der Ausgangssituation bei einer Brunnenförderrate von 400.000 m³/a an.

Aufgrund der aus Schutzgründen ungünstigen Lage des Brunnens wird die Lösung mit 1 Ersatzwasserbrunnen nicht weiter verfolgt.



6.2 2 Ersatzbrunnen

Eine Alternative zu dem Ersatzbrunnen südwestlich des Förderbrunnens 30 ist die Errichtung von zwei Ersatzbrunnen, die nordwestlich der Förderbrunnen 15 und 36 bzw. westlich des Förderbrunnens 25 errichtet werden. Die Lage der Ersatzbrunnen kann der Anlage 12.13.2.9.16a-neu entnommen werden. Die Ersatzbrunnen liegen ca. 100 m nördlich der Maintalerstraße und sind somit keinen Gefährdungen durch Straßenverkehr ausgesetzt. Auf die Ersatzbrunnen 1 und 2 wird die geforderte Förderrate von 297,0 m³/d aufgeteilt. Der Ersatzbrunnen 1 (nordwestlich von Förderbrunnen 15 und 36) fördert 250 m³/d und der Ersatzbrunnen 2 47 m³/d. Mit allen Trinkwasserbrunnen der TGA (abzüglich der zur Gefahrenabwehr benötigten Brunnen und zuzüglich der Ersatzwasserbrunnen) kann eine gesamte Förderung von 1.095,9 m³/d erzielt werden.

Die Ersatzbrunnen 1 und 2 erzeugen eine verstärkte Absenkung im westlichen Brunnenfeld. Die Grundwasserabsenkung ist ähnlich der aus Kap. 6.1. Die Grundwasserabsenkungen betragen weniger als 1,75 m. Durch die nördlichere Lage der Ersatzbrunnen reichen die Veränderungen der Grundwasserstände etwas weniger weit in das Modellsystem hinein als bei einem Ersatzbrunnen (Kap. 6.1) und nähert sich ebenfalls den Grundwasserständen der Ausgangssituation an.

Eine nördlichere Lage der beiden Ersatzwasserbrunnen wurde überprüft. Aufgrund der dort geringeren Quartärmächtigkeit lässt sich dort aber keine ausreichende Wassermenge fördern.

7. SCHADSTOFFAUSBREITUNG UND ABWEHR BEI ERHÖHTER FÖRDERRATE

7.1 Erhöhte Förderrate auf 500.000 m³ pro Jahr

Die Schadstoffausbreitung entlang der Bahngleise im Wasserschutzgebiet 2 soll auch bei einer erhöhten Förderrate von 500.000 m³ im Jahr (1.369,86 m³/d) betrachtet werden. Bei der erhöhten Förderrate soll geprüft werden, ob die Schadstofffahne weitere Brunnen gefährdet und die bislang vorgesehenen Abwehrmaßnahmen ausreichend sind (siehe [U 17]).

Die Umlegung der Fördermenge von 400.000 m³ im Jahr auf die einzelnen Brunne erfolgte nach dem Förderschlüssel der Stadtwerke Hanau. Nur die zusätzliche Fördermenge von 100.000 m³ im Jahr, entsprechen 274 m³ pro Tag, wurde nicht nach dem Förderschlüssel, sondern manuell auf die Förderbrunnen aufgeteilt. Der vorderen Brunnenreihe nahe den Bahngleisen wurde keine zu-



sätzliche Brunnenleistung zugeteilt, um den Verlust der Wassermenge für die Wasserwerke, der bei einer Havarie entlang der Bahngleise eintritt, nicht zu erhöhen, da diese Brunnengalerie bei einer Havarie nicht weiter für die Trinkwasserförderung genutzt werden kann. Daher erfolgte eine Aufteilung der zusätzlichen Fördermenge auf die Brunnen 1, 29, 30, 32 und 36. In der Tabelle 7-1 sind die zusätzlichen Raten und die daraus ergebenden Förderraten zusammengefasst.

Brunnen	Zusätzliche Förderrate [m³/d]	Förderrate [m³/d]
1	20	84,44
29	110	171,15
30	95	112,75
32	30	62,22
36	19	99,55

Tabelle 7-1: Aufteilung der zusätzlichen Förderraten auf die Brunnen, um eine gesamt Förderleistung von 500.000 m³ pro Jahr zu erhalten

Daraus ergibt sich eine neue Bilanzbildung für das System, die der Tabelle 7-2 aufgeführt ist.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1.608,3 m³/d / 60 %	1.205,0 m³/d / 45 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m³/d / 40 %	- 97,6 m³/d / 4 %
Brunnen	-	1.369,9 m³/d / 51 %
Gesamt	2.672,5 m³/d	2.672,5 m³/d

Tabelle 7-2: Bilanzbildung für das Grundwassermodell mit einer Förderrate von 500.000 m³ / Jahr

Durch die Erhöhung der Brunnenförderrate wird die Grundwasserabsenkung im Brunnenfeld größer, welche lokal einen stärkeren Gradienten bewirkt. Hierdurch wird gem. Kap. 3.1 ein größerer Grundwasserzustrom in das Modellsystem erzeugt. Die Grundwassergleichen bei einer erhöhten Förderrate von 500.000 m³ im Jahr kann der Anlage 12.13.2.11.2a-neu entnommen werden. Die absolute zusätzliche Grundwasserabsenkung (Anlage 12.13.2.11.3a-neu) bei einer Brunnenförderate von 500.000 m³ im Jahr zu einer Förderrate von 400.000 m³ im Jahr beträgt etwa 0,85 m.

Zunächst wird der Verlauf der Schadstoffausbreitung gem. Kap. 4.4 für einen Zeitraum von 5 Jahren weiter modelliert, um festzustellen welche Brunnen neben den Brunnen 7, 9, 26, 33, 34 und 35



bei einer weiteren Erhöhung der Förderrate auf 500.000 m³ gefährdet sein könnten. Nach etwa 6 Monaten erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 18. Eine Kontamination des Brunnens 21 ist nach etwa 10 Monaten festzustellen. Nach 2 Jahre ist die Schadstofffront über den Brunnen 21 hinaus geströmt und gefährdet ebenfalls den Brunnen 23. Die Schadstoffausbreitung nach 5 Jahren sowie nach Tag 1, 30 und 50 kann der Anlage 12.13.2.11.1a-neu entnommen werden.

Die nachfolgende Tabelle 7-3 stellt die Eintrittszeiten des Schadstoffs in der vorderen Brunnengalerie dar. Hierbei werden nochmal die Eintrittszeiten bei einer Förderrate von 400.000 m³ im Jahr der erhöhten Förderrate von 500.000 m³ gegenübergestellt.

Brunnen	Szenario 2 Trinkwassergewinnung bei 400.000 m ³ /a		Szenario 3 Trinkwassergewinnung bei 500.000 m ³ /a	
	Förderrate [m ³ /d]	Eintrittszeit [d]	Förderrate [m ³ /d]	Eintrittszeit [d]
7	26,41	30	26,41	30
9	25,75	4	25,75	3
26	48,33	11	48,33	10
33	64,44	4	64,44	3
34	48,33	4	48,33	4
35	83,73	20	83,73	20

Tabelle 7-3: Eintrittszeiten des Schadstoffs in den Trinkwasserbrunnen in Abhängigkeit zu den Förderraten

Die Eintrittszeiten der Schadstofffahne an den Brunnen bei erhöhter Förderrate sind mit denen bei einer Förderung von 400.000 m³ im Jahr zu vergleichen. Lediglich die Brunnen 9, 26 und 34 werden einen Tag eher vom Schadstoff erreicht. Es werden innerhalb von 30 Tagen aber gegenüber dem Ausgangsszenario mit 400.000 m³/a keine weiteren Brunnen kontaminiert.

Zur Abwehr der Schadstofffahne reichen die bisher errichteten Brunnen (WSG 2.1 bis WSG 2.4) aus. Es muss lediglich die Förderraten einiger Abwehrbrunnen erhöht werden. Die Tabelle 7-4 fasst die zugeteilten Förderraten der Abwehrbrunnen zusammen.

Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m ³ /d]	erhöhte Förderrate [m ³ /d]
7	26,41	40
9	25,75	45



Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m³/d]	erhöhte Förderrate [m³/d]
26	48,33	60
33	64,44	80
34	48,33	65
35	83,73	-
Abwehrbrunnen 1	-	50
Abwehrbrunnen 2	-	50
Abwehrbrunnen 3	-	70
Abwehrbrunnen 4	-	50

Tabelle 7-4: Aufteilung der zusätzlichen Förderraten auf die Brunnen, um eine gesamt Förderleistung von 500.000 m³ im Jahr zu erhalten

Die Schadstofffahne wird zurückgehalten und erreicht auch nach 5 Jahren nicht die nächsten Förderbrunnen Flb 18, 20 und 23.

Der Anlage 12.13.2.11.2a-neu kann die hydraulische Situation zum Zeitpunkt der laufenden Abwehrmaßnahmen sowie ohne Abwehrmaßnahmen entnommen werden. Zudem wird in Anlage 12.13.2.11.3a-neu die absoluten Grundwasserabsenkungen bei 500.000 m³/a im Vergleich zu der hydraulische Situation bei einer Brunnenförderrate von 400.000 m³ im Jahr dargestellt.

7.2 Erhöhte Förderrate auf 600.000 m³ pro Jahr

Die Stadt Hanau ist Mitglied im Wasserverband Kinzig (WVK). Laut der Verbandssatzung muss das Wasserwerk „Hanau-Wilhelmsbad“ über die Stimmenanteile (11,8%) zustehende Trinkwasser aus der Gesamtfördermenge abnehmen. Der WVK hat bereits beschlossen, die Gesamtfördermenge ab 2024 zu erhöhen.

Damit die Stadtwerke die Mehrmengen (hydraulisch) auch abnehmen können, ist eine Anbindung des Wasserwerks Wilhelmsbad an die Transportleitung an der Übernahmestelle Mittelbuchen geplant. Über diese neue Leitung sollen ab 2024 dann ca. 600.000 m³/a im Wasserwerk Wilhelmsbad abgenommen werden. Da das WVK-Wasser nicht die gleiche Beschaffenheit hat wie das restliche Wasser im Stadtnetz, muss dieses im Wasserwerk Wilhelmsbad vor Einspeisung mit dem eigen geförderten Wasser gemischt und „aufgehärtet“ werden – im Mischungsverhältnis ca. 1:1. Daher wird es ab 2024 notwendig, im Wasserwerk Wilhelmsbad rund 600.000 m³/a selbst zu fördern. Die



Umlegung der erhöhten Förderraten erfolgte nach dem Förderschlüssel, da für die spätere simulierte Schadstoffausbreitung auch in der ersten Brunnenreihe hohe Förderraten notwendig sind, um die Fahne sanieren zu können. Der hydraulische Gradient wird durch die hohen Förderraten besonders im Brunnenfeld bzw. zum Brunnenfeld stärker, sodass auch zur Abwehr größere Förderraten notwendig sind um lokal den hydraulischen Gradienten umzukehren bzw. im Abstrom der Schadstofffahne zu verringern. Des Weiteren wurde für das Brunnenfeld der gleiche Durchlässigkeitsbeiwert angesetzt wie für das Umfeld (s. Kap. 10.1).

Die Bilanzbildung bei einer erhöhten Förderrate von 600.000 m³ im Jahr kann Tabelle 7.2. entnommen werden.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1891,3	1.216,7
Grundwasserneubildung	1.064,1	95,6
Brunnen	-	1.643,8
Gesamt	2.955,4	2.956,2

Tabelle 7.2.5: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Kalibrierung

Bei einer erhöhten Brunnenförderrate von 600.000 m³/a nimmt allgemein das Grundwasserniveau im Brunnenfeld und der Umgebung ab (Anlage 12.13.2.15.1.1a, Anlage 12.13.2.15.2.1a). Es wird stärker auf das Grundwasserdargebot im südlichen Modellierungsgebiet zurückgegriffen, um die geforderten Fördermengen zu erhalten.

Es wurde für den Abschnitt eine Schadstoffausbreitung und Abwehrmaßnahmen simuliert, in dem die meisten Förderbrunnen durch eine Schadstoffausbreitung gefährdet sind. Dies ist in Abschnitt 4 mit einer Gefährdung der Förderbrunnen 7, 9, 34 und 35 durch einen Schadstoffeintrag im Oberstrom der Förderbrunnen 7 und 9 gegeben. Durch einen Schadstoffeintrag können dann bis zu 276,3 m³/d Trinkwasser entfallen.

Der Zeitraum bis zur Gefährdung der Förderbrunnen verkürzt sich durch die erhöhte Förderraten, da sich im Brunnenfeld und um die einzelnen Brunnen ein stärkerer hydraulische Gradient ausbildet. Bereits nach 4 Tagen hat sich der Schadstoff so ausgebreitet, dass dieser in der Nähe des Brunnens 9 ist. Nach 10 bis 30 Tagen sind ebenfalls die Brunnen 7, 34 und 35 gefährdet. Die Schadstofffahne verdriftet zu Brunnen 21 und 18 und erreicht diese nach 4 bis 5 Monaten. Der



Brunnen 18 liegt jedoch nicht direkt in der anstehenden Schadstofffahne, ist aber trotzdem durch die Schadstofffahne gefährdet. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.15.3a-neu zu entnehmen.

Zur Abwehr der Schadstoffausbreitung sind **zwei** Abwehrbrunnen notwendig. Diese befinden sich im Unterstrom südöstlich von Brunnen 7 bzw. westöstlich von Brunnen 9 und weisen eine Förderleistung von 100 m³/d (A 4.1) und 40 m³/d (A 4.2) auf. Des Weiteren ist die Förderleistung des Brunnens 7 von 39,6 m³/d auf 100 m³/d zu erhöhen. Da die Brunnen 9 und 34 lediglich im Randbereich der Schadstofffahne liegen, bringt eine Erhöhung der Förderleistung keine maßgebliche Steigerung zur Abwehr des Schadstoffs (Anlage 12.13.2.15.3a-neu). Der Brunnen 35 wurde während der Schadstoffabwehr ausgeschaltet.

Bei einer Gefährdung der Brunnen 7, 9, 34 und 35 bei einem Havariefall werden diese nicht weiter zur Trinkwasserförderung genutzt. Aufgrund dessen soll im südwestlichen Bereich des Wasserschutzgebiets II Ersatzbrunnen errichtet werden, die die Förderleistung für die Trinkwasserversorgung der vorgenannten Brunnen ersetzen kann. Bei den bisherigen Betrachtungen waren zwei Ersatzbrunnen ausreichend, um die erforderlichen Wassermengen zu ersetzen. Aufgrund der erhöhten Förderleistung auf 600.000 m³ pro Jahr waren die Ersatzbrunnen 1 und 2 nicht mehr ergiebig genug, die geforderte Ersatzwasser-Leistung zu erbringen. Folglich wurde ein dritter Ersatzbrunnen (E 3) erforderlich. Dieser wurde nicht wie in Kap. 6.1 in der Nähe des Förderbrunnens 30 positioniert, sondern nördlich der Förderbrunnen 29 und 32, um einen größeren Abstand zu den angrenzenden Straßen zu haben.

Durch die zusätzlichen Fördermengen zur Sanierung der Schadstofffahne ergibt sich folglich eine weitere Absenkung des Grundwassers (Anlage 12.13.2.15.1.2a und 12.13.2.15.2.2a). Aus dem Grundwassergleichenplan Anlage 12.13.2.15.1.2a-neu ist zu erkennen, dass sich das Grundwasserniveau soweit abgesenkt hat, dass im südlichen bzw. südwestlichen Modellierungsgebiet eine Infiltration des Oberflächengewässers in den Grundwasserleiter erfolgt, da die Grundwassergleiche ein Niveau unterhalb des Mainpegels aufweist. Somit wird das Grundwasserdargebot bei weiter steigenden Förderraten durch die Infiltration von Oberflächenwasser angereichert. Zukünftig können die Auswirkungen von steigenden Förderraten auf das Modellierungsgebiet durch ein Grundwassermonitoring-Konzept erfasst und bewertet werden.



8. BRUNNENERGIEBIGKEIT

Zu Abwehr einer Havarie ist vorgesehen, die Förderraten einiger Brunnen zu erhöhen. Auf den ersten Blick große Fördermengenerhöhungen weisen z.B. die Brunnen 7 und 9 auf, bei denen wir eine Erhöhung der Fördermenge um ca. 50% vorgesehen haben. Geplant ist eine Förderung im Havariefall von $40 \text{ m}^3/\text{d} = 1,67 \text{ m}^3/\text{h}$. Der Brunnen 7 ist mit einem Filterrohr $D = 500 \text{ mm}$ und 2 m Filterstrecke bei insgesamt 4 m Kiesfilter im Ringraum und der Brunnen 9 mit einem Filterrohr $D = 400 \text{ mm}$ und 1,9 m Filterstrecke bei insgesamt 3,7 m Kiesfilter im Ringraum ausgestattet. Beide Brunnen reichen nach gegenüber einen Grundwasserstand ohne Wasserförderung etwa 3 – 4 m ins Grundwasser. Die grundwasserführenden Sande und Kiese sind an beiden Brunnen bis mindestens 1 m unter UK Filterstrecke ausgebildet. Zur Abschöpfung eines Schadstoff sind zwingend die Saugbrunneneinrichtungen auszubauen und die Brunnen sind neu zu bestücken. Es kann keinen Zweifel daran geben, dass Brunnen mit dieser Dimension in der Lage sind jeweils $1,67 \text{ m}^3/\text{h}$ Wasser zu fördern.

Der Brunnen mit der höchsten Förderrate ist der Brunnen 33, aus dem im Szenario $500.000 \text{ m}^3/\text{a}$ eine Menge von $80 \text{ m}^3/\text{d} = 3,33 \text{ m}^3/\text{h}$ gefördert werden soll. Bei diesem Brunnen handelt es sich um einen Brunnen mit einem Filterrohr $D = 500 \text{ mm}$ und 2,5 m Filterstrecke bei insgesamt ca. 10 m Kiesfilter ($D = 1000 \text{ mm}$) im Ringraum. Auch hier kann kein Zweifel bestehen, dass ein solcher Brunnen grundsätzlich in der Lage ist, eine Förderleistung von $3,33 \text{ m}^3/\text{h}$ zu erbringen.

Zum Nachweis dieser Behauptung sei auf die übliche, überschlägige Berechnung des Fassungsvermögens eines Brunnen nach Sichardt oder Huismann hingewiesen. Demnach ist das Fassungsvermögen eines Brunnens:

$$Q = d * \pi * H * (\sqrt{k_f}) / 30$$

Für den Brunnen 7 ergibt sich somit:

$$Q = 0,4 \text{ m} * \pi * 1,9 \text{ m} * \sqrt{6 * 10^{-4}} \text{ m/s} / 30 = 1,9 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 7 \text{ m}^3/\text{h}$$

und dabei wurde nur die Filterstrecke als Aquifermächtigkeit angesetzt, also nur etwa die Hälfte der tatsächlich vorhandenen, wassererfüllten Aquifermächtigkeit und nur der Durchmesser des Filterrohrs und nicht der des deutlich größeren Kiesfilters. Es handelt sich somit um eine sehr vorsichtige Abschätzung, die noch Reserven große Reserven aufweist. Die erforderliche Ergiebigkeit des Brunnens ist also auch unter sehr ungünstigen Bedingungen auf jeden Fall gegeben.



Es kann natürlich sein, dass der Brunnen zum Zeitpunkt der Havarie in seiner Leistungsfähigkeit durch Alterungsprozesse gemindert ist. Das lässt sich für eine Betriebszeit der Bahnstrecke von planmäßig 100 Jahren nicht ausschließen und vorhersagen. Genauso wenig, wie sichergestellt werden kann, dass die Stadtwerke an genau dieser Stelle überhaupt noch einen Brunnen in z.B. 30 Jahren betreiben. In beiden Fällen muss ein neuer Brunnen innerhalb von 30 Tagen nach Eintritt einer Havarie errichtet werden, was technisch aber ohne Probleme möglich ist. Wichtig ist, dass mit dem Planfeststellungsverfahren das Recht zur Errichtung und zum Betrieb der erforderlichen Brunnen und Nebenanlagen gesichert wird.

9. SENSITIVITÄTSANALYSE

Eine Sensitivitätsanalyse des Modells erfolgt durch Veränderungen an den Randbedingungen. Hierzu werden die hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte für die Berechnungen einmal um den Faktor 0.25 verringert sowie einmal um 2 erhöht. In einer weiteren Sensitivitätsanalyse wird der Potenzialrand im Norden um 0,5 m herab gesetzt. Die Gesamtförderrate der Trinkwasserbrunnen wird in allen Berechnungen der Sensitivitätsanalyse mit 400.000 m³/a angesetzt (siehe [U 17]).

9.1 Veränderung der hydraulischen Durchlässigkeit

Bei den Grundwasser- und Transportmodellierungen sind die höheren hydraulischen Durchlässigkeiten der Terrasse ausschlaggebend. Daher werden die Durchlässigkeiten des Auelehms und des Tertiärs nicht verändert.

Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit

Die hydraulischen Durchlässigkeiten werden verdoppelt. Hieraus ergeben sich für die Terrasse für $k_x = k_y = 1,2 \cdot 10^{-3}$ m/s und $k_z = 2,4 \cdot 10^{-4}$ m/s und im Teilbereich des Brunnenfelds $k_x = k_y = 4,0 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_z = 8,0 \cdot 10^{-5}$ m/s. Die neuen hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte bringen eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeit mit sich, da diese von dem Gradienten und der Durchlässigkeit abhängig ist (s. Kapitel 3.1). Hierdurch kann eine weitere Ausbreitung der Schadstofffahne erfolgen. Zudem ändert sich die Massenbilanz im System. Die Bilanzbildung bei einer verdoppelten Durchlässigkeit der Terrasse kann Tabelle 9.1-1 entnommen werden.



Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	2.677 m³/d / 72 %	2.545,6 m³/d / 68 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m³/d / 28 %	99,8 m³/d / 3 %
Brunnen	-	1.095,9 m³/d / 29 %
Gesamt	3.741,1 m³/d	3.741,2 m³/d

Tabelle 9.1-1: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeiten

Zunächst entspricht der Verlauf die in diesem Szenario ermittelte Schadstoffausbreitung dem grundlegenden Szenario gem. Kap. 4.4. Die Brunnen 18, 21 und 23 werden im Vergleich zu der ursprünglichen Durchlässigkeiten eher erreicht. Nach etwa 5 Monaten erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 18. Eine Kontamination des Brunnens 21 ist bereits nach etwa 8 Monaten festzustellen. Nach einem Jahr ist die Schadstofffront über den Brunnen 21 hinaus geströmt und hat ebenfalls den Brunnen 23 erreicht. Die Schadstoffausbreitung kann der Anlage 12.13.2.12.1a-neu entnommen werden. Innerhalb von 30 Tagen wird aber kein zusätzlicher Brunnen gegenüber dem Ausgangsszenario mit 400.000 m³/a und kalibrierten Durchlässigkeiten kontaminiert.

Für die Abwehr der Schadstofffahne sind die bisher angesetzten Abwehrmaßnahmen ausreichend. Es sind jedoch aufgrund der erhöhten Fließgeschwindigkeiten die Förderraten der Abwehrbrunnen zu erhöhen (Tabelle 9.1-2).

Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m³/d]	erhöhte Förderrate [m³/d]
7	26,41	60
9	25,75	80
26	48,33	70
33	64,44	90
34	48,33	80
35	83,73	-
Abwehrbrunnen 1	-	80
Abwehrbrunnen 2	-	100
Abwehrbrunnen 3	-	80
Abwehrbrunnen 4	-	110

Tabelle 9.1-2: Förderleistungen der Brunnen zur Einhaltung der Schadstoffausbreitung



Die Einhaltung der Schadstofffahne kann ebenfalls der Anlage 12.13.2.12.1a-neu entnommen werden.

Die Grundwassergleichen für die hydraulische Situation ohne Abwehrmaßnahmen sowie mit den Abwehrmaßnahmen können der Anlage 12.13.2.12.4a-neu entnommen werden. Die absolute Grundwasserabsenkung bzw. in diesem Falls Grundwassererhöhung im Vergleich zu den hydraulischen Durchlässigkeiten der vorherigen Berechnungen können Anlage 12.13.2.12.5a-neu entnommen werden. Der charakteristische Absenktrichter ist durch größeren Durchlässigkeiten nicht mehr zu erkennen.

Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeit

Die Berechnungen der Grundwassermodellierungen wurden zusätzlich mit einer auf 75 % abgeminderten Durchlässigkeit durchgeführt. Hierdurch ergeben sich für hydraulischen Durchlässigkeiten $k_x = k_y = 4,5 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_z = 9 \cdot 10^{-5}$ m/s und im Teilbereich des Brunnenfelds $k_x = k_y = 1,5 \cdot 10^{-4}$ m/s und $k_z = 3,0 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Die neuen hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte bringen eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit mit sich und führen zu einem reduzierten Wasserzufluss in das System. Die neue Massenbilanz im System ist in der Tabelle 9.1-3 zusammengefasst.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1.185,7 m³/d / 53 %	1.056,3 m³/d / 47 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m³/d / 57 %	99,8 m³/d / 4 %
Brunnen	-	1.095,9 m³/d / 49 %
Gesamt	2.249,9 m³/d	2.249,9 m³/d

Tabelle 9.1-3: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeiten

Im Wesentlichen entspricht der hier berechnete Verlauf der Schadstoffausbreitung dem Ausgangsszenario gem. Kap. 4.4. Im Vergleich zu der ursprünglichen Ausgangssituation weisen die Brunnen 18, 21 und 23 etwa die gleichen Eintrittszeiten der Schadstofffahne auf. Nach etwa 8 Monaten erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 18. Eine Kontamination des Brunnens 21 ist nach etwa 1 Jahr festzustellen. Nach zwei Jahren ist die Schadstofffront über den Brunnen 21 hinaus geströmt und gefährdet ebenfalls den Brunnen 23. Die Schadstoffausbreitung nach 5 Jahren kann der Anla-



ge 12.13.2.12.2a-neu entnommen werden. Die Brunnen werden also erst später als im Ausgangsszenario mit Schadstoffen kontaminiert.

Für die Abwehr der Schadstofffahne können die Förderraten der Abwehrbrunnen herabgesetzt werden (Tabelle 9.1-4). Die Abwehrbrunnen sind wie im Ausgangsszenario mit 400.000 m³/a und kalibrierten k_r -Werten ebenfalls notwendig, da die Fahne ansonsten weiterhin zwischen den Förderbrunnen abströmen könnte. Es sind aber keine zusätzlichen Abwehrmaßnahmen notwendig.

Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m³/d]	erhöhte Förderrate [m³/d]
7	26,41	30
9	25,75	30
26	48,33	48,33
33	64,44	70
34	48,33	60
35	83,73	-
Abwehrbrunnen 1	-	20
Abwehrbrunnen 2	-	30
Abwehrbrunnen 3	-	40
Abwehrbrunnen 4	-	30

Tabelle 9.1-4: Förderleistungen der Brunnen zur Einhaltung der Schadstoffausbreitung

Die Einhaltung der Schadstofffahne kann ebenfalls der Anlage 12.13.2.12.2a-neu entnommen werden.

Die Grundwassergleichen für die hydraulische Situation ohne Abwehrmaßnahmen sowie mit den Abwehrmaßnahmen können der Anlage 12.13.2.12.4a-neu entnommen werden. Die absolute Grundwasserabsenkung im Vergleich zu den hydraulischen Durchlässigkeiten der vorherigen Berechnungen können Anlage 12.13.2.12.5a-neu entnommen werden. Es kommt zu einer zusätzlichen Grundwasserabsenkung von ca. 0,6 m. Durch die zusätzlichen Abwehrmaßnahmen kann es lokal bis zu einer Grundwasserabsenkung von etwa 1,8 m kommen.



9.2 Verringerung der Potenzialhöhen auf 100,5 m NHN

Um die weiteren Veränderungen der Randbedingungen auf das System beurteilen zu können, wurde der nördliche Potenzialrand (Potenzialrand mit einströmenden Grundwasser), der Braubach, um einen halben Meter auf 100,5 m NHN abgesenkt. Die hydraulischen Durchlässigkeiten entsprechen denen aus dem Kap. 3.3.1. Die Potenzialränder über die ein Ausströmen von Grundwasser erfolgt (insbesondere der Main) wurden aufgrund der Stauregelung des Mains als im Wesentlichen konstant angenommen und werden nicht verändert.

Aufgrund des verringerten Potenzials am nördlichen Rand reduziert sich der Wasserzufluss in das System. Die neue Massenbilanz im System ist in der Tabelle 9.2-1 zusammengefasst.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1.191,4 m³/d / 53 %	1.082,2 m³/d / 48 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m³/d / 57 %	81,2 m³/d / 3 %
Brunnen	-	1.095,9 m³/d / 49 %
Gesamt	2.255,5 m³/d	2.258,9m³/d

Tabelle 9.2-1: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Verringerung der hydraulischen Durchlässigkeiten

Die hydraulische Grundwassersituation ähnelt der bei einer verringerten hydraulischen Durchlässigkeit. Zunächst entspricht der Verlauf der Schadstoffausbreitung dem Ausgangsszenario gem. Kap. 4.4. Im Vergleich zum Ausgangsszenario weisen die Brunnen 18, 21 und 23 etwa die gleichen Eintrittszeiten der Schadstofffahne auf. Nach etwa 8 Monaten erreicht die Schadstofffahne den Brunnen 18. Eine Kontamination des Brunnens 21 ist nach etwa 1 Jahr festzustellen. Nach zwei Jahren ist die Schadstofffront über den Brunnen 21 hinaus geströmt und gefährdet ebenfalls den Brunnen 23. Die Schadstoffausbreitung nach 5 Jahren kann der Anlage 12.13.2.12.3a-neu entnommen werden. Die Brunnen werden also erst später als im Ausgangsszenario mit Schadstoffen kontaminiert.

Für die Abwehr der Schadstofffahne können die Förderraten der Abwehrbrunnen analog zu den verringerten Durchlässigkeit herabgesetzt werden (Tabelle 9.2-2). Die Abwehrbrunnen des Ausgangsszenarios (400.000 m³/a, kalibrierte k_f -Werte, unveränderte Potenzialrandbedingung) sind ebenfalls notwendig, da die Fahne ansonsten zwischen den Förderbrunnen abströmen könnte. Es sind aber keine zusätzlichen Abwehrmaßnahmen notwendig.



Brunnen	ursprüngliche Förderrate [m³/d]	erhöhte Förderrate [m³/d]
7	26,41	30
9	25,75	30
26	48,33	48,33
33	64,44	70
34	48,33	60
35	83,73	-
Abwehrbrunnen 1	-	20
Abwehrbrunnen 2	-	30
Abwehrbrunnen 3	-	40
Abwehrbrunnen 4	-	30

Tabelle 9.2-2: Förderleistungen der Brunnen zur Einhaltung der Schadstoffausbreitung

Die Einhaltung der Schadstofffahne kann ebenfalls der Anlage 12.13.2.12.3a-neu entnommen werden.

Die Grundwassergleichen für die hydraulische Situation ohne Abwehrmaßnahmen sowie mit den Abwehrmaßnahmen können der Anlage 12.13.2.12.4a-neu entnommen werden. Die absolute Grundwasserabsenkung im Vergleich zu den hydraulischen Durchlässigkeiten der vorherigen Berechnungen können Anlage 12.13.2.12.5a-neu entnommen werden. Es kommt zu einer zusätzlichen Grundwasserabsenkung von ca. 0,6 m. Durch die zusätzlichen Abwehrmaßnahmen kann es lokal bis zu einer Grundwasserabsenkung von etwa 1,8 m kommen.

10. ERGÄNZENDE MODELLIERUNGEN ZU DEN ABSCHNITTEN 13 UND 14 IM PFA 2

Für den im Planfeststellungsabschnitt Maintal (PFA 2) liegenden Abschnitt 14 sowie für den Abschnitt 13, dessen Abwehrmaßnahmen z. T. im PFA 2 zu liegen kommen, erfolgen zusätzliche Berechnungen bei der Transportmodellierung. Die Schadstoffausbreitung wurde bei einer Gleichsetzung der hydraulischen Durchlässigkeit des Brunnenfeldes zum Brunnenumfeld Neuberechnet (s. Kap. 9.1, Anlage 12.13.2.13a-neu). Ebenfalls wurde die neue hydraulische Situation im stationären Zustand für die Brunnenförderraten von 274.000 m³ im Jahr und 400.000 m³ im Jahr betrachtet.



In einem weiteren Modellierungsdurchlauf erfolgte zzgl. zur Anpassung der hydraulischen Durchlässigkeit im Brunnenfeld die Herabsetzung des nördlichen Potenzialrands auf 100,0 m NHN von 101,0 m NHN.

10.1 Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit im Brunnenfeld

Die hydraulische Durchlässigkeit im Brunnenfeld wurde der des Brunnenumfeldes gleichgesetzt. Somit weist das Brunnenfeld Durchlässigkeiten von $k_x = k_y = 6,0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ und $k_z = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ auf. In der Anlage 12.13.2.13.1a-neu sind die hydraulischen Durchlässigkeiten für die einzelnen Schichten dargestellt.

Im nachfolgenden werden die neue hydraulische Situationen bei den Brunnenförderraten von 274.000 m³ im Jahr und 400.000 m³ im Jahr sowie die Schadstoffausbreitungen in den Abschnitten 13 und 14 erläutert.

Bei einem Vergleich der hydraulischen Situation bei einer **Brunnenförderrate von 274.000 m³** im Jahr gem. Anlage 12.13.2.4.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu mit der geänderten hydraulischen Situation durch Erhöhung des Durchlässigkeitsbeiwerts im Brunnenfeld (Anlage 12.13.2.13.2a-neu), weisen die Grundwasserisolinien im Bereich nördlich und nordwestlich des Brunnenfeldes einen ähnlichen Verlauf und Gradienten auf. Die Grundwassergleichen weisen zunächst am westlichen Rand eine Fließrichtung zum Main auf. Mit zunehmender Näherung zum Brunnenfeld zeigt die Fließrichtung zum Brunnenfeld. Die stärkste Veränderung der hydraulischen Situation ist im direkten Brunnenfeld zu verzeichnen. Durch die erhöhten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte sind im Brunnenfeld im Allgemeinen höhere Grundwasserstände zu verzeichnen. Aufgrund der höheren Grundwasserstände wird im Bereich des Brunnenfeldes kein erkennbarer Absenktrichter erzeugt. Da im östlichen und nordöstlichen Brunnenfeld der Durchlässigkeitsbeiwert erhöht wurde, ist besonders hier eine Abnahme des Gradienten zu beobachten, anhand der zunehmenden Abstände zwischen den einzelnen Grundwassergleichen. Die Fließrichtung verändert sich nicht, da diese im Bereich des Brunnenfeldes durch die Förderungen der Brunnen bestimmt bzw. vorgegeben wird. Südlich des Brunnenfeldes zum Main hin gleichen sich die Verläufe der Grundwassergleichen der Potenzialhöhen 99,5 m NHN und 99,25 m NHN beider Szenarien an und zeigen einen ähnlichen hydraulischen Zustand.

Aufgrund der erhöhten Durchlässigkeit im Brunnenfeld erhöht sich geringfügig die Massenbilanz im System. Die neue Massenbilanz im System ist in der Tabelle 10.1-1 zusammengefasst. Die Vertei-



lung der Zu- und Abflüsse entsprechen etwa der Ausgangssituation (Kap. 3.4, S. 31). Die Zuflüsse über den Salisbach und der Staustufe am Main verringern sich um 1 % und der Zufluss über den nördlichen Rand erhöht sich um 2 %. Bei den Abflüssen erhöht sich der Abfluss über den Main um 1 % und der Abfluss über den nordöstlichen Rand reduziert sich um 1 % auf 20 %. Die Änderungen liegen aber insgesamt im Bereich der Genauigkeit des Modells, sodass sie nicht als Beleg für ein grundlegend anderes hydraulisches Szenario angesehen werden kann.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1351,7 m ³ /d / 56 %	1.564,8 m ³ /d / 65 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m ³ /d / 44 %	99,4 m ³ /d / 4 %
Brunnen	-	751,7 m ³ /d / 31 %
Gesamt	2.415,8 m ³ /d	2.415,8m ³ /d

Tabelle 10.1-1: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeiten im Brunnenfeld - Brunnenentnahme 274.000 m³ im Jahr

Für den Zustand bei einer erhöhten **Brunnenförderrate von 400.000 m³** im Jahr sind analoge Veränderungen bei der hydraulischen Situation zu beobachten wie bei der zuvor beschriebenen Förderrate von 274.000 m³ im Jahr. In der Anlage 12.13.2.13.2a-neu sind die im Modell berechneten Grundwasserisolinien der hydraulischen Situation dargestellt. Der Verlauf der Grundwassergleichen im Norden und Nordwesten sind ähnlich im Vergleich zur Anlage 12.13.2.4.3.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.3.6a-neu (Ausgangssituation ohne veränderte Durchlässigkeit mit einer Brunnenförderrate von 400.000 m³ im Jahr). Mit zunehmender Näherung zum Brunnenfeld zeigt die Fließrichtung auch zum Brunnenfeld. Die stärkste Veränderung der hydraulischen Situation ist im direkten Brunnenfeld zu verzeichnen. Durch die erhöhten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte sind im Brunnenfeld im Allgemeinen höhere Grundwasserstände zu verzeichnen auch. Im Bereich des Brunnenfeldes wird zwar ein Absenktichter berechnet, aufgrund der höheren Grundwasserstände zeigt dieser geringere Ausmaße als in der 12.13.2.4.3.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.3.6a-neu. Da im östlichen und nordöstlichen Brunnenfeld der Durchlässigkeitsbeiwert erhöht wurde, ist besonders hier eine Abnahme des Gradienten zu beobachten, durch die zunehmenden Abstände zwischen den einzelnen Grundwassergleichen. Die Fließrichtung wird beibehalten, da diese im Bereich des Brunnenfeldes durch die Förderungen der Brunnen bestimmt bzw. vorgegeben wird. Südlich des Brunnenfeldes zum Main hin gleichen sich die Verläufe der Grundwassergleichen wieder an. Aufgrund der höheren Brunnenrate von 400.000 m³ im Jahr, die auch einen größeren Einfluss auf das südliche Modellierungsgebiet besitzt, ist erst bei der Potenzialhöhe von 99,25 m NHN ein Angleichen des hydraulischen Zustands zwischen der Ausgangssituation (12.13.2.4.3.1a-neu



bis Anlage 12.13.2.4.3.6a-neu) und der Neuberechneten Situation mit erhöhter hydraulischer Durchlässigkeit (Anlage 12.13.2.13.2.2a-neu) zu verzeichnen.

Aufgrund der erhöhten Durchlässigkeit im Brunnenfeld erhöht sich geringfügig die Massenbilanz im System. Die neue Massenbilanz im System bei einer Förderrate von 400.000 m³ im Jahr ist in der Tabelle 10.1-2 zusammengefasst. Die Verteilung der Zu- und Abflüsse entsprechen der Ausgangssituation (Kap. 3.6, S. 36). Die Zuflüsse über den Salisbach und der Staustufe am Main verringern sich um 1 % bzw. um 2 % und der Zufluss über den nördlichen Rand erhöht sich um 3 %. Bei den Abflüssen verringert sich der Abfluss über den Main um 1 % und der Abfluss über den nordöstlichen Rand erhöht sich um 1 % auf 22 %. In Bezug auf die Genauigkeit des vorliegenden Modells sind auch diese Änderungen nicht als signifikant anzusehen.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	1.556,8 m ³ /d / 59 %	1.427,1 m ³ /d / 54 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m ³ /d / 41 %	97,9 m ³ /d / 4 %
Brunnen	-	1.095,9 m ³ /d / 42 %
Gesamt	2.621,0 m ³ /d	2.621,0 m ³ /d

Tabelle 11.1-2: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeiten im Brunnenfeld - Brunnenentnahme 400.000 m³ im Jahr

Abschnitt 13

Bei einem durchgängig konstant angesetzten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert in der Mainterrasse ist die Schadstoffausbreitung vergleichbar zu der gem. Kap. 5.3. Nach etwa 1,25 bis 1,5 Jahren werden die Brunnen Flb 28 und Flb 1 erreicht. Nach weiteren 6 Monaten sind die Brunnen 15, 24 und 36, die weiter im Unterstrom von Brunnen 1 und 28 liegen, gefährdet. Die Schadstoffausbreitungen nach 1 Tag, 30 Tagen, 50 Tagen und nach 5 Jahren sind der Anlage 12.13.2.13.4.1a-neu zu entnehmen

Zur Abwehr können die gleichen Maßnahmen, wie bereits in Kap 5.3 angesetzt, beibehalten werden. Die zurückgehaltene Schadstofffahne unter Anwendung der Abwehrbrunnen ist ebenfalls der Anlage 12.13.2.13.4.1a-neu beigefügt. Ebenfalls der Anlage 12.13.2.13a-neu sind die Grundwassergleichen bei Betrieb der Abwehrbrunnen in dem Abschnitt 13 sowie die daraus entstehende Grundwasserabsenkung dargestellt. Im Bereich des Abschnitts 13 sind durch die Erhöhung des



hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert nur sehr geringfügige Veränderungen im Verlauf der Grundwassergleichen und daher auch nicht in der Grundwasserabsenkung festzustellen.

Abschnitt 14

Analog zu Kap. 5.3 resultiert erst nach 3 Jahren eine Gefährdung der Brunnen 1 und 28 bei einem Schadstoffeintrag in dem Abschnitt 14. Nach einem weiteren Jahr erreicht die Schadstoffausbreitung den Brunnen 36 und zeigt eine ähnliche Auffächerung der Schadstofffahne. Die in Kap. 5.3 für den Abschnitt festgelegten Abwehrmaßnahmen wurden bei der neu durchgeführten Transportmodellierung beibehalten. Die Schadstoffausbreitung mit und ohne Abwehrmaßnahmen sind der Anlage 12.13.2.13.4.2a-neu zu entnehmen.

10.2 Verringerung der Potenzialhöhe des nördlichen Randes auf 100,0 m NHN

Das Potenzial des nördlichen Randes wurde um 1,0 m auf 100,0 m NHN verringert. Der Durchlässigkeitsbeiwert im Brunnenfeld wurde gem. Kap. 10.1 mit einem durchgängig konstanten Wert im Quartär (keine Abminderung im Brunnenfeld) abgebildet.

Durch die Herabsetzung des nördlichen Randpotenzials auf 100,0 m NHN verändert sich maßgeblich das Strömungsbild im Modellierungsgebiet. Der niedrigere Potenzialrand im Norden bedingt, dass im nördlichen Modellbereich geringere Grundwasserstände anstehen als in der Ausgangssituation (**Brunnenförderrate 274.000 m³ im Jahr**) mit einem nördlichen Potenzial von 101,0 m NHN und lokal abgeminderten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert (Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu). Nördlich der Trinkwasserförderung weisen die Grundwassergleichen (Anlage 12.13.2.14.1.1a-neu) einen ähnlichen Verlauf wie in Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu auf nur mit anderen Potenzialen. Westlich und östlich zeigen die Grundwassergleichen einen leicht veränderten Verlauf, dennoch bleiben die Fließrichtungen im Allgemeinen ähnlich, wie in der Ausgangssituation, auf das Brunnenfeld gerichtet. Weiterhin weisen die Grundwassergleichen einen größeren Abstand zu einander auf, wodurch ein geringerer Gradient gebildet wird. Lediglich nordwestlich des Brunnenfeldes zeigen die Grundwassergleichen lokal einen ähnlichen Fließgradienten auf wie in der Ausgangssituation. Bei der Modellierung mit durchgängig konstanten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert in der Mainterrasse wird durch die Brunnenförderung bei einem herabgesetzten Nordpotenzials ein deutlich erkennbarer Absenke-trichter berechnet. Des Weiteren strömt dem Wasserwerk gem. Anlage 12.13.2.14.1.1a-neu im Vergleich zur Anlage 12.13.2.4.1.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.1.6a-neu



mehr Grundwasser aus dem südlichen Modellierungsgebiet zu. Die Grundwassergleichen verlaufen im südlichen Modellierungsgebiet nicht weiterhin parallel zum Main, wie es sich aus der Stichtagsmessung interpolierten Grundwassergleichen (Anlage 12.13.2.1.1a-neu) ergibt sowie aus der hydrogeologische Karte des Gebiets (siehe Anlage 12.6.2.2.2a) zu entnehmen ist. Die Grundwasserhydraulik wird bis zum Main hin durch die Brunnenförderung beeinflusst, sodass sogar die Grundwassergleiche 99,25 m NHN bei einer **Trinkwasserförderung von 274.000 m³** im Jahr bis in das Brunnenfeld hingezogen wird. Dadurch ändert sich im südlichen Modellierungsgebiet östlich der Staustufe die Grundwasserfließrichtung. Der Main infiltriert hier zunehmend in den Grundwasserkörper. Im Nordosten werden mit den neu berechneten Grundwasserständen die gemessenen Grundwasserstände aus der Stichtagsmessung in 2015 entlang des Salisbachs nicht nachgebildet, dafür ist im nordwestlichen Bereich eine bessere Anpassung zu beobachten.

Derzeit erfolgt die Ausarbeitung eines Grundwassermonitoring-Konzeptes für das Wasserschutzgebiet „Hanau-Wilhelmsbad“. Nach einem 2-jährigen Grundwassermonitoring und den zusätzlich durchgeführten Abflussmessungen am Braubach wird das Modell neu kalibriert und auf seine Randbedingungen überprüft; ggf. kommt es zu einer Anpassung der Randbedingungen.

Aufgrund des verringerten Nordpotenzials bei einem durchgängig konstantem Durchlässigkeitsbeiwert im Quartär verringert sich die Massenbilanz im System. Die neue Massenbilanz im System ist in der Tabelle 10.2-1 zusammengefasst. zur Ausgangssituation (Kap. 3.4, S. 31) hat sich die Verteilung der Zu- und Abflüsse geändert. Die Zuflussmenge über den Nordrand hat sich im Vergleich zur Ausgangssituation um etwa 54 % abgemindert und stellt mit 50 % den größten Zuflussanteil dar. Anteilsmäßig wird der Zufluss über den Main mit 42% stärker gewichtet, obwohl im Vergleich zur Ausgangssituation die absolute Zuflussmenge nur um 7 % gestiegen ist. Ebenfalls verringern sich die prozentualen und mengenmäßigen Abflüsse über die vollständige Ostseite. Im Nordosten fließen nur noch etwa 9 % ab und 8 % in das System. Über den südlichen /südöstlichen Rand erfolgt ein Abfluss von 16 %. Die Abflussmenge östlich der Staustufe reduziert sich um 40 % im Vergleich zu Ausgangssituation: Westlich der Staustufe wird der Abfluss nur um 6 % verringert. Anhand der geringen Veränderungen der Zu- und Abflussmengen (m³/d) an der Staustufe wird ersichtlich, dass diese von der Brunnenförderung relativ unbeeinflusst ist und die Zu- und Abflüsse in diesem Bereich von der Staustufe reguliert werden.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	760,5 m ³ /d / 42 %	1.007,7 m ³ /d / 55 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m ³ /d / 58 %	65,4m ³ /d / 4 %



Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Brunnen	-	751,7 m³/d / 41 %
Gesamt	1.824,7 m³/d	1.824,7 m³/d

Tabelle 10.2-1: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeiten im Brunnenfeld und verringertem Nordpotenzial - Brunnenentnahme 274.000 m³ im Jahr

Der niedrigere Potenzialrand im Norden bedingt, dass im nördlichen Modellbereich geringere Grundwasserstände anstehen (Anlage 12.13.2.14.1.2a-neu) als in der Ausgangssituation (**Brunnenfördertrate 400.000 m³ im Jahr**) mit einem nördlichen Potenzial von 101,0 m NHN und lokal abgeminderten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwert (Anlage 12.13.2.4.3.1a-neu bis Anlage 12.13.2.4.3.6a-neu. Wie bei der Strömungsmodellierung zuvor mit 274.000 m³ im Jahr weisen die Grundwassergleichen nördlichen des Brunnenfeldes einen ähnlichen Verlauf zur Ausgangssituation auf; nur mit geringeren Druckpotenzialen. Westlich und östlich zeigen die Grundwassergleichen einen leicht veränderten Verlauf, dennoch bleiben die Fließrichtungen im Allgemeinen ähnlich wie in der Ausgangssituation, auf das Brunnenfeld gerichtet. Weiterhin weisen die Grundwassergleichen zu einander einen größeren Abstand auf, wodurch ein geringerer Gradient abgeleitet werden kann. Lediglich nordwestlich des Brunnenfeldes zeigen die Grundwassergleichen lokal einen ähnlichen Gradienten auf wie in der Ausgangssituation. Im südlichen Modellierungsgebiet ergibt sich aus der Brunnenförderung ein z. T. unter den Mainspiegel abgesenkter Grundwasserstand. Somit exfiltriert das Grundwasser z. T. nicht weiter in den Main, sondern der Main infiltriert in den Grundwasserkörper. Der westliche Bereich der Staustufe sowie der südöstliche Main und die Kinzig fungieren weiterhin als Vorfluter.

Aufgrund des verringertem Nordpotenzials bei einem durchgängig konstantem Durchlässigkeitsbeiwert im Quartär verringert sich die Massenbilanz im System. Die neue Massenbilanz im System bei einer Fördertrate von 400.000 m³ im Jahr ist in der Tabelle 10.2-2 zusammengefasst. Zur Ausgangssituation (Kap. 3.4, S. 36) hat sich die Verteilung der Zu- und Abflüsse geändert. Die Zuflussmenge über den Nordrand hat sich im Vergleich zur Ausgangssituation mit einer Brunnenfördertrate von 400.000 m³ im Jahr um etwa 45 % abgemindert und stellt in der aktuellen Massenbilanz einen Zuflussanteil von 57 % dar. Ebenfalls hat sich die Zuflussmenge über den Salisbach um 55 % reduziert. Anteilmäßig wird der Zufluss über den Main mit 35% stärker gewichtet als zuvor, durch die generell geringere Massenbilanz im neuen System. Jedoch ist im Vergleich zur Ausgangssituation die absolute Zuflussmenge nur um 9 % gestiegen. Die Abflussmenge östlich der Staustufe reduziert sich um 40 % im Vergleich zu Ausgangssituation. Westlich der Staustufe wird



der Abfluss nur um 6 % verringert. Anhand der geringen Veränderungen der Abflussmengen (m^3/d) an der Staustufe wird ersichtlich, dass diese von der Brunnenförderung relativ unbeeinflusst ist und die Zu- und Abflüsse in diesem Bereich von der Staustufe reguliert werden. An der vollständigen Oststeite verringern sich prozentual sowie mengenmäßig die Zu- und Abflüsse in das System um mehr als die Hälfte.

Randbedingung	Einströmende Wassermenge	Ausströmende Wassermenge
Potenzial	964,0 m^3/d / 48 %	868,5 m^3/d / 43 %
Grundwasserneubildung	1.064,1 m^3/d / 52 %	63,8 m^3/d / 3 %
Brunnen	-	1.095,9 m^3/d / 54 %
Gesamt	2.028,2 m^3/d	2.028,2 m^3/d

Tabelle 10.2-2: Bilanzbildung für das Grundwassermodell nach Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeiten im Brunnenfeld und verringertem Nordpotenzial - Brunnenentnahme 400.000 m^3 im Jahr

Aus den Massenbilanzen der Tabelle 10.2-1 und Tabelle 10.2-2 geht des Weiteren durch das herabgesetzten Nordrandpotenzials ein Einfluss auf die Verdunstungsrate hervor. Durch die niedrigeren Grundwasserstände steht weniger Wasser der Verdunstung zur Verfügung.

Im nordöstlichen Modellgebiet ergibt das auf 100 m NHN herabgesetzte Potenzial eine schlechtere Übereinstimmung mit den gemessenen Grundwasserständen und der Verdunstungsrate am Golfplatz als bei einem Randpotenzial von 101 m NHN, während sich im nordwestlichen Bereich mit dem niedrigeren Randpotenzial eine bessere Übereinstimmung ergibt. Durch das geplante Grundwassermonitoring wird erwartet, dass gerade der nördliche Bereich besser erfasst wird und im Modell durch weitere Anpassungen dann auch besser abgebildet werden kann.

Abschnitt 13

Bei einem reduzierten Potenzialhöhe im Norden verlangsamt sich etwas die Fließgeschwindigkeit der Schadstoffahne. Der Brunnen Flb 28 und Flb 1 sind weiterhin nach einem Zeitraum von etwa 1,25 bis 1,5 Jahren durch die Schadstoffahne gefährdet. Allerdings vergrößert sich der Zeitraum um etwa 6 Monate auf ca. 2,5 Jahre bis die Brunnen Flb 15, Flb 24 und Flb 36 gefährdet werden.

Die Lage der Abwehrbrunnen wurde nicht verändert, jedoch konnte die Fördermenge der Brunnen von 50 m^3/d auf 40 m^3/d reduziert werden.



In der Anlage 12.13.2.14a-neu sind die zugehörigen Grundwassergleichen und die absolute Grundwasserabsenkung dargestellt. Der Anlage 12.13.2.14.3.1a-neu sind die Schadstoffausbreitungen für den Abschnitt 13 ohne und mit Abwehrmaßnahmen zu entnehmen.

Abschnitt 14

Aus Anlage 12.13.2.14.3.2.4a-neu ist zu entnehmen, dass die Schadstofffahne einen etwas anderen Verlauf aufweist. Die Auffächerung der Schadstofffahne ist geringer. Die Brunnen Flb 28 und Flb 1 sind erst nach etwa 2,5 Jahren bis 3 Jahren gefährdet. Für die Brunnen Flb 36 und Flb 15 besteht erst nach 5 Jahren bzw. sogar später eine Gefährdung.

Wie bei den Abschnitten zuvor wurde die Lage der Abwehrbrunnen nicht verändert, jedoch konnte die Fördermenge der Brunnen von 115 m³/d auf 75 m³/d reduziert werden.

In der Anlage 12.13.2.14a-neu sind ebenfalls die zugehörigen Grundwassergleichen und die absolute Grundwasserabsenkung dargestellt. Der Anlage 12.13.2.14.3.2a-neu sind die Schadstoffausbreitungen für den Abschnitt 14 ohne und mit Abwehrmaßnahmen zu entnehmen.

11. SETZUNGEN INFOLGE VON GRUNDWASSERABSENKUNG

Durch eine zusätzliche Wasserentnahme durch Abwehr- und Ersatzbrunnen entstehen zusätzlich Grundwasserabsenkungen im Wasserschutzgebiet, welche zu Setzungen führen können, da sich der auftriebsfreie Bereich des Baugrunds vergrößert und damit die Wichte zunimmt und sich eine höhere Spannung im Baugrund ergibt. Um den ungünstigsten Fall zur Bestimmung der Setzung zu betrachten, basiert die Setzungsberechnung auf der Grundwasserabsenkung, die durch die Inbetriebnahme der Abwehrbrunnen entlang der Strecke im Wasserschutzgebiet 2 sowie der beiden Ersatzbrunnen entsteht. Des Weiteren erfolgt eine Setzungsberechnung für die gleiche Betriebssituation des Wasserwerks Wilhelmbad wie vor beschrieben für einen Bereich, in dem die Grundwasserabsenkung 0,25 m beträgt sowie den geringsten Abstand zum ungünstigsten Fall. Hierdurch kann gewährleistet werden, dass bei der nachfolgenden Bestimmung der Verkantung der ungünstigste Fall betrachtet wird. Die Setzungen infolge von Grundwasserabsenkungen werden nach Christow gem. [U 14] wie folgt berechnet:



$$s_w = 10 * \frac{s_{w1} [cm]}{E_s [\frac{MN}{m^2}]}$$

Die spezifische Setzung infolge der Grundwasserabsenkung s_{w1} wird mittels eines Nomogramms von Christow gem. [U 14] bestimmt. Für den Steifemodul der Mainterrasse wird $E_s = 40 \text{ MN/m}^2$ (siehe [U 4]) angesetzt. Die Setzungsberechnung erfolgen nur für das Quartär, da aufgrund von geogenen Vorbelastungen mit keinen Setzungen im Tertiär aus Grundwasserschwankungen zu rechnen ist.

Die maximale Setzung ergibt sich im Bereich der größten Grundwasserabsenkung (1,75 m) (Förderrate $400.000 \text{ m}^3/\text{a}$ zzgl. Abwehrbrunnen und Ersatzbrunnen) und der größten Quartärmächtigkeit. Aus den Setzungsberechnungen ergeben sich für den ungünstigsten Fall eine Setzung von $s_w = 0,125 \text{ cm}$ (bei 1,75 m Absenkung) und für die günstige Situation ist $s_w = 0,025 \text{ cm}$ (bei 0,25 m Absenkung). Zur Bestimmung der Winkelverdrehung ergibt sich, aufgrund der sehr geringen Setzungen, eine geringe Winkelverdrehung von $1 / 320.000$.

Zusätzlich wird die Winkelverdrehung bei einer Absenkung betrachtet, die sich aus einer Fördermenge von $600.000 \text{ m}^3/\text{a}$ zzgl. Abwehrbrunnen in Abschnitt 4 und den Ersatzbrunnen ergibt. Um die Auswirkungen der Grundwasserabsenkung auf die Bebauung zu prüfen, wird die Winkelverdrehung für drei Abschnitte ermittelt. In der nachfolgenden Abbildung sind die Abschnitte dargestellt.

Die Abschnitte wurden wie folgt gewählt:

- Abschnitt 1: Nächste Bebauung entspricht der Kleingartensiedlung
- Abschnitt 2: Näherer Bereich um Ersatzbrunnen mit maximaler Absenkung
- Abschnitt 3: Nächste Wohn- / Gewerbebebauung

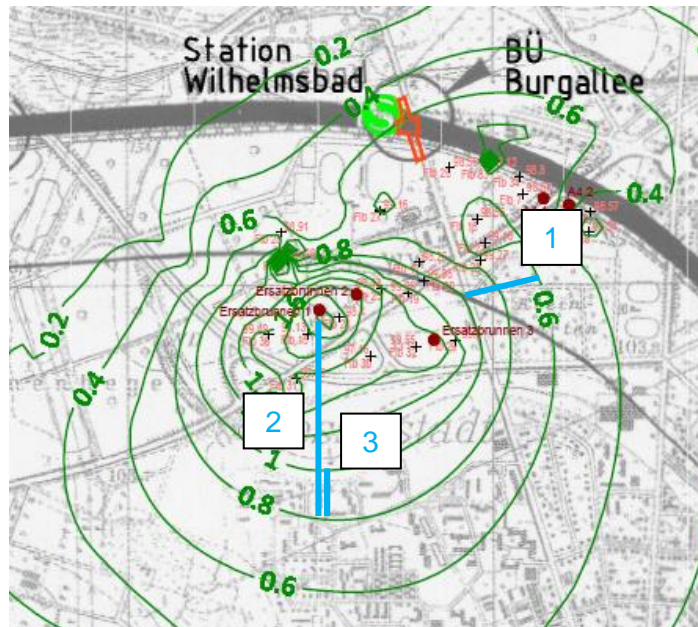


Abbildung 11-1: Betrachtete Abschnitte zur Ermittlung der Winkelverdrehung ($Q=600.000 \text{ m}^3/\text{a}$)

Aus den Setzungsberechnungen ergeben sich für den ungünstigsten Fall eine Setzung von $s_w = 0,225 \text{ cm}$ (bei 2,0 m Grundwasserabsenkung) und für die günstige Situation ist $s_w = 0,075 \text{ cm}$ (bei 0,6 m Grundwasserabsenkung). Daraus resultieren Winkelverdrehungen zwischen 1 : 380.000 und 1 : 480.000. Daraus ergeben sich ebenfalls keine Gefährdungen für die anliegenden Bebauungen.

Grundsätzlich kann von den in Tabelle 11-1 aufgelisteten Erfahrungswerten ausgegangen werden. Danach liegt die Grenze für erste Risse in tragenden Wänden für Muldenlagen bei Winkelverdrehungen von ca. 1 : 300, für Sattellagen bei 1 : 600. Erfahrungsgemäß treten Risse bei Sattellagerungen durch die geringe Zugfestigkeit üblicher Konstruktionen schon bei halb so großen Winkelverdrehungen wie bei Muldenlagerungen auf.

Beurteilungskriterium	Winkelverdrehung	
	Sattel	Mulde
Sicherheitsgrenze zur Vermeidung jeglicher Risse	1 / 1.000	1 / 500
Grenze für erste Risse in tragenden Wänden	1 / 600	1 / 300
Schadensgrenze allgemein, erhebliche Risse in tragenden Wänden	1 / 300	1 / 150

Tabelle 11-1: Schadensgrenze



DR. SPANG

Projekt: 28.2288

Seite 81

25.10.2019

Entsprechend der Tabelle 11-1 ist die Winkelverdrehung weit unterhalb der Sicherheitsgrenze zur Vermeidung jeglicher Risse einzuordnen. Somit ist aufgrund der geringen absoluten Setzungen sowie der geringen Winkelverdrehung von keiner Gefährdung von Bauwerken oder Verkehrswegen auszugehen.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

i.V.

Dr.-Ing. Gerd Festag
(Projektleiter)

i.A.

Kirstin Richter, M.Sc.
(Projektgeologin)

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Frau Baser, Frankfurt am Main, 2 x, davon 1 x per Email
Belgin.Baser@deutschebahn.com
 - DB Netz AG, Herr Jovanovski, Frankfurt am Main, 1 x per Email
Robert.Jovanovski@deutschebahn.com
 - Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x