

Hydrogeologie
Grundwassermodelle
Boden- und Grundwasser-
schutz
Geothermie
Brunnenbau
Rohstoffgewinnung
Bodenkunde
Wirtschaftlichkeitsanalysen

Dipl.-Geol. Dr. Bernd Hanauer
Dipl.-Geol. Dr. Christoph Möbus
Dipl.-Umweltwiss. M.Sc.
Dr. Thomas Hanauer

Europastraße 11
35394 Gießen
Telefon: 06 41 / 9 44 22 0
Telefax: 06 41 / 9 44 22 11
E-Mail: hg@buero-hg.de
Internet: www.buero-hg.de

QM-System in Anlehnung an
DIN EN ISO 9001

Projekt:

Hydrogeologisch-geohydraulisch begründeter Vorschlag für die Neufestsetzung der Schutzzone II für das Wasser- werk Hage

Auftraggeber:

**Wirtschaftsbetriebe der Stadt Norden GmbH
Stadtwerke Norden
Feldstraße 10
26506 Norden**



I. Inhaltsverzeichnis (Text)

	Seite	
1.	Veranlassung, Aufgabenstellung	1
2.	Hydrogeologische Übersicht	2
3.	Vorgaben und Ansätze für die WSG-Bemessung	5
3.1	Vorgaben nach DVGW-Richtlinie W 101	5
3.2	Hydrogeologisches Modell für die Förderbrunnen des WW Hage	6
3.3	Ansätze für die Bemessung des WSG Zone II	7
4.	Geohydraulische Berechnungen	9
4.1	Anwendung des numerischen GwStrömungsmodells zur Bemessung des WSG Zone II	10
4.2	Bemessung der Engeren Schutzzone (Zone II)	12

➤ Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Zusammenstellung der Stammdaten der Förderbrunnen des WW Hage	3
Tabelle 4-1:	Fördermengenansätze [m^3/d] für die Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen	11

➤ Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Geologische und hydrostratigrafische Gliederung aus /2/	2
Abbildung 2-2:	Ausschnitt aus dem Geologischen Profilschnitt von Niedersachsen Norderland_Harlinger_Land_PS02 (aus /24/) (ohne Maßstab)	4
Abbildung 3-1:	Größenordnung für Gesamtporenanteil n_p , effektiven Porenanteil n_{eff} und Durchlässigkeitsbeiwert k_f aus /20/	6
Abbildung 3-2:	Mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate 1981 - 2010, Methode mGROWA18 (/25/) mit Lage der Förderbrunnen (rosa Markierung) (ohne Maßstab)	7
Abbildung 4-1:	Verfeinertes GwModell nach /7/ mit Lage der Förderbrunnen und horizontaler Diskretisierung (schwarze Linien) (ohne Maßstab)	10
Abbildung 4-2:	Förderszenario A – Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen (ohne Maßstab)	12
Abbildung 4-3:	Abgrenzungsvorschlag Schutzzone II (grüne Linie) für die Förderbrunnen des WW Hage (ohne Maßstab)	13

II. Anlagenverzeichnis

Anlage 1 Übersichtslageplan

Anlage 2 Bohrprofile und Ausbaupläne der Förderbrunnen WW Hage

Anlage 3 Lagepläne zum aktualisierten WSG II – Vorschlag

Anlage 3.1 Übersichtslageplan, M 1:5.000

Anlage 3.2 Dokumentation der Berechnung der Zonen mit 50 Tagen Fließzeit, M 1:2.000

Anlage 3.3 Detailplan WSG II-Vorschlag, M 1:1.000

Anlage 4 Grundwasserdatierungen der Universität Bremen

Anlage 4.1 Grundwasserdatierung Proben Hage / Mai 2010

Anlage 4.2 Analysen zum Anlaufverhalten von Brunnen 1 in Hage Nov. 2010

III. Verzeichnis der verwendeten Unterlagen

- /1/ Antrag auf Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage,
Teil 1 Erläuterungsbericht
NIEDERSACHSEN WASSER Kooperations- und Dienstleistungsgesellschaft GmbH,
Oldenburg, 21.06.2012
- /2/ Antrag auf Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage,
Teil 2 Hydrogeologisches Gutachten
NIEDERSACHSEN WASSER Kooperations- und Dienstleistungsgesellschaft GmbH,
Oldenburg, 23.03.2012
- /3/ Antrag auf Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage,
Teil 3 Karten der Schutzgebietsabgrenzung
NIEDERSACHSEN WASSER Kooperations- und Dienstleistungsgesellschaft GmbH,
Oldenburg, 23.03.2012
- /4/ Antrag auf Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage,
Teil 4 Grundstücks- und Eigentüternachweis
NIEDERSACHSEN WASSER Kooperations- und Dienstleistungsgesellschaft GmbH,
Oldenburg, März 2012
- /5/ Antrag auf Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage,
Teil 5 Wasserrechtsbescheid vom 06.08.2009
Landkreis Aurich, Amt für Kreisstraßen, Wasserwirtschaft, Deiche, Aurich, 06.08.2009
- /6/ Wasserrechtsantrag Wasserwerk Hage
Teil 5 – Hydrogeologisches Fachgutachten
Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH, Celle, Februar 2008
- /7/ Wasserrechtsantrag Wasserwerk Hage
Teil 5 – Hydrogeologisches Fachgutachten - Grundwassermodellokumentation
Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH, Celle, 14.03.2008
- /8/ Stellungnahme des Gewässerkundlichen Landesdienstes (GLD) zum Verordnungsentwurf des
Landkreises Aurich über die Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes in der Samtgemeinde
Hage und der Gemeinde Großheide
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, 13.10.2014
- /9/ Verordnung des Landkreises Aurich über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die
Wassergewinnungsanlagen des Wasserwerkes Hage (Wasserschutzgebietsverordnung Hage)
Landkreis Aurich - Der Landrat, Aurich, 15.12.2015
- /10/ Stellungnahme zur Klagebegründung im Normenkontrollverfahren Az. 13 KN 249/16 - Verwal-
tungsrechtssache der Gebr. Neumann GmbH & Co. KG ./ Landkreis Aurich
Landkreis Aurich, Amt für Kreisstraßen, Wasserwirtschaft, Deiche, Aurich, 07.09.2017
- /11/ Stellungnahme im Normenkontrollverfahren Az. 13 KN 249/16 - Verwaltungsrechtssache der
Gebr. Neumann GmbH & Co. KG ./ Landkreis Aurich
Landkreis Aurich, Amt für Kreisstraßen, Wasserwirtschaft, Deiche, Aurich, 28.01.2018
- /12/ Ergänzende Stellungnahme im Normenkontrollverfahren Az. 13 KN 249/16 - Verwaltungsrechts-
sache der Gebr. Neumann GmbH & Co. KG ./ Landkreis Aurich
Landkreis Aurich, Amt für Kreisstraßen, Wasserwirtschaft, Deiche, Aurich, 28.06.2018
- /13/ Urteil des OVG im Normenkontrollverfahren Az. 13 KN 249/16 - Verwaltungsrechtssache der
Gebr. Neumann GmbH & Co. KG ./ Landkreis Aurich
Niedersächsisches Oberverwaltungsgericht, Lüneburg, 14.11.2018

- /14/ Beitrag zur Bemessung der engeren Schutzzone von Trinkwasserversorgungsanlagen bei sandigem und kiesigem Untergrund
Theo Landes, Bohrtechnik/Brunnenbau/Rohrleitungsbau, September 1958
- /15/ Empfehlungen für die Erstellung hydrogeologischer Gutachten zur Bemessung und Gliederung von Trinkwasserschutzgebieten – Schutzgebiete für Grundwasser- Geol. JB. C 63, 25-65
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, 1995
- /16/ Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung
B. Hölting et al., Geol. Jb. C. Heft 63, Hannover 1995
- /17/ DVGW-Regelwerk, Technische Regel Arbeitsblatt W 101, Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; Teil 1: Schutzgebiete für Grundwasser
DVGW, Bonn, Juni 2006
- /18/ Merkblatt Nr. 1.2/7, Stand 01.01.2010 des Bayer. Landesamtes für Umwelt – Wasserschutzgebiete für die öffentliche Wasserversorgung – Teil 1: Wasserschutzgebiete als Bereiche besonderer Vorsorge – Aufgaben, Bemessung und Festsetzung
Bayer. Landesamt für Umwelt, Augsburg, Januar 2010
- /19/ Geofakten 2 - Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Anträge zur Festsetzung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser
Eckl, H., LBEG, Hannover August 2010
- /20/ Hydrogeologie – Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie, 8. Auflage
B. Hölting W.G. Coldewey, Heidelberg, 2013
- /21/ DIN 18130-1 Baugrund; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts, Teil 1: Laborversuche und Teil 2: Feldversuche
Beuth, Berlin, 1998
- /22/ Nordsee und Küstenlandschaft – Beispiel einer dynamischen Landschaftsentwicklung.
Streiff, H., Akad. Geowiss. Hannover, Veröffentl., 20, Hannover, 2002
- /23/ Geologische und hydrostratigrafische Profilschnitte (M 1:50.000) – Norderland-Harlingerland S2
<https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>, Hannover, Dezember 2008
- /24/ Geologische und hydrostratigrafische Profilschnitte (M 1:50.000) - Norderland_Harlinger_Land_PS02
<https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>, Hannover, 20.02.2020
- /25/ Hydrogeologische Karte von Niedersachsen 1 : 50 000 – Mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate 1981 - 2010, Methode mGROWA18
<https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>, Hannover, 17.06.2019
- /26/ Beurteilung der Analysen zur Grundwasserdatierung Proben Hage / Mai 2010
Universität Bremen – Institut für Umweltphysik, Dr. Jürgen Sültenfuß, Bremen, 25.10.2010
- /27/ Beurteilung der Analysen zum Anlaufverhalten von Brunnen 1 in Hage Nov. 2010
Universität Bremen – Institut für Umweltphysik, Dr. Jürgen Sültenfuß, Bremen, 03.05.2011

IV. Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

(K)PV	(Kurz-)Pumpversuch
FIK	Filterkies
FIL	Filter
GOK/POK	Geländeoberkante/Pegeloberkante
Gw...	Grundwasser...
GWM	Grundwasser-Messstelle
N, E, S, W	Himmelsrichtungen
ne´	nordöstlich
sw´	südwestlich
UG	Untersuchungsgebiet
WSG	Wasserschutzgebiet
WW	Wasserwerk

1. Veranlassung, Aufgabenstellung

Der Wirtschaftsbetrieb der Stadt Norden GmbH betreibt zur TwVersorgung die Brunnen I, II, III und IV des Wasserwerks Hage innerhalb des Ortsteils Hage Flecken. Die auf 30 Jahre befristete wasserrechtliche Bewilligung vom 06.08.2009 (/5/) erlaubt eine Wasserentnahme von bis zu 2,0 Mio. m³/Jahr und 6.000 m³/Tag aus den insgesamt 4 Vertikalfilterbrunnen ohne brunnenbezogene Auflagen. Wesentliche Grundlage des entsprechenden Wasserrechtsantrages war das hydrogeologische Fachgutachten inkl. GwModell-Dokumentation in /6/ und /7/ aus 2008.

Auf der Grundlage der o. g. Bewilligung wurde am 21.06.2012 von dem Wirtschaftsbetrieb der Stadt Norden GmbH ein Antrag auf Neufestsetzung des Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage des seit 1978 gültigen Wasserschutzgebietes gestellt (/1/). Die hierfür zu Grund gelegten Unterlagen sind in /1/, /2/, /3/ und /4/ dokumentiert und führte zur Neufestsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Hage (/9/) am 15.12.2015.

Aufgrund eines Normenkontrollverfahrens gegen die Festsetzung des Wasserschutzgebietes durch den Landkreis Aurich wurde vom Niedersächsischen Obergericht am 14.11.2018 die Festsetzung des Wasserschutzgebietes der Schutzzone II für das Wasserwerk Hage tw. für unwirksam erklärt.

Vor diesem Hintergrund wurde unser Büro am 26.08.2019 vom Wirtschaftsbetrieb der Stadt Norden GmbH beauftragt einen unabhängigen hydrogeologisch-geohydraulisch begründeten Vorschlag für die neue Festlegung der WSG-Zone II zu entwickeln und in Form eines Kurzgutachtens vorzulegen.

Maßgebend für die WSG-Bemessung der Zone II ist die wasserrechtlich bewilligte Tagesspitzenförderrate von 6.000 m³/d für die 4 Vertikalfilterbrunnen auf dem Gelände des Wasserwerkes Hage gemäß Wasserrechtsbescheid des Landkreis Aurich (/5/). In dem Wasserrechtsbescheid wurde keine Einzelentnahme festgelegt, so dass prinzipiell auch eine vollständige Entnahme über nur einen Brunnen theoretisch möglich bzw. erlaubt wäre, wenn die technischen Voraussetzungen gewährleistet sind. Für die weiteren Betrachtungen wird zunächst von einer gleichmäßigen Verteilung der Förderraten auf alle 4 Vertikalbrunnen ausgegangen, jedoch werden zusätzlich auch Betrachtungen mit unterschiedlichen Förderszenarien auf deren Grundlage Worst-Case-Entnahmeverteilungen abgeleitet und für die WSG-Bemessung der Zone II berücksichtigt werden.

2. Hydrogeologische Übersicht

Das Wasserwerk Hage befindet sich im Ortsteil Hage Flecken unweit der Küste im Übergangsbereich von der Geest zur Marsch. Der genutzte Grundwasserleiter wird von jungtertiären und quartären Lockergesteins-Ablagerungen aufgebaut. Die Basis des oberen Grundwasserleiters bildet die Oberfläche der miozänen Ablagerungen des Tertiärs. Darüber folgt eine mächtige sandige Abfolge des Pliozäns, die wiederum von quartären Sedimenten überlagert werden. Innerhalb des Quartärs wurde durch den Wechsel von Warm- und Kaltzeiten eine Abfolge von mächtigen glazifluviatilen Sanden und Kiesen abgelagert, die wiederholt bereichsweise von grundwasserhemmenden Geschiebelehmen getrennt sind und ebenfalls bereichsweise auch an der Geländeoberfläche vorkommen.

Die stratigrafische Abfolge entspricht weitgehend der Gliederung von Streif 2002 (/22/) und ist in der folgenden Abbildung aus /2/ in lithostratigrafische und hydrostratigrafische Einheiten zusammengefasst:

Stratigrafische Gliederung	Geolog. Einheit	Lithologische Einheit	„Hydrostratigrafische Einheit“	Stockwerksgliederung	
Q u a r t ä r	Holozän	qhy	Anthropogene Ablagerungen	0	Grundwasserhemmende Deckschichten
		qhbo	Bodenbildungen	H1	
		qh	Marschsedimente	H1	
		qhhm	Anmoor	H1	
		qhhh	Hochmoortorfe	H1	
		qhhn	Niedermoortorfe	H1	
	qh2	Holozäne Flusssedimente	L1/H1	„oberflächennaher Aquifer“	
	Weichsel	qwfls	Flugsand		L1
		qwgds	Geschiebedecksand		L2
		qwf	Fluviatile Fein- bis Mittelsande		L2
		qwb	Tonige bis sandige Beckenschluffe	H2	
	Eem	qee	Wattablagerungen (humose Schluffe, Tone, Feinsande, Torfe)	H2	Grundwasserhemmer
		Saale	qdlg	Geschiebelehm bzw. Geschiebemergel	
	qd-s1-1g		Geschiebesand	L2/L3 (bis H3)	
	qdgf		Glazifluviatile Sande	L3	Hauptaquifer
	Holstein	qhol	Torf (stratigrafisch unsicher)	H4.1	Grundwasserhemmer
	Alp- leisto- zän bis Elster	qL	Lauenburger Ton	H4.1	
		qLs	Tonige Schluffe bis tonige, stark schluffige Feinsande	H4.1	
qelg		„elstereiszeitlicher Geschiebelehm“ (?)	H4.1		
qp-qe	Fluss- und Schmelzwassersande	L4.1	Hauptaquifer		
Tertiär	Pliozän	tplt	Tone, Schluffe: evt. „Tergaster Ton“	H4.2	Grundwasserhemmer
		tpl	Fein- bis Mittelsande	L4.3	Hauptaquifer
	Miozän	---	vermutlich Oberer Glimmerton	H5	Grundwasserhemmer

Abbildung 2-1: Geologische und hydrostratigrafische Gliederung aus /2/

Die Fein- bis Mittelsande des Pliozän (tpl – L4.3) stellen somit den ältesten Teil des von den Trinkwasserbrunnen des WW Hage genutzten GwLeitersystems dar, der auch von den Filterstrecken der Förderbrunnen erschlossen wird. Überregional werden die pliozänen Sande von Tonen und Schluffen des sog. „Ter-gaster Ton“ (tplt – H4.2) überlagert, die jedoch im Bereich des Wasserwerks nicht verbreitet sind.

Darüber folgen die sandig-kiesigen Sedimente vom Altpleistozän bis zur Elster-Eiszeit, die in der o. g. Gliederung als Fluss- und Schmelzwassersande (qp-qe – L4.1) beschrieben sind, und den Hauptteil des quar-tären Anteils des genutzten GwLeitersystems bilden. Im Bereich des Wasserwerks liegt die Basis der quar-tären Ablagerungen bei ca. -38 mNHN und somit oberhalb des verfilterten Bereichs der Förderbrunnen des WW Hage.

Überlagert werden die Altpleistozän bis Elster-Eiszeitlichen Sedimente des GwLeiters 4.1 im Bereich des Wasserwerkes v. a. von drehntezeitlichen sandig-kiesigen Ablagerungen der Saale-Kaltzeit. Hierbei handelt es sich im Bereich des Wasserwerkes um ca. 10 bis 20 m mächtige glazifluviale Sedimente (qdgf – L3). Die geringdurchlässigeren drehntezeitlichen Geschiebelehmeinheiten (qdlg – H3), die älteren Lauen-burger Schichten (qLs – H4.1) bzw. elsterzeitlichen Geschiebelehme (qelg – H4.1) sind im Nahbereich des Wasserwerkes nicht verbreitet.

Aufgrund der oben beschriebenen hydrogeologischen Verhältnisse ist im Bereich der Förderbrunnen des WW Hage sowie im näheren Umfeld kein flächenhaft verbreiteter GwHemmer als Deckschicht vorhanden und somit insgesamt von einer schlechten Deckschichtensituation auszugehen, wie es auch in den aktuel-len geologischen und hydrogeologischen Profilschnitten des LBEG (/24/) dokumentiert wird (siehe nach-folgende Abbildung 2-2) und auch bereits in den entsprechenden Profilschnitten des LBEG aus 2008 /23/ dokumentiert wurde. Diese hydrogeologische Situation zeigt sich auch in den Bohrprofilen der 4 Vertikalfil-terbrunnen sowie in den umliegenden GwMessstellen.

Tabelle 2-1: Zusammenstellung der Stammdaten der Förderbrunnen des WW Hage

Brunnen	GOK [m NHN]	FIK-OK [m u.GOK]	FIK-UK [m u.GOK]	FIL-OK [m u.GOK]	FIL-UK [m u.GOK]	Pumpe [m³/h]	ca. mittl. Entnahme [m³/a]
FB I	2,72	38,0	63,0	47,0	61,0	160	30.000 – 130.000
FB II	2,48	42,0	60,2	44,5	60,0	160	1 Mio. – 1,2 Mio.
FB III	2,15	44,4	69,0	46,5	59,9	55	120.000
FB IV	1,80	40,0	60,0	45,7	59,2	55	120.000

Wie man der Tabelle 2-1 entnehmen kann, befinden sich die Filterstrecken bei ca. 45 bis 60 m u.GOK. Die Ringraumverfüllungen mit Ton erstrecken sich im Mittel bis ca. 40 m u.GOK. Trotz der zuvor beschriebenen hydrogeologischen Situation im Umfeld der Förderbrunnen ohne relevanten Trennhorizont bzw. GwHemmer zeigen die in 2010 (/26/) und 2011 (/27/) durchgeführten Altersdatierungen (siehe Anlage 4), dass an den Förderbrunnen I, II, III und IV beim Betrieb dominierend Grundwasser mit einem mittleren Alter von mehr als 60 bzw. 70 Jahren gefördert wird. Bei der Förderung kommt es im Brunnen durch die dreidimen-sionale Strömung zu einer Mischung von Grundwässern mit unterschiedlichen GwAltern. Im vorliegenden Fall dominieren die Grundwässer mit einem hohen GwAlter, jedoch lässt sich mit den durchgeführten Al-tersdatierungen eine geringe Zumischung von jüngeren Wässern nicht ausschließen.

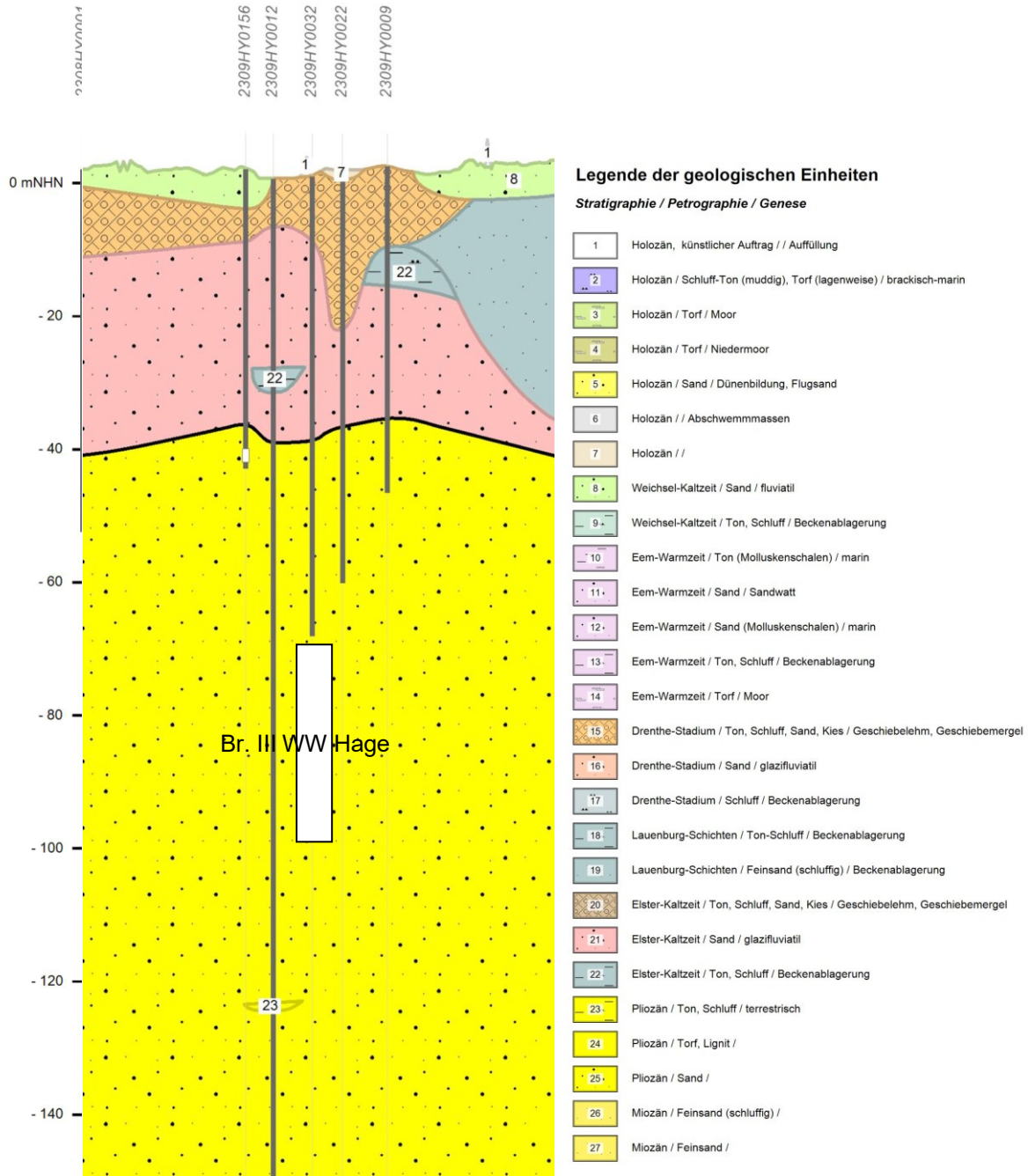


Abbildung 2-2: Ausschnitt aus dem Geologischen Profilschnitt von Niedersachsen Norderland_Harlinger_Land_PS02 (aus /24/) (ohne Maßstab)

3. Vorgaben und Ansätze für die WSG-Bemessung

3.1 Vorgaben nach DVGW-Richtlinie W 101

Die Bemessung von Wasserschutzgebieten für TwBrunnen ist nach der DVGW-Richtlinie W 101 /17/ vorzunehmen. Hierin sind für die Bemessung der einzelnen Schutzzonen die im Folgenden genannten Vorgaben definiert, die insoweit beschrieben werden, wie sie für die Förderbrunnen des WW Hage und die Bemessung der Schutzzone II relevant sind. Es gelten die Vorgaben für Poren-GwLeiter:

➤ **Schutzzone II (Engere Schutzzone):**

Die Zone II muss von der Fassungsanlage mindestens bis zu der Linie reichen, von der aus das genutzte Grundwasser eine Fließzeit von 50 Tagen benötigt.

Zur Bestimmung der 50-Tage-Linie (bzw. -Zone) ist zunächst die Abstandsgeschwindigkeit (DIN 4049-3) des Grundwassers durch geohydraulische Berechnungsverfahren (analytisch, numerisch) oder direkt durch Markierungsversuch zu ermitteln.

Der Bestimmung der 50-Tage-Linie ist in der Regel die wasserrechtliche genehmigte Fördermenge zu Grunde zu legen. Dabei ist das aus der genehmigten Jahres- oder Monatsmenge zu errechnende Tagesmittel oder höchstens die maximal genehmigte Tagesentnahme zu verwenden.

Die Engere Schutzzone kann bis auf 50 m reduziert werden, wenn von der 50-Tage-Linie bis zur Wassergewinnungsanlage als Grundwasserüberdeckung gering durchlässige Schichten (k_f -Wert $<1 \cdot 10^{-6}$ m/s) mit einer Mindestmächtigkeit von 5 m durchgehend verbreitet sind. Dabei bleiben die obersten 4 m unter Gelände unberücksichtigt.

Bei der Prüfung auf Reduzierung bzw. Verzicht der Engeren Schutzzone sind (u. a.) folgende Daten und Gegebenheiten zu berücksichtigen:

- Rohwasser- und Grundwasseranalysen sowie isopenhydrologische Untersuchungen
- Potenzielle Gefährdungen durch Eingriffe (z. B. Bohrungen oder durch die Flächennutzung)

Bei komplexen hydrogeologischen Verhältnissen kann die Abgrenzung des Schutzgebietes und insbesondere seiner Schutzzonen auch nach morphologischen, geo- und hydrogeologischen Ersatzkriterien erfolgen. Neben den hydrogeologischen und geohydraulischen Eigenschaften des Grundwasserkörpers sind auch der Aufbau der Grundwasserüberdeckung und die natürliche Schutzfunktion des Untergrundes bei der Bemessung der Schutzzonen zu berücksichtigen.

Die fachliche Grundlage hierfür bildet eine konzeptionelle Beschreibung der hydrogeologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse (Hydrogeologisches Modell) des Untersuchungsgebietes.

Aufbauend auf dem Hydrogeologischen Modell kann die Verwendung eines numerischen Grundwassermodells sinnvoll sein, wie es im vorliegenden Fall auch angewendet wurde.

3.2 Hydrogeologisches Modell für die Förderbrunnen des WW Hage

Im Bereich der Förderbrunnen des Wasserwerks Hage bilden die quartären und pliozänen Sande und Kiese einen wasserwirtschaftlich genutzten GwLeiter, der mangels flächenhaft verbreiteter GwHemmer im Nahbereich der Brunnen für die Bemessung der Schutzzone II als ein GwLeiterkomplex beschrieben werden kann, da im Nahbereich keine mächtigen GwHemmer vorhanden sind, die eine flächenhaft wirksame Trennung zwischen dem oberen (quartären) und dem tieferen (pliozänen) Teil des GwLeitersystems bilden könnten.

Den Bohrprofilen der vier Förderbrunnen ist zu entnehmen, dass im Bereich der Abdichtungsstrecken (zwischen 38 und 44 m u.GOK) fast ausschließlich quartäre Feinsande vorherrschen. Nach den vorhandenen Literaturangaben (u. a. /20/ und /21/) ist von einer hydraulischen Durchlässigkeit der Feinsande zwischen $k_f = 2 \times 10^{-4}$ m/s und 1×10^{-5} m/s auszugehen. Für die Feinsande ist eine nutzbare Porosität (effektiver Porenanteil n_{eff}) zwischen 8 und 12 % anzusetzen. Im Vergleich zu den überlagernden Feinsanden ist in dem von den Förderbrunnen in einer Tiefe von ca. 45 bis 60 m u.GOK genutzten Teil des GwLeiterkomplexes, mit den hier vorherrschenden grobsandigen und tw. kiesigen Mittelsanden, hier mit einer größeren hydraulischen Durchlässigkeit zu rechnen.

Für die o. g. Mittelsande des Förderhorizonts ist nach den vorhandenen Literaturangaben (siehe Abbildung 3-1) von einer hydraulischen Durchlässigkeit von $k_f = 1 \times 10^{-3}$ m/s bis 1×10^{-4} m/s auszugehen. Für die Mittelsande ist eine nutzbare Porosität zwischen 10 und 20 % anzusetzen. In dem im Rahmen des Wasserrechtsverfahrens für die Förderbrunnen des WW Hage erstellten numerischen Grundwasserströmungsmodell (/7/) wurde im Bereich der Förderbrunnen eine hydraulische Durchlässigkeit von ca. 6×10^{-4} m/s angesetzt. Sie befindet sich somit in dem zuvor genannten Bereich der zu erwartenden k_f -Werte.

Lockergestein	Gesamtporenanteil n_p %	effektiver Porenanteil n_{peff} %	Durchlässigkeitsbeiwert k_f m/s
sandiger Kies	25 - 35	20 - 25	$3 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$
kiesiger Sand	28 - 35	15 - 20	$1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-4}$
mittlerer Sand	30 - 38	10 - 15	$4 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-4}$
schluffiger Sand	33 - 40	8 - 12	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$
sandiger Schluff	35 - 45	5 - 10	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$
toniger Schluff	40 - 55	3 - 8	$5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-8}$
schluffiger Ton	45 - 65	2 - 5	$\sim 10^{-8}$

Abbildung 3-1: Größenordnung für Gesamtporenanteil n_p , effektiven Porenanteil n_{eff} und Durchlässigkeitsbeiwert k_f aus /20/

Im Bereich des Wasserwerkes Hage ist durch die GwNeubildung von einem nach unten gerichteten geringen hydraulischen Gradienten (J) vom oberen Teil des Aquiferkomplexes zum durch die Förderbrunnen genutzten Teil des Aquiferkomplexes zu rechnen. Gemäß der aktuellen amtlichen (rasterbasierten) GwNeubildungsberechnung (Methode mGROW18 – siehe /25/) ist für das 30-jährige Mittel im Zeitraum 1981 – 2010 von einer räumlich (sehr) variablen GwNeubildung im Bereich der Förderbrunnen zwischen

150 und 300 mm/a auszugehen. Für die nördlich angrenzenden Bereiche wird eine GwNeubildung zwischen 50 und 100 mm/a bzw. sogar eine GwZehrung ausgewiesen.

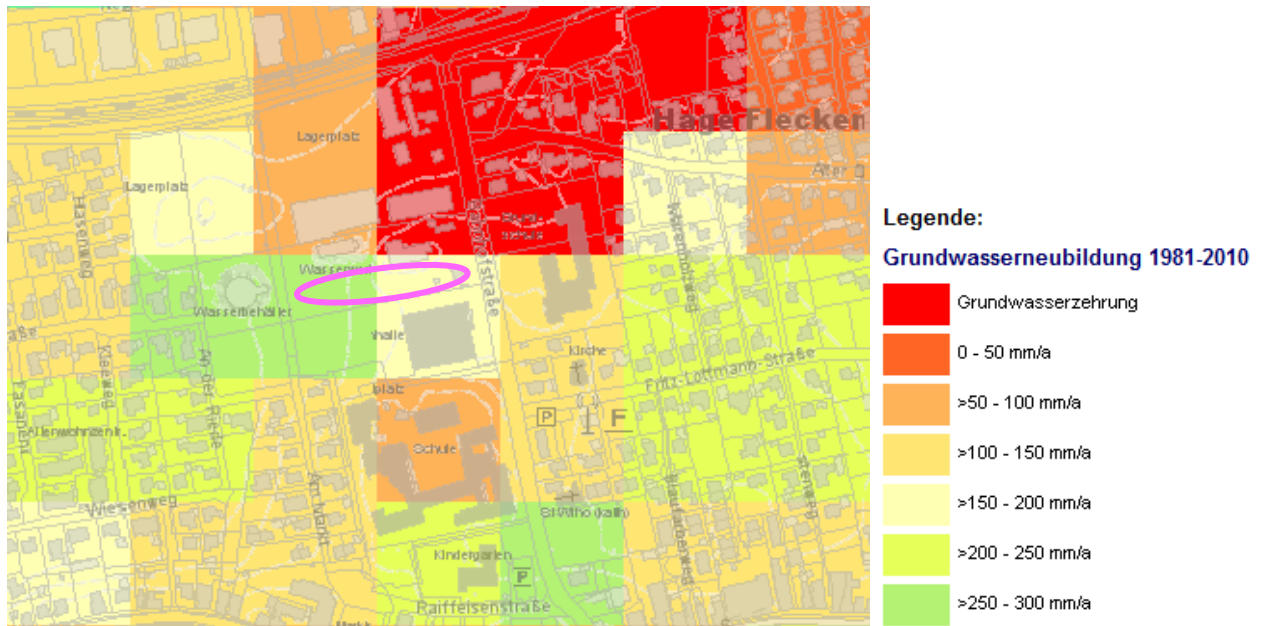


Abbildung 3-2: Mittlere jährliche Grundwasserneubildungsrate 1981 - 2010, Methode mGROWA18 (/25) mit Lage der Förderbrunnen (rosa Markierung) (ohne Maßstab)

Für den wasserwirtschaftlich genutzten Aquifer-Abschnitt kann man von einem geringen (natürlichen) hydraulischen Gradienten in nw Richtung (siehe GwGleichenpläne u. a. in /2/) ausgehen, der durch die Entnahme und die daraus resultierende GwAbsenkung im Bereich der Förderbrunnen steiler wird.

Aufgrund der Aquifergenese (Ablagerung/Schüttung des Aquifermaterials) ist außerdem von einem Durchlässigkeitsunterschied zwischen der horizontalen und der vertikalen Durchlässigkeit (k_{fh} / k_{fv}) auszugehen und einer bevorzugten horizontalen Strömung. Nach den vorhandenen Literaturangaben kann man von einem Durchlässigkeitsunterschied k_{fh} / k_{fv} zwischen 5 und 10 ausgehen, d. h. die vertikale Durchlässigkeit beträgt zwischen 1/5 und 1/10 der horizontalen Durchlässigkeit.

3.3 Ansätze für die Bemessung des WSG Zone II

Ausgehend von dem Hydrogeologischen Modell werden entsprechend den Vorgaben der DVGW-Richtlinien W 101 /17/ für die Förderbrunnen des WW Hage folgende Kriterien für die Bemessung der Schutzzone II (Engere Schutzzone) zu Grunde gelegt:

- Szenario A: Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen für die einzelnen Brunnen unter Ansatz der Spitzenentnahme von 6.000 m³/d, zu jeweils gleichen Teilen an den vier Einzelbrunnen.
- Szenario B: Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen für die einzelnen Brunnen unter Ansatz der Spitzenentnahme von 6.000 m³/d, verteilt auf der Grundlage der vorhandenen maximalen Pumpenleistungen an den vier Einzelbrunnen.
- Szenario C1+C2: Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen für die einzelnen Brunnen unter Ansatz der Spitzenentnahme von 6.000 m³/d, verteilt auf der Grundlage der realen Förderbetriebs

(Hauptförderung an den Br. I oder II, restliche Fördermenge an den Br. III und IV) an den vier Einzelbrunnen.

- Szenario D: Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen für die einzelnen Brunnen unter Ansatz der Spitzenentnahme von 6.000 m³/d mit einer Verlagerung der Hauptentnahme auf den Br. IV.
- Szenario E: Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen für die einzelnen Brunnen unter Ansatz der Spitzenentnahme von 6.000 m³/d mit einer Verlagerung der Hauptentnahme auf den Br. III.

4. Geohydraulische Berechnungen

Im Rahmen des Wasserrechtsverfahrens für die Förderbrunnen des WW Hage wurde von der Ingenieurgesellschaft Heidt & Peter mbH in 02/2008 ein stationäres numerisches Grundwasserströmungsmodell (/7/) erstellt, mit dem für das Wasserrechtsverfahren die entsprechenden Prognosen für den wasserrechtlichen Bewilligungsantrag berechnet wurden. Das Grundwasserströmungsmodell ist stationär kalibriert und wurde vom LBEG im Rahmen des Wasserrechtsverfahrens als geeignete Grundlage zur Berechnung der Grundwasserströmung akzeptiert.

Im Rahmen des Wasserschutzgebietsverfahrens wurde das vorliegende Grundwasserströmungsmodell zur Berechnung der Grundwassereinzugsgebiete zur Ermittlung der Schutzzone III verwendet. Das numerische Grundwasserströmungsmodell (MODFLOW-2000) aus 2008 wurde uns vom Auftraggeber als Processing Modflow Datensatz zur Nutzung im Rahmen der aktuellen Projektbearbeitung zur Verfügung gestellt. Der MODFLOW-Datensatz wurde von uns in das Softwaresystem GMS 10.4.8 (Groundwater Modeling System - Aquaveo LLC) importiert und auf numerische Stabilität, Bilanztreue und Vergleichbarkeit der Modellergebnisse mit der dokumentierten Kalibrierung in 2008 (/7/) überprüft. Im Originalmodell erfolgte eine vertikale Diskretisierung mit 5 Modellschichten, wobei die Modellschicht 5 den von den Förderbrunnen genutzten Aquiferbereich repräsentiert. In der Horizontalen erfolgte eine gleichmäßige Diskretisierung des rechteckigen Modellgebietes ($X = 17.325 \text{ m}$ und $Y = 9.900 \text{ m}$) mit $25 \text{ m} \times 25 \text{ m}$ Zellen, so dass mit den 5 Modellschichten insgesamt 1.372.140 Modellzellen im Modell enthalten sind.

Für die im Folgenden beschriebene Anwendung des stationär kalibrierten GwModells wurde das Modell im Nahbereich der Brunnen deutlich horizontal verfeinert, um realistischere GwAbsenkungen im Nahbereich der Förderbrunnen berechnen zu können und hieraus resultierend eine feinere Auflösung der 50-Tage-Zone zu erreichen. Durch die horizontale Modellverfeinerung resultieren nun insgesamt 1.538.755 Zellen im GwModell. Im Bereich der Förderbrunnen erfolgte eine horizontale Verfeinerung bis auf ca. $0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$. Die Ergebnisse der stationären Kalibrierung konnten mit dem verfeinerten Modell erfolgreich nachvollzogen werden.

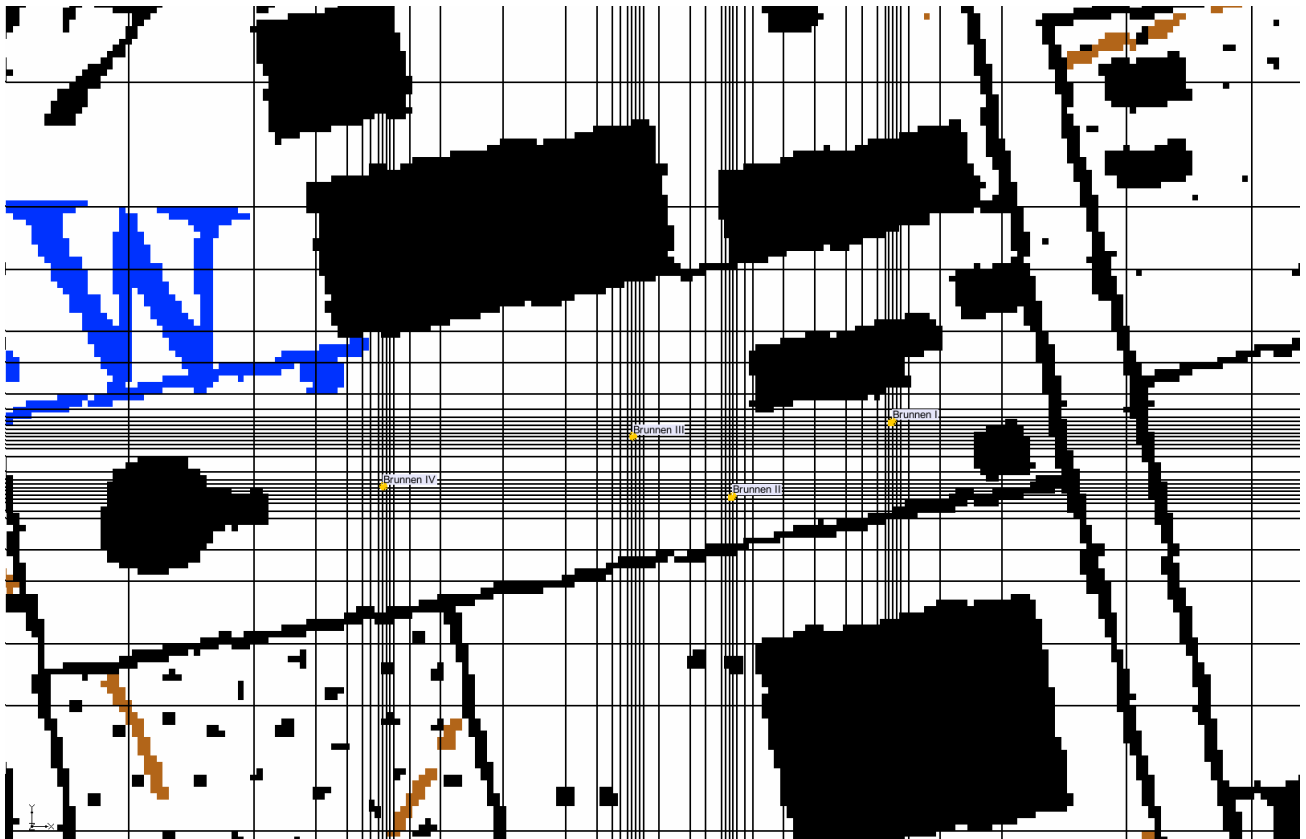


Abbildung 4-1: Verfeinertes GwModell nach /7/ mit Lage der Förderbrunnen und horizontaler Diskretisierung (schwarze Linien) (ohne Maßstab)

4.1 Anwendung des numerischen GwStrömungsmodells zur Bemessung des WSG Zone II

Mit dem zuvor beschriebenen verfeinerten Grundwasserströmungsmodell (nach /7/) wurden Bahnlinienberechnungen durchgeführt und hiermit die Einzugsgebietszonen ermittelt, für die eine Fließzeit von 50 Tagen ausgehend von dem jeweiligen Förderbrunnen benötigt wird.

Für die Mittelsande der Modellschicht 5 (Förderhorizont) ist wie zuvor beschrieben nach den vorhandenen Literaturangaben von einer nutzbaren Porosität (effektiver Porenanteil n_{eff}) zwischen 10 und 20 % auszugehen. Im Sinne eines konservativen Ansatzes wird für die Modellberechnungen (Szenarien) eine nutzbare Porosität von 10 % angesetzt.

Berechnet wird die Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen unter Ansatz der genehmigten Tages-Spitzenförderrate von 6.000 m³ wie folgt:

Tabelle 4-1: Fördermengenansätze [m^3/d] für die Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen

Brunnen	Szenario A	Szenario B	Szenario C1	Szenario C2	Szenario D	Szenario E
I	1.500	2.232	0	3.840	0	0
II	1.500	2.232	3.840	0	1.080	1.080
III	1.500	767	1.080	1.080	1.080	3.840
IV	1.500	767	1.080	1.080	3.840	1.080
Σ	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Mit den in der Tabelle 4-1 beschriebenen Fördermengenansätzen werden sowohl die aktuell realistische Entnahmesituation aufgrund der installierten Pumpenleistungen und der aktuellen Betriebsweise abgebildet, die mit dem Förderbrunnen II als Hauptbrunnen und den Förderbrunnen III und IV als Ergänzungsbrunnen und dem Einsatz des Förderbrunnen I bei Ausfall/Reparatur des Förderbrunnen II vorsieht, als auch die wasserrechtlich genehmigten und damit in der Zukunft möglichen Förderkonfigurationen bei Installation von anderen Förderpumpen in den Brunnen III und IV abgebildet.

Der Ansatz der wasserrechtlich genehmigten Tagesförderrate von 6.000 m^3 im Rahmen der stationären Berechnungen stellt einen konservativen Ansatz für die Fließzeitenberechnung mit dem GwModell dar, da die wasserrechtlich bewilligte Jahresentnahme von 2 Mio. m^3 einer mittleren Tagesentnahme von ca. 5.480 m^3 entspricht.

Die Ergebnisse der Berechnungen der Zonen um die Förderbrunnen mit einer Fließzeit von 50 Tagen zeigt exemplarisch die folgende Abbildung:

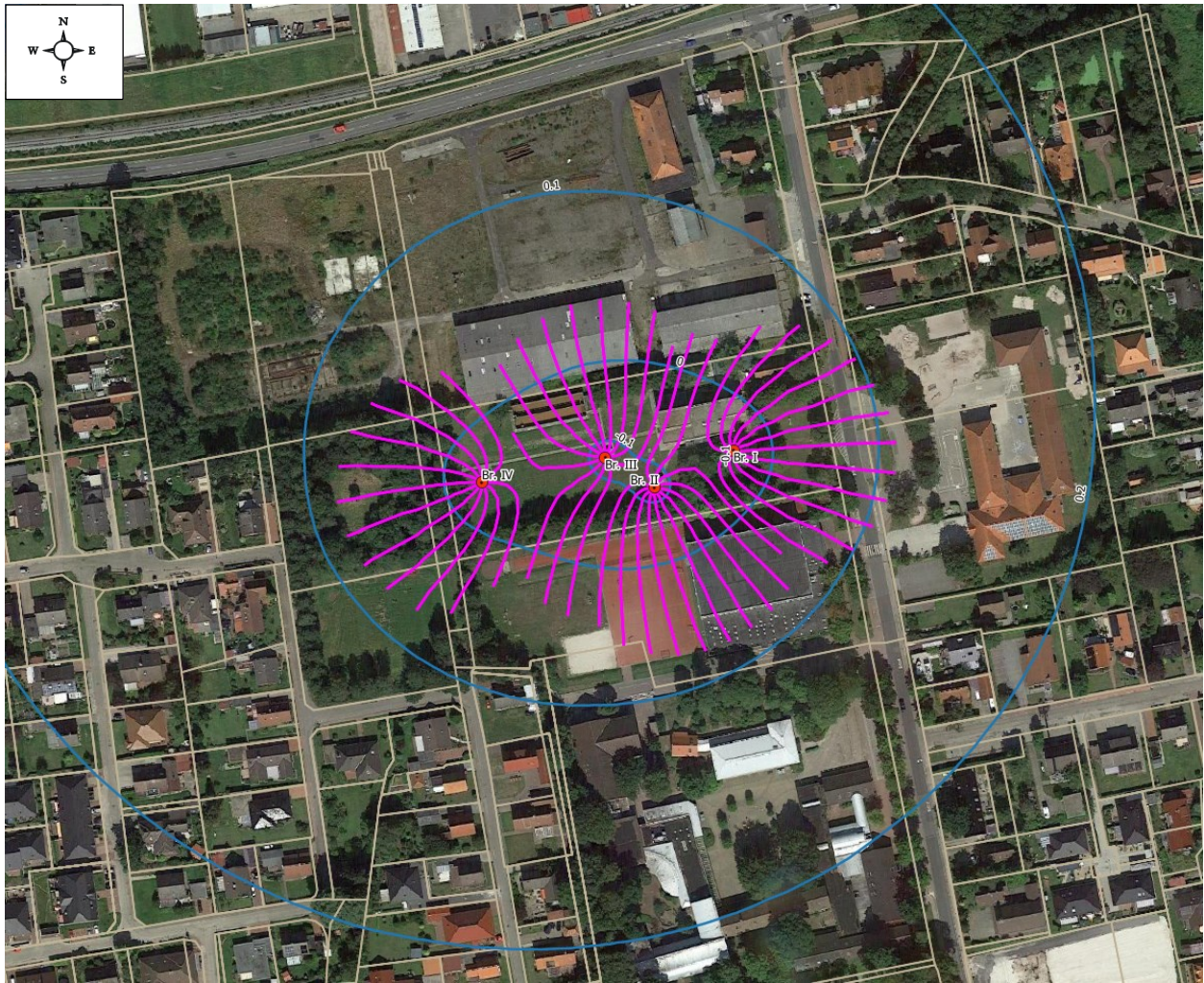


Abbildung 4-2: Förderszenario A – Berechnung der Zone mit einer Fließzeit von 50 Tagen (ohne Maßstab)

Die weiteren Berechnungsszenarien sind in der Anlage 3.2 dokumentiert.

4.2 Bemessung der Engeren Schutzzone (Zone II)

Nach der einschlägigen DVGW-Richtlinie W 101 /17/ kann die Schutzzone II - in Abhängigkeit von der Deckschichtensituation - bis auf 50 m (bezogen auf den jeweiligen Brunnenstandort) reduziert werden oder auch ganz entfallen. Aufgrund der vorliegenden Deckschichtensituation kann dies im vorliegenden Fall nicht angewendet werden. Daher wurde aufbauend auf dem hydrogeologischen Modell das vorhandene Grundwassermodell zur Berechnung der 50-Tag-Zone angewendet.

Basierend auf dem hydrogeologischen Modell und den geohydraulischen Berechnungen wird daher für das WW Hage vorgeschlagen, die Einhüllende der berechneten 50-Tage-Bahnlinien der untersuchten Szenarien als Bemessungsgrundlage zu verwenden. Unter Berücksichtigung der aktuellen Flurstücks Situation resultiert der folgende Bemessungsvorschlag:

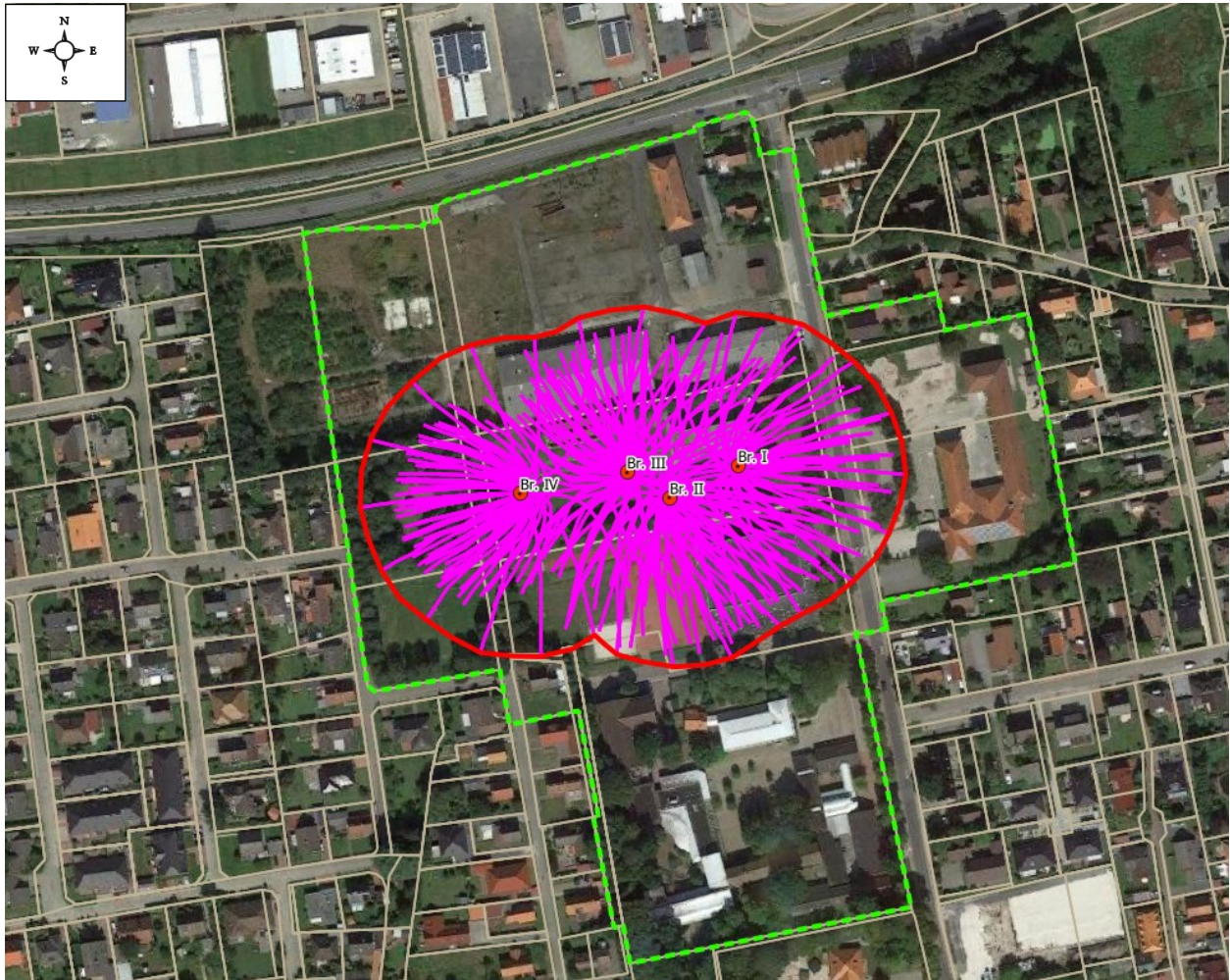


Abbildung 4-3: Abgrenzungsvorschlag Schutzzone II (grüne Linie) für die Förderbrunnen des WW Hage (ohne Maßstab)

Der aktualisierte WSG-Vorschlag für die Förderbrunnen des WW Hage ist flurstücksscharf in der Anlage 3.3 dargestellt.

Büro HG GmbH

Gießen, den 16.02.2021

Dipl.-Geol. Dr. Christoph Möbus