

Anhang entfällt

Regionaltangente West
PFA Nord

Anlage 18.2a
Anhang I

Modelldokumentation
Grundwassermodell Frankfurt West

24604193 **Inhaltsverzeichnis**

1	Veranlassung	3
2	Geologische und hydrogeologische Bestandsaufnahme	4
2.1	Bearbeitungsgrundlagen	4
2.2	Geologie / Hydrogeologie	4
2.3	Grundwasserfließverhältnisse	5
3	Modellaufbau	6
3.1	Abgrenzung und Diskretisierung des Modellraumes	6
3.2	Randbedingungen	7
3.3	Grundwasserentnahmen	7
3.4	Oberflächengewässer	7
3.5	Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung	8
4	Modellkalibrierung	9
4.1	Variation der Modellparameter	9
4.2	Wassermengenbilanz	10

Anlagenverzeichnis**Anlage I-1 Übersichtslageplan****Anlage I-2 Finite-Elemente-Netz****Anlage I-3 Geländehöhen****Anlage I-4 Grundwasserneubildung****Anlage I-5 Hydraulische Durchlässigkeiten****Anlage I-6 Kalibrierter Grundwassergleichenplan**

24604193 1 **Veranlassung**

Die RTW Planungsgesellschaft GmbH plant die Regionaltangente West (RTW).

Die RTW ist in mehrere Planfeststellungsabschnitte (PFA) unterteilt. Antragsgegenstand ist der in PFA Nord zwischen Frankfurt Höchst und Frankfurt Praunheim.

Für die Beantwortung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen im PFA Nord wurde die Erstellung eines stationären Grundwasserströmungsmodells des Untersuchungsraumes beauftragt. Nachfolgend ist die Erstellung dieses Modells dokumentiert.

2 Geologische und hydrogeologische Bestandsaufnahme

2.1 Bearbeitungsgrundlagen

Die Rekonstruktion der geologischen Verhältnisse im Modellgebiet (Aquiferbasis, Verbreitung und Mächtigkeit von grundwasserhydraulisch relevanten Trennschichten) erfolgte anhand der geologischen Karten und Unterlagen über Brunnen- und Messstellenbohrungen der Wasserversorgungsunternehmen.

Zur Vervollständigung erfolgte eine Auswertung der Bohrdaten aus den Erläuterungen zu den geologischen Karten. Im Bereich des Vorhabens wurden darüber hinaus die Baugrunderkundungen berücksichtigt.

Zusätzlich konnte aus bereits abgeschlossenen Projekten zum Umbau der Nidda-Wehre Praunheim, Hausen und Sossenheim auf bereits bestehende Erkenntnisse zur Hydrogeologie im Modellgebiet zurückgegriffen werden (BGS 2008, 2009, 2012, 2013, 2016).

2.2 Geologie / Hydrogeologie

Die Topographie im Modellgebiet bewegt sich zwischen 88 müNN und 156 müNN, wobei die Geländehöhe von Nordwesten in südwestliche/südliche Richtung abnimmt. Im Bereich der bis zu rund 2 km breiten Niddaaue liegt sie zwischen 100 müNN und 97 müNN. Die Nidda verläuft an der Westseite der Aue, wo sie eine steile Abbruchkante an dem Lösshang bei Praunheim geschaffen hat. In der Aue befinden sich teilweise verlandete Altläufe der Nidda.

Die Struktur des Niddagrabens wurde vorwiegend im Tertiär angelegt. Sie wurde durch tektonische Aktivitäten gegenüber dem Frankfurter und Höchst/Sulzbacher Horst um mehrere zehner Meter abgesenkt und während des Oligozäns und Miozäns teilweise von Meer überflutet. In diesen Zeitintervallen wurden fossilreiche Kalk- und Mergelschichten abgelagert, u.a. die im Untersuchungsgebiet anzutreffenden Hydrobienschichten.

Eine weitere Absenkung des Oberrhein- und des Niddagrabens im späteren Tertiär (Pliozän) sorgte für eine Akkumulation mächtiger limnisch-fluvialer Erosionsmaterialien. So überlagern pliozäne und pleistozäne Kiese, Sande und Schluffe aus den umgebenden, höher gelegenen Liefergebieten die maritimen tertiären Sedimente.

Die pliozänen Sedimente sind sandig ausgebildet. Oft sind Ton- und Schluff-, vereinzelt auch Kieslagen eingelagert, deren Mächtigkeit kleinräumig stark variiert. Den pliozänen Sedimenten lagern pleistozäne, sandig-kiesige Terrassensedimente auf.

Zwischen Praunheim und Sossenheim, sowie in den Tälern und Flussniederungen des Westerbachs und des Sulzbachs sind die tertiären Sedimente großräumig von holozänem Löss und Lösslehm überdeckt. Nur auf einem kleineren Abschnitt zwischen Sulzbach und Höchst - auf dem Höchst-Sulzbacher Horst - stehen die Hydrobienschichten an der Oberfläche an.

24604193 Die pliozänen und pleistozänen Sande sowie kavernöse Algenkalksteine in den Hydrobienstschichten bilden den Grundwasserleiter im Modellgebiet. In ihnen sind lokal mehrere Meter mächtige Tonlagen eingelagert. Die Mächtigkeit des Aquifers beträgt bis zu 50 m Meter im Bereich des WW Praunheim II.

Die Gesamtmächtigkeit des Quartärs erreicht im Nidda-Graben maximal 11 m. In den Bohrprofilen des Wasserwerks Praunheim III beträgt sie in der Regel nur 6 m, wovon etwa 1-3 m auf den Auenlehm entfallen. Die Serien des Pleistozäns sowie bedingt des Pliozäns stellen hier einen gut durchlässigen Porengrundwasserleiter dar. Der Grundwasserleiter in der Niddaaue zeichnet sich durch eine auch kleinräumig relativ starke Inhomogenität aus.

Die Anlagen 3.1 und 3.2 des hydrologischen Gutachtens zum PFA Nord zeigen geologische Schnitte entlang der geplanten Neubaustrecke, Anlage 3.3 zeigt einen Schnitt durch die Gewinnungsanlage Praunheim II.

Die Grundwasserflurabstände bewegen sich etwa zwischen 0,5 m und 2,5 m innerhalb der Niddaaue. Nördlich und westlich der Nidda erreichen die Flurabstände aufgrund der ansteigenden Topographie schnell Werte größer 10 m bis hin zu 45 m.

2.3 Grundwasserfließverhältnisse

Die großräumige Grundwasserströmungsrichtung ist nördlich der Nidda parallel zu den Vorflutern Liederbach, Sulzbach, Westerbach, Steinbach und Urselbach von Nordwest nach Südost zur Nidda gerichtet. Südlich der Nidda verläuft die großräumige Grundwasserfließrichtung entlang der Niddaaue südwestliche Richtung zum Main.

Die Wasserspiegellage der Nidda im Untersuchungsgebiet wird durch mehrere Stauwehre festgelegt. Maßgeblich sind dies die Wehre Praunheim, Hausen, Rödelheim und das etwas weiter entfernt gelegene Wehr Sossenheim.

Je nach dem Maß der Veränderung in den Abflussbedingungen der Nidda ergeben sich andere Grundwasserstände in der Niddaaue. Diese Wechselwirkung des Grundwasserleiters zur Nidda ist hochgradig instationär geprägt. Je nach Dauer und Ausprägung von Hochwasserereignissen, während derer die Wehre abgesenkt sind, wirken sich diese in die Niddaaue hinein aus, während der mittlere Grundwasserstand vom mittleren Niedrigwasserniveau der Nidda und der Stauregelung bestimmt wird.

24604193 3 Modellaufbau

3.1 Abgrenzung und Diskretisierung des Modellraumes

Das Modellgebiet deckt in etwa das Areal nördlich des Mains zwischen Unterliederbach/Liederbach, Niederursel und Frankfurt-Griesheim ab. Der Urselbach bildet dabei die nordöstliche, der Main die südliche Modellgrenze. Der nordwestliche Modellrand verläuft entlang der 115 m Grundwassergleiche des konstruierten Grundwassergleichenplanes von Juni 1994. Im Osten verläuft der Modellrand entlang der Niddaaue, über Hausen bis zum Main in Frankfurt-Griesheim. Die Nidda durchfließt das Modellgebiet von Eschersheim bis zu ihrer Mündung in den Main in Frankfurt-Höchst. **Anlage I-1** zeigt das Modellgebiet in einem Übersichtslageplan.

Die horizontale Diskretisierung des Modellgebietes erfolgte durch 5.516 Knoten und 10.783 Dreieckselemente. Die Netzgeometrie orientiert sich primär an den Oberflächengewässern, Gräben, am Modellrand, an den im Modellgebiet implementierten Gewinnungsanlagen sowie der Lage der Neubaustrecke. Die Zustrombereiche der Brunnen wurden logarithmisch verfeinert, so können die hier vorhandenen starken Gradienten und somit die großen Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen der Grundwasserströmung gut nachgebildet werden. Das Finite-Elemente-Netz ist in **Anlage I-2** dargestellt.

Das so eingegrenzte Modellgebiet erfasst eine Fläche von ca. 58,4 km². Die Nord-Süd-Ausdehnung beträgt bis zu 9,5 km, die Ost-West-Ausdehnung bis zu 9 km.

Die vertikale Diskretisierung des Modellgebietes erfolgte durch 4 Knotenschichten mit entsprechend 3 eingeschlossenen Elementschichten. Die im Zuge der hydrogeologischen Systemanalyse rekonstruierten hydraulisch wirksamen Trennschichten wurden in das echt dreidimensionale Finite-Elemente-Modell entsprechend ihrer Verbreitung und Mächtigkeit übernommen.

Die oberste Knotenebene entspricht der Geländeoberfläche. Zur Ermittlung der Geländehöhen wurde das digitale Geländemodell (DGM5) des Hessischen Landesamtes für Bodenmanagement und Geoinformation auf das FE-Netz interpoliert. Die Höhenlage der zweiten Knotenebene bildet die Unterkante der Auenlehmüberdeckung im Bereich der Niddaaue ab. Die unterste Knotenebene bildet die Aquiferbasis ab. Die Geländehöhen sind in **Anlage I-3** dargestellt.

24604193 3.2 Randbedingungen

Bis auf den Main als südlicher Modellrand wurden die äußeren Modellränder auf Basis des Gleichenplanes von Juni 1994 (HLUG 2009) abgegrenzt. Der Gleichenplan kann als repräsentativ für mittlere klimatische Verhältnisse angesehen werden. Der südliche und der nordwestliche Modellrand sind dabei als Festpotentialränder modelliert, der westliche und der östliche Modellrand als Stromlinien.

3.3 Grundwasserentnahmen

Die relevanten Grundwasserentnahmen im Untersuchungsraum beschränken sich auf die von HESSENWASSER betriebenen Wasserwerke Praunheim II und dem Praunheim III. Die Förderung von Grundwasser aus den Brunnen des Wasserwerkes Praunheim III wurde im Januar 2007 eingestellt.

Die Entnahmebrunnen 1-9 der Fassungsanlage Praunheim II befinden sich nördlich der Nidda auf einer Linie zwischen Eschborn und Praunheim. Sie sind im Pliozän verfiltert und fördern etwa 1-2 Mio. m³/a Grundwasser aus einer Tiefe zwischen 17 muGOK und 50 muGOK.

Die Brunnenreihe A-F des Wasserwerkes Praunheim III liegt innerhalb der Niddaaue und beginnt ungefähr 150 m südlich des Praunheimer Niddaweihres. Verfiltert sind die Brunnen im Pleistozän und im Pliozän in Tiefen von etwa 5 bis 30 muGOK. Die Grundwasserentnahme zum Kalibriezeitpunkt 1994 betrug 0,88 Mio. m³/a.

3.4 Oberflächengewässer

Im Untersuchungsgebiet liegen die Oberflächengewässer Liederbach, Sulzbach, Westerbach, Steinbach, Urselbach und Nidda. Die Bäche münden alle in die Nidda; die Nidda mündet ihrerseits in den Main, dessen Wasserstände durch die Richtwasserstände an den Staustufen vorgegeben sind.

Staustufe Griesheim	Oberwasser:	92,25 müNN
	Unterwasser:	87,75 müNN

Die für die Nidda im Modell angesetzten Wasserspiegellagen sind durch die Stauziele der Wehranlagen der Nidda vorgegeben:

Niddawehr Praunheim:	99,20 müNN
Niddawehr Hausen:	97,24 müNN
Niddawehr Rödelheim:	95,53 müNN
Niddawehr Sossenheim:	93,32 müNN
Niddawehr Höchst:	90,50 müNN

24604193 3.5 Ermittlung der mittleren Grundwasserneubildung

Insbesondere bei großräumigen Modellen ist die dem Grundwasserleiter durch Versickerung von Niederschlag zufließende Wassermenge (Grundwasserneubildung) eine entscheidende Bilanzgröße. Die Grundwasserneubildung wird auf der obersten Modellknotenebene als flächenhafter Randzufluss (Neumann-Randbedingung) vorgegeben.

Für das stationäre Modell war die Ermittlung einer mittleren Grundwasserneubildungsrate erforderlich. Die Daten des Niederschlags und der Verdunstung (Haude) standen von der Klimastation Frankfurt/Main Westend für den Zeitraum von 01.10.1991 bis 30.09.2015 zur Verfügung.

Die Klassifizierung der Bodennutzung wurde mit Hilfe eines GIS auf Basis von Satellitenaufnahmen (Landsat TM) vorgenommen. Daraus wurden die Nutzungsklassen Acker, Grünland, Wald, Siedlung und Wasser abgeleitet. Die Ermittlung der Bodennutzung mit Hilfe von Satellitenbildern erfolgt durch die Zuweisung bestimmter Spektralbereiche zu den einzelnen Nutzungen.

Die Bodenklassifizierung erfolgte auf Basis der Bodenkarte (1:50.000) des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (heute HLNUG). Mit Hilfe eines GIS wurden die Bodenklassen und Nutzungsklassen verschnitten und daraus die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK-We) berechnet.

Mit diesen Ausgangsdaten konnten die Grundwasserneubildungsraten nach WESSOLEK berechnet werden. Die verwendeten Regressionskoeffizienten wurden im Rahmen einer Untersuchung für den Umlandverband Frankfurt speziell an die klimatischen Bedingungen im Großraum Frankfurt (dem der Modellraum zugehört) angepasst (Wessolek 1992). Folgende Gleichungen wurden verwendet:

<u>Ackernutzung</u>	$G_{\text{neu}} = (1,03 \times N_W + 0,86 \times N_S - 128,2 \times \log \text{nFK-We} - 0,05 \text{ ETP} - 92,9)$
<u>Grünland</u>	$G_{\text{neu}} = (1,024 \times N_W + 0,914 \times N_S - 118,3 \times \log \text{nFK-We} - 0,151 \text{ ETP} - 122,75)$
<u>Wald</u>	$G_{\text{neu}} = (0,907 \times N_W + 0,925 \times N_S - 129,8 \times \log \text{nFK-We} - 0,13 \text{ ETP} - 118,92)$
<u>Siedlung</u>	$G_{\text{neu}} = 1/3 \text{ „Grünland“}$
<u>Offene Wasserflächen</u>	$G_{\text{neu}} = N_W + N_S - 1,5 \text{ ETP}$

G_{neu} :	mittlere Grundwasserneubildungsrate [mm/m ² /a]
N_W :	mittlerer Winterniederschlag [mm]
N_S :	mittlerer Sommerniederschlag [mm]
nFK-We:	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum[mm]
ETP:	potentielle Jahresverdunstung nach Haude [mm]

Insgesamt werden auf der rund 58,40 km² großen Fläche durch Niederschlagsversickerung knapp 5,68 Mio. m³/a Grundwasser neugebildet. Dies entspricht einer mittleren Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet von etwa 97 mm/a. Die unter diesen Annahmen berechneten mittleren Grundwasserneubildungsraten im Modellgebiet sind **Anlage I-4** dargestellt.

24604193 4 Modellkalibrierung

Die Kalibrierung des stationären Modells muss auf Basis eines Strömungszustandes erfolgen, der mittlere hydrologische Verhältnisse repräsentiert, da nur dann die Zuflüsse, Entnahmen, Wasserstände des Grundwassers und der Oberflächengewässer im gesamten Modellgebiet stabile mittlere Werte aufweisen und im Gleichgewicht zueinander stehen. Neben den natürlichen Randbedingungen ist dies auch eine Frage der Stationarität bezüglich der Entnahmen. Zur Modellkalibrierung wurde die Stichtagsablesung vom Juni 1994 herangezogen.

4.1 Variation der Modellparameter

Im Rahmen der Kalibrierung erfolgte eine Variation der Modellparameter, bis eine hinreichende Übereinstimmung der gemessenen mit den errechneten Grundwasserständen erreicht wurde.

Die zugrunde gelegte Aquifergeometrie und die flächenhaften Grundwasserneubildungsraten wurden als gesichert betrachtet und im Rahmen der Kalibrierung nicht variiert. Kalibriergrößen sind bei stationärer Rechnung Leakage-Koeffizienten, maximale In- und Exfiltrationsraten, k_f -Werte und der Zustrom über die Modellränder (Neumann-Randbedingung).

Die Auenlehmüberdeckung des Grundwasserleiters wurde südlich der Nidda flächenhaft mit einer Mächtigkeit von 3 m angenommen. Sie wurde einheitlich mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s belegt.

Die Oberflächengewässer wurden über Leakage-Randbedingungen abgebildet. Die Austauschvorgänge zwischen Vorfluter und Grundwasser werden dabei proportional zur Potentialdifferenz zwischen Oberflächengewässer und Grundwasseroberfläche mit einem Leakage-Koeffizienten als Proportionalitätsfaktor errechnet. Die Infiltrationsrate kann dabei auf einen Maximalwert begrenzt werden. Ebenso ist eine Beschränkung der durch das Gewässer abgeführten Grundwassermenge möglich. Sowohl der Leakage-Koeffizient als auch die maximale In- und Exfiltrationsleistung der Gewässer sind Parameter, deren Wert im Zuge der Kalibrierung des Modells so abgeschätzt werden müssen, dass sich plausible In- und Exfiltrationsmengen ergeben.

Die Leakage-Randbedingungen und die k_f -Werte wurden im Zuge der Modellkalibrierung solange im Bereich plausibler Grenzen variiert, bis eine gute Übereinstimmung gerechneter und gemessener Grundwasserstände erreicht war. Die hierbei ermittelten hydraulischen Durchlässigkeitsbeiwerte sind in **Anlage I-5** dargestellt. Die resultierenden kalibrierten Grundwasserstände im Vergleich zur Messung im Juni 1994 zeigt der Grundwassergleichenplan in **Anlage I-6**.

24604193 4.2 Wassermengenbilanz

Im kalibrierten Modell liegt der Zustrom über den nördlichen Modellrand bei etwa 14,23 Mio. m³/a. Der Abstrom über den südlichen Modellrand beträgt etwa 8,95 Mio. m³/a. Die flächenhafte Grundwasserneubildung beträgt für das gesamte Modellgebiet knapp 5,68 Mio. m³/a. Die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke Praunheim II und Praunheim III betragen zusammen 2,86 Mio. m³/a.

In die Gewässerstrukturen (Vorfluter, Gräben) innerhalb des Modellgebietes exfiltrieren insgesamt 8,11 Mio. m³/a. Infolge der Stauhaltung wechseln sich in der Nidda infiltrierende und exfiltrierende Abschnitte ab. Netto exfiltrieren in die Nidda 7.6 Mio. m³/a Grundwasser. Die Wechselwirkungen der Nidda-Seitengewässer im Modellgebiet betragen:

Liederbach: + 2,2 Mio. m³/a

Sulzbach: - 3,0 Mio. m³/a

Westerbach + 1.7 Mio. m³/a

Steinbach + 1.2 Mio. m³/a

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Bilanzgrößen.

Tabelle 1: Bilanzgrößen am kalibrierten Modell

Bilanzgröße	Mio. m ³ /a	
Zufluss über Modellrand	+14,23	
Abluss über Modellrand		-8,95
Grundwasserneubildung	+5,68	
Grundwasserentnahmen		-2,86
Gewässerexfiltration		-8,11
Summe	+19,91	-19,91

Darmstadt, Dezember 2016



(Dr.-Ing. M. Kämpf)



(Dipl.-Ing. M. Ergh)

24604193 **Literatur**

BGS UMWELT 2008: Naturnaher Umbau der Nidda im Bereich des Wehres Praunheim, Darmstadt 2008.

BGS UMWELT 2008: Naturnaher Umbau der Nidda im Bereich des Wehres Hausen, Darmstadt 2008.

BGS UMWELT 2009: Naturnaher Umbau der Nidda im Bereich des Wehres Hausen, Darmstadt 2009.

BGS UMWELT 2012: Grundwassermodellierung zum Umbau des Nidda-Wehres Sossenheim, Darmstadt 2012.

BGS UMWELT 2013: Grundwassermodellierung zum Umbau des Nidda-Wehres Sossenheim, Darmstadt 2013.

BGS UMWELT 2016: Grundwassermodellierung zum Umbau des Nidda-Wehres Sossenheim, Darmstadt 2016.

BGS UMWELT 2016: Regionaltangente West - PFA Nord - Hydrologisches Gutachten. Darmstadt, 2016.

HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (HLUG) 2009 Bodenkarte von Hessen 1:25.000, Blatt L 5817 Frankfurt a.M. West, Wiesbaden 2009.