

Trinkwasserverband Verden  
Herrn Dipl.-Ing. Stefan Hamann  
Weserstraße 9a

27283 Verden

## **Bericht Nr. 11 – 23556.1**

# **Hydrogeologisches Gutachten zur Grundwasserentnahme sowie zur Bemessung und Gliederung des Trinkwasserschutzgebietes für das Wasserwerk Panzenberg**

**vom  
18. Oktober 2013**

# I Inhaltsverzeichnis

Seite

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	9
2	Projektunterlagen	11
3	Beschreibung des Betrachtungsgebietes	16
4	Wasserwirtschaftliche Gegebenheiten	18
4.1	Wasserversorgung	18
4.2	Technische Anlagen des Wasserwerks Panzenberg	20
4.3	Weitere Grundwasserentnahmen	21
5	Geographische Verhältnisse	23
6	Hydrologische Verhältnisse	25
6.1	Gewässernetz	25
6.2	Wasserhaushalt	26
7	Geologische Verhältnisse	28
7.1	Datengrundlage	28
7.2	Regionalgeologischer Überblick	28
7.3	Schichtenfolge und Gesteinsbeschreibung	29
7.3.1	Plateaubereich	31
7.3.2	Rinnenbereich	31
8	Bodenkundlicher Überblick	33
9	Hydrogeologische Verhältnisse	36
9.1	Hydrogeologischer Aufbau	36
9.2	Geohydraulische Kenndaten	37
9.3	Grundwasserstände und Grundwasserbewegung	38
9.4	Hydraulische Beziehungen	44
9.5	Grundwasserüberdeckung	45
9.6	Grundwasserneubildung	46

9.7 Grundwasserbeschaffenheit	47
10 Numerisches Grundwasserströmungsmodell	52
10.1 Beschreibung des benutzten Modells	52
10.2 Diskretisierung und Randbedingungen	53
10.3 Systemeigenschaften und Eingangsdaten	58
10.3.1 Durchlässigkeitsbeiwerte und effektive Porositäten	58
10.3.2 Oberflächengewässer	59
10.3.3 Grundwasserneubildung	60
10.3.4 Grundwasserentnahmen	61
10.4 Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells	61
10.5 Validierung des Grundwasserströmungsmodells	68
10.5.1 Instationäre Validierung des Grundwasserströmungsmodells	69
10.5.2 Simulation des Null-Zustandes	71
10.6 Sensitivitätsanalyse des Grundwasserströmungsmodells	72
10.6.1 Hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte der Modellschichten	75
10.6.2 Grundwasserneubildungsrate	75
10.7 Simulation des Ist-Zustandes	76
10.8 Simulation des Prognose-Zustandes	77
10.8.1 Gemeinsame Grundwasserentnahme der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg	77
10.8.2 Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg	79
10.9 Abgrenzung des Einzugsgebietes	81
11 Zusammenfassende Beurteilung der möglichen Auswirkungen der Grundwasserentnahme	83
11.1 Oberflächengewässer	83
11.2 Grundwasserstandsabhängige Vegetation	86
11.3 Weitere Grundwassernutzungen	87
11.4 Bauwerke	88

11.5 Sonstige Auswirkungen	89
12 Bemessung und Gliederung des Wasserschutzgebietes	90
12.1 Fassungsbereich (Zone I)	91
12.2 Engere Schutzzone (Zone II)	91
12.3 Weitere Schutzzone (Zone III)	93
13 Gefährdungspotentiale im Einzugsgebiet	95
13.1 Potentielle Belastungsquellen im Einzugsgebiet	95
13.1.1 Landwirtschaftliche Situation	95
13.1.2 Abwassersituation	96
13.1.3 Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen	96
13.1.4 Deponien	97
13.1.5 Altablagerungen	97
13.1.6 Bodenabbaustätten	97
13.1.7 Sonstige Belastungsquellen	97
13.2 Bewertung des Gefährdungspotentials im Hinblick auf das entnommene Grundwasser	98
14 Konzept für die Beweissicherung und Vorschläge für ergänzende Maßnahmen	100
15 Literaturverzeichnis	102
15.1 Schriften	102
15.2 Karten	105

## **II Anlagenverzeichnis**

- 1 Lage des Betrachtungsgebietes (M 1 : 200.000)
- 2 Lage der Bohrungen und Grundwassermessstellen (M 1 : 50.000)
- 3 Lage der Bohrungen und Grundwassermessstellen in den Fassungsgebieten Panzenberg und Langenberg (M 1 : 25.000)
- 4 Geologische Karte (M 1 : 50.000)
- 5 Tiefenlage der Basis der quartären Schichten (M 1 : 50.000)
- 6 Schematischer Schnitt A - A' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 7 Schematischer Schnitt B - B' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 8 Schematischer Schnitt C - C' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 9 Schematischer Schnitt D - D' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 10 Schematischer Schnitt E - E' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 11 Schematischer Schnitt F - F' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 12 Schematischer Schnitt G - G' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 13 Schematischer Schnitt H - H' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 14 Schematischer Schnitt I - I' (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 15 Grundwassergleichenplan, Hauptgrundwasserleiter (oberer Abschnitt) (Mai 2005) (M 1 : 50.000)
- 16 Grundwassergleichenplan, Hauptgrundwasserleiter (oberer Abschnitt) (Oktober 2006) (M 1 : 50.000)
- 17 Flurabstand der Grundwasseroberfläche (Mai 2005) (M 1 : 25.000)
- 18 Flächendifferenzierte Grundwasserneubildung nach GROWA 06 V2 (M 1 : 50.000)
- 19 Hydrogeologisches Konzeptmodell und vertikale Modelldiskretisierung (M 1 : 50.000 / 1 : 2.000)
- 20 Lage des Modellgebietes und horizontale Modelldiskretisierung (o. M.)
- 21 Vergleich berechneter und konstruierter Grundwassergleichen für den Kalibrierungszustand (Mai 2005) (M 1 : 50.000)

- 22 Vergleich berechneter und konstruierter Grundwassergleichen für den Kalibrierungszustand (Mai 2005) im näheren Umfeld der Fassungsanlagen (M 1 : 20.000)
- 23 Differenz gemessener und berechneter Grundwasserstände für den Kalibrierungszustand (Mai 2005) (M 1 : 50.000)
- 24 Vergleich gemessener und berechneter Grundwasserstände für den Null-Zustand (M 1 : 50.000)
- 25 Berechneter Grundwassergleichenplan bei der geplanten Grundwasserentnahme (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=3,1$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) (M 1 : 50.000)
- 26 Berechneter Grundwasserabsenkungsbereich bei der geplanten Grundwasserentnahme (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=3,1$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) gegenüber dem Ist-Zustand (M 1 : 25.000)
- 27 Berechneter Grundwasserabsenkungsbereich bei der geplanten Grundwasserentnahme (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=3,1$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) gegenüber dem Null-Zustand (M 1 : 25.000)
- 28 Berechneter Grundwassergleichenplan bei der geplanten Grundwasserentnahme des WW Panzenberg (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=2,56$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) (M 1 : 50.000)
- 29 Berechneter Grundwasserabsenkungsbereich bei der geplanten Grundwasserentnahme des WW Panzenberg (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=2,56$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) gegenüber dem Ist-Zustand (M 1 : 25.000)
- 30 Berechneter Grundwasserabsenkungsbereich bei der geplanten Grundwasserentnahme des WW Panzenberg (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=2,56$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) gegenüber dem Null-Zustand (M 1 : 25.000)
- 31 Berechnetes Einzugsgebiet des WW Panzenberg bei der geplanten Grundwasserentnahme (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ , WWL  $Q=3,1$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) (M 1 : 25.000)
- 32 Vorschlag zur Bemessung der Engeren Schutzzone (Zone II) (M 1 : 5.000)
- 33 Vorschlag zur Bemessung und Gliederung der Weiteren Schutzzone (Zone III) (M 1 : 25.000)
- 34 Gefährdungspotentiale im Einzugsgebiet der geplanten Grundwasserentnahme des WW Panzenberg (WWP  $Q=9,5$  Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$ ) (M 1 : 25.000)

- 35 Dokumentation der Modellparameter und Kalibrierungsgrößen
- 36 Berechnete Wasserbilanz des Modellgebietes für den Kalibrierungszustand
- 37 Qualität der Modellanpassung
- 38 Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen
- 39 Gewässerkundliche Hauptwerte ausgewählter Pegel
- 40 Niederschlagsmengen der Messstation WW Panzenberg (1981-2012)
- 41 Rohwasserfördermengen der WW Panzenberg und Langenberg (1970-2012)
- 42 Analysenergebnisse von Rohwasserproben (ausgewählte Parameter)
- 43 PIPER-Diagramm von Rohwasseranalysen
- 44 Entwicklung der Grundwasserbeschaffenheit (ausgewählte Parameter)
- 45 Ablagerungen im ermittelten Einzugsgebiet
- 46 Technische Daten der Brunnen und Grundwassermessstellen
- 47 Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der Brunnen des Wasserwerks Panzenberg
- 48 Bohrprofile und Ausbauzeichnungen der Grundwassermessstellen des Wasserwerks Panzenberg
- 49 Bohrprofile sonstiger Bohrungen und Grundwassermessstellen

### **III Abbildungsverzeichnis**

	Seite
Abbildung 10.2-1: Flächengrößen im Betrachtungsgebiet (nach [28])	54
Abbildung 10.4-1: Durchlässigkeitsbeiwerte und Hohlraumanteil bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung	62

## IV Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 4.2-1: Lage der Brunnen des Wasserwerks Panzenberg	21
Tabelle 10.2-1: Definition der Modellschichten (genereller Aufbau)	56

## V Abkürzungsverzeichnis

BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
DVGW	Deutscher Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
GWL	Grundwasserleiter
KWB	Klimatische Wasserbilanz
LBEG	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
LSG	Landschaftsschutzgebiet
m u. GOK	Meter unter Geländeoberkante
mNN	Meter bezüglich Normalnull
MU Nds	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Hannover
NIBIS	Niedersächsische Bodeninformationssystem
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover
NLWKN	Nds. Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
NSG	Naturschutzgebiet
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TV	Trinkwasserverband
WSG	Wasserschutzgebiet
WW	Wasserwerk
WWL	Wasserwerk Langenberg
WWP	Wasserwerk Panzenberg
WV	Wasserverband



## **1 Veranlassung und Aufgabenstellung**

Der Trinkwasserverband (TV) Verden betreibt die Wasserwerke Wittkoppenberg, Panzenberg und Langenberg. Zur Trinkwasserversorgung wird Grundwasser genutzt. Die Förderung erfolgt über Bohrbrunnen. Für die Grundwasserentnahme des Wasserwerks Langenberg hat der TV Verden im März 2009 einen Antrag auf Erteilung einer neuen wasserrechtlichen Bewilligung gestellt. Für das nahegelegene Wasserwerk Panzenberg wurde eine entsprechende Antragstellung initiiert.

Im Zuge der TÖB-Beteiligung im Wasserrechtsverfahren Langenberg wurde eine gemeinsame hydrogeologische Betrachtung der Grundwasserentnahmen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg gefordert. Es wird für wahrscheinlich gehalten, dass sich die Absenkungsbereiche beider Wasserwerke überlagern und insofern kumulative Grundwasserabsenkungen eintreten können. Es soll daher eine gemeinsame numerische Grundwassermodellierung für beide Wasserwerke durchgeführt werden. Im Fall einer sich bestätigenden Überlagerung der Absenkbereiche ist hierdurch eine Quantifizierung der kumulativen Wirkung möglich.

Für die Erteilung einer neuen wasserrechtlichen Bewilligung ist dem Landkreis Verden neben einem Wasserrechantrag ein hydrogeologisches Gutachten vorzulegen. Da durch die angestrebte Reduktion der Grundwasserentnahmemenge eine Anpassung des festgesetzten Wasserschutzgebietes zu erwarten ist, sind in dem hydrogeologischen Gutachten auch die diesbezüglich erforderlichen Aspekte zu behandeln.

Mit Datum vom 15.02.2011 erhielt die Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, vom Trinkwasserverband Verden den Auftrag zur Erstellung eines hydrogeologischen Gutachtens zur Grundwasserentnahme sowie zur Bemessung und Gliederung der Trinkwasserschutzgebiete für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg.

Zur Vereinfachung des Ablaufs der Wasserrechtsverfahren wurden vom Landkreis Verden für das Wasserwerk Panzenberg bzw. das Wasserwerk Langenberg jeweils getrennte Antragsunterlagen, d. h. jeweils ein separates hydrogeologisches Gutachten, gefordert. Das hydrogeologische Gutachten für das Wasserwerk Panzenberg wird hiermit vorgelegt.

Die erforderlichen Arbeiten dieses hydrogeologischen Gutachtens wurden aus einem generellen Empfehlungskatalog der BGR Hannover und der Geologischen Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland [14], aus den GeoFakten 1, 2 und 8 [17], [12], [28] sowie aus dem GeoBericht 15 [13] abgeleitet. Entscheidende Aussagen des Gutachtens stützen sich auf Simulationsergebnisse eines im Vorwege für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg erstellten dreidimensionalen numerischen Grundwasserströmungsmodells /3/.

## 2 Projektunterlagen

- /1/ Bodenkundliches Beweissicherungsgutachten für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg des Trinkwasserverbandes Verden.- Geries Ingenieure Büro für Standorterkundung GmbH, Gleichen-Reinhausen, in Vorbereitung
- /2/ Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg des Trinkwasserverbandes Verden, Arbeitsgruppe Land & Wasser, Beedenbostel, in Vorbereitung
- /3/ Grundwasserströmungsmodell für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg.- Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH, Stade, 55 S., 16.05.2012.
- /4/ Schutz- und Beratungskonzept für die Kooperation Verden – Trinkwassergewinnungsgebiete Verden, Langenberg, Panzenberg und Wittkoppenberg.- 15.12.2009.
- /5/ Erlaubnis für die Entnahme von Grundwasser im Wasserwerk Panzenberg.- Landkreis Verden, 24.11.2009.
- /6/ Wasserwerk Langenberg – Erläuterungsbericht zum Antrag auf Erteilung einer Bewilligung zur Grundwasserentnahme gemäß § 13 NWG.- Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH, Celle, 37 S., 23.03.2009.
- /7/ Wasserwerk Langenberg – Umweltverträglichkeitsstudie.- Arbeitsgruppe Land & Wasser, Beedenbostel, 272 S., 13.03.2009.
- /8/ Wasserwerk Langenberg – FFH-Verträglichkeitsuntersuchung.- Arbeitsgruppe Land & Wasser, Beedenbostel, 30 S., 13.03.2009.
- /9/ Wasserwerk Langenberg – Landschaftspflegerischer Begleitplan.- Arbeitsgruppe Land & Wasser, Beedenbostel, 104 S., 13.03.2009.

- /10/ Wasserwerk Langenberg – Hydrogeologisches Gutachten.- GeoSystem GmbH, Kiel, 35 S., 05.03.2009.
- /11/ Wasserwerk Langenberg – Modelldokumentation.- GeoSystem GmbH, Kiel, 19 S., 05.03.2009.
- /12/ Erlaubnis für die Entnahme von Grundwasser im Wasserwerk Langenberg.- Landkreis Verden, 30.09.2008.
- /13/ Wasserwerk Langenberg – Landschaftspflegerischer Begleitplan – Wasserbauliche Planung.- Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH, Celle, 30 S., 08.08.2008.
- /14/ Gewässergütebericht 2004 – Chemische Gewässergüte 1992 – 2003.- NLWK, Betriebsstelle Verden, NLWK-Schriftreihe Band 10, August 2004.
- /15/ Gewässerentwicklungsplan Halsebach.- Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH, Celle, 04.04.2003.
- /16/ Bodenkundliche und hydrogeologische Untersuchungen zum Verdenermoor, Gutachten.- Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH, Celle, 33 S., 12.12.2002.
- /17/ Zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg.- GeoSystem GmbH, Kiel, 11 S., 19.03.2001.
- /18/ Zusammenstellung von Ergebnissen der bisherigen landwirtschaftlichen Beweissicherung im WSG Langenberg.- Landwirtschaftskammer Hannover, Bezirksstelle Bremervörde, 2000.
- /19/ Gutachten über den Einfluss von Grundwasserabsenkungen auf den Zuwachs in Waldbeständen im Wasserentnahmegebiet Langenberg bei Verden an der Aller.- Landwirtschaftskammer Hannover, Referat 52, Diemarden, 1999.
- /20/ Hydrogeologische Untersuchungen im Bereich Dauelsen / Verden.- GeoSystem GmbH, Kiel, 10 S., 24.03.1999.

- /21/ Wiederansiedlung von Wanderfischen im Wesereinzugsgebiet - Überprüfung der Laichhabitate im Wesereinzugsgebiet, Teil 1, Arge Weser, Dezember 1998.
- /22/ Hydrogeologische Untersuchungen im Verdener Moor – Wassergewinnungsgebiet Langenberg.- GeoSystem GmbH, Kiel, 29 S., 10.03.1998.
- /23/ Überprüfung der technischen Daten und Grundwasserstandsmessungen Wasserwerk Langenberg.- GeoSystem GmbH, Kiel, 19 S., 18.12.1997.
- /24/ Untersuchungen im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg zur Wasserführung im Halsebach.- GeoSystem GmbH, Kiel, 16 S., 05.02.1996.
- /25/ Bericht zur Erweiterung des Grundwassermessstellennetzes und Detailauswertung der Luftbildbefliegung im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg.- GeoSystem GmbH, Kiel, 12 S., 05.02.1996.
- /26/ Vergleichende Kartierung der landwirtschaftlichen Nutzung / Wachsminderung und der Vitalität ausgesuchter Laubholzstandorte, 1984 und 1994, Abschlußbericht.- Hansa Luftbild GmbH, November 1995.
- /27/ Hydrogeologische und bodenkundliche Untersuchungen im Halsebachtal, Wassergewinnungsgebiet Panzenberg.- GeoSystem GmbH, Kiel, 12 S., 08.05.1995.
- /28/ Aktuelle Nutzung im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg, Interpretationsschlüssel.- Hansa Luftbild GmbH, Juli 1994
- /29/ Hydrogeologische Untersuchungen im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg.- GeoSystem GmbH, Kiel, 47 S., 11.02.1994.
- /30/ Hydrogeologische Untersuchungen im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg, Datensammlung und Datenaufbereitung.- GeoSystem GmbH, Kiel, 11 S., 24.05.1993.
- /31/ Landwirtschaftliche Beweissicherung 1985 / 1986

- /32/ Änderungsbescheid zum Bewilligungsbescheid vom 16.11.1979 für das Wasserwerk Panzenberg- Reservebrunnen PAN VII.- Bezirksregierung Lüneburg, 13.01.1984.
- /33/ Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Panzenberg des Trinkwasserverbandes Landkreis Verden.- Bezirksregierung Lüneburg, 28.09.1983.
- /34/ Bodenkundliches Gutachten zur Beweissicherung für das Wasserwerk Langenberg / Verden.- NLfB, Hannover, 1983
- /35/ Bodenkundliches Gutachten zur Beweissicherung im Grundwassergewinnungsgebiet Panzenberg.- NLfB, Hannover, 1980
- /36/ Wasserrechtlicher Bewilligungsbescheid der Bezirksregierung Lüneburg, Außenstelle Stade, für die Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg, 16.11.1979.
- /37/ Wasserrechtlicher Bewilligungsbescheid der Bezirksregierung Lüneburg, Außenstelle Stade, für die Grundwasserentnahme des Wasserwerks Langenberg, 12.09.1978.
- /38/ Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Langenberg des Trinkwasserverbandes Landkreis Verden.- Der Regierungspräsident in Stade, 29.08.1977.
- /39/ Gutachten über die Ergebnisse hydrogeologischer Untersuchungen im Grundwasser-Erschließungsgebiet Panzenberg des Trinkwasserverbandes Landkreis Verden.- NLfB, Hannover, 10 S., 09.09.1974.
- /40/ Gutachten über die Ergebnisse hydrogeologischer Untersuchungen im Grundwasser-Erschließungsgebiet Langenberg des Trinkwasserverbandes Landkreis Verden.- NLfB, Hannover, 10 S., 08.12.1971.

- /41/ Diverse Unterlagen des Trinkwasserverbands Verden (Lagepläne, Grundwasserstandsdaten, Schichtenverzeichnisse und Ausbaupläne von Grundwassermessstellen und Brunnen, Grundwasserfördermengen, Analysedaten, Niederschlagsdaten etc.).
- /42/ Diverse Unterlagen des NLWKN Verden (Stammdaten von Grundwassermessstellen, Grundwasserstandsdaten, Wasserstände und Abflussmengen an Gewässerpegeln, Wasserkörperdatenblätter).
- /43/ Diverse Unterlagen und Daten des Landkreises Verden (Gefährdungspotentiale für das Grundwasser im Einzugsgebiet).
- /44/ Diverse Unterlagen und Daten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksstelle Bremervörde – Außenstelle Verden (Daten zur landwirtschaftlichen Flächennutzung, Gefährdungspotentiale für das Grundwasser im Einzugsgebiet).
- /45/ Daten zur Grundwasserneubildung nach dem Verfahren GROWA 06 des LBEG, Hannover.
- /46/ NIBIS-Kartenserver des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover: [http://www.lbeg.niedersachsen.de/live/live.php?navigation\\_id=600&article\\_id=72321&\\_psmand=4](http://www.lbeg.niedersachsen.de/live/live.php?navigation_id=600&article_id=72321&_psmand=4)
- /47/ Map-Server der Niedersächsischen Umweltverwaltung, Nds. Ministerium für Umwelt und Klimaschutz: [http://www.umweltkarten-niedersachsen.de/GlobalNetFX\\_Umweltkarten/](http://www.umweltkarten-niedersachsen.de/GlobalNetFX_Umweltkarten/)
- /48/ Informationen des Wasser- und Schifffahrtsamtes Verden: hydrologische Kennwerte der Weser und Aller im Zuständigkeitsbereich des WSA Verden: [http://www.wsa-verden.wsv.de/gew\\_kunde/pegel/index.html](http://www.wsa-verden.wsv.de/gew_kunde/pegel/index.html)
- /49/ Internetgestützter Infodienst Grundwasserschutz – Wasserhaushalt 2008/2009 des LBEG, Hannover: <http://www.memas01.lbeg.de/lucidamap/igw/>

### 3 Beschreibung des Betrachtungsgebietes

Das Betrachtungsgebiet umfasst das Absenkungs- und Einzugsgebiet der Grundwasserentnahmen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg sowie deren weiteres Umfeld. Es erstreckt sich auf die Blätter 2920 Achim, 2921 Ahausen, 2922 Kirchwalsede, 2923 Bothel, 3020 Thedinghausen, 3021 Verden (Aller), 3022 Bendingbostel, 3023 Visselhövede, 3120 Hoya, 3121 Dörverden, 3122 Häuslingen, 3123 Walsrode, 3220 Bücken, 3221 Eystrup, 3222 Rethem (Aller) und 3223 Hodenhagen der Topographischen Karte 1 : 25.000 (**Anlagen 1 und 2**).

Im Norden wird das Betrachtungsgebiet durch die Ortslage Eversen und im Osten durch die Warnau bzw. das Niederungsgebiet der Böhme begrenzt. Die südwestliche Berandung verläuft entlang des Vorfluters Aller. Im Westen endet das Betrachtungsgebiet im Bereich der Ortslage Langwedel (**Anlage 2**).

Das Betrachtungsgebiet liegt im Bundesland Niedersachsen in den Landkreisen Verden, Rotenburg (Wümme) und Heidekreis. Es erstreckt sich auf die Gebiete folgender Städte und Gemeinden:

a) Landkreis Rotenburg (Wümme)

- Stadt Visselhövede
- Samtgemeinde Sottrum
- Samtgemeinde Bothel

b) Landkreis Verden

- Stadt Verden (Aller)
- Gemeinde Kirchlinteln
- Gemeinde Langwedel
- Gemeinde Dörverden
- Gemeinde Ottersberg
- Samtgemeinde Thedinghausen



c) Landkreis Heidekreis

- Stadt Walsrode
- Samtgemeinde Ahlden
- Samtgemeinde Rethem / Aller

Das Betrachtungsgebiet liegt größtenteils innerhalb der Fläche des Grundwasserkörpers Böhme Lockergestein rechts (NI09 4\_2201). Der Bereich nördlich des Höhenzugs des Weißen Moores gehört zum Grundwasserkörper Wümme Lockergestein links (NI05 4\_2402).

Die Grundwasserentnahme der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg erfolgt aus dem Grundwasserkörper Böhme Lockergestein rechts. Das ermittelte nutzbare Grundwasserdargebot des gemäß Runderlass des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt und Klimaschutz, Hannover, (MU Nds.) [26] für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg relevanten Grundwasserkörpers beträgt 43,46 Mio. m<sup>3</sup>/a, wobei sich die nutzbare Dargebotsreserve auf 17,56 Mio. m<sup>3</sup>/a und die aufgeteilte nutzbare Dargebotsreserve (Verden) auf 4,54 Mio. m<sup>3</sup>/a beläuft.

Seitens des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), ist die NLWKN - Betriebsstelle Verden, Bürgermeister-Münchmeyer-Straße 6, 27283 Verden, zuständig.

## 4 Wasserwirtschaftliche Gegebenheiten

### 4.1 Wasserversorgung

Die Wasserwerke Panzenberg (Anlagen-Nr. 361 012 102) und Langenberg (Anlagen-Nr. 361 005 101) werden vom Trinkwasserverband Verden, Weserstraße 9a, 27283 Verden (Aller) betrieben. Die Wasserfassungen befinden sich auf den Blättern 3021 Verden (Aller) und 3022 Bendingbostel der Topographischen Karte 1 : 25.000 (**Anlage 2**).

Der Trinkwasserverband Verden verfügt für das Wasserwerk Panzenberg über eine von der Bezirksregierung Lüneburg, Außenstelle Stade ausgestellte Bewilligung, zur Trink- und Brauchwasserversorgung aus den auf den Flurstücken

- 33, Flur 1, Gemarkung Scharnhorst
- 60/3, Flur 1, Gemarkung Scharnhorst
- 108/5, Flur 1, Gemarkung Scharnhorst
- 222/114, Flur 1, Gemarkung Scharnhorst
- 13/2, Flur 2, Gemarkung Scharnhorst
- 133/2, Flur 3, Gemarkung Walle
- 108/1, Flur 5, Gemarkung Scharnhorst

gelegenen bzw. geplanten sechs Brunnen und einem zusätzlichen Reservebrunnen Grundwasser in einer Entnahmemenge von zusammen bis zu

- 35.000 m<sup>3</sup>/d, maximal
- 27.500 m<sup>3</sup>/d, Jahresmittel und
- 10 Mio. m<sup>3</sup>/a.

zutage zu fördern und zu entnehmen. Diese Bewilligung war bis zum 30.11.2009 gültig /36/.

Dem Trinkwasserverband wurde am 24.11.2009 vom Landkreis Verden die Erlaubnis erteilt, im Wasserwerk Panzenberg nach Maßgabe des Bewilligungsbescheides vom 16.11.1979 Grundwasser zur Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung zu entnehmen /5/.

Mit Verordnung vom 28.09.1983 wurde das Wasserschutzgebiet für das Wasserwerk Panzenberg festgesetzt /33/. Die **Anlagen 2** und **3** zeigen die Grenzen der Schutzzonen II und III.

Das vom Trinkwasserwerk Verden geförderte und aufbereitete Grundwasser sichert die öffentliche Trinkwasserversorgung von ca. 38.400 Haushalten im Versorgungsgebiet. Die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg versorgen die Gemeinden Kirchlinteln, Dörverden, die Samtgemeinden Thedinghausen und Eystrup sowie den Flecken Langwedel. Der Trinkwasserverband Verden beliefert ebenfalls die Stadt Bremen mit Trinkwasser.

In der **Anlage 41** ist die Entwicklung der jährlichen Grundwasserentnahmemengen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg für den Zeitraum von 1970 bis 2012 dargestellt. Grundlage dieser Zusammenstellung sind die vom Trinkwasserverband Verden zur Verfügung gestellten Daten. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass die jährlich entnommene Rohwasserfördermenge des WW Panzenberg bis 1981 zwischen ca. 0,6 Mio. m<sup>3</sup>/a und ca. 0,9 Mio. m<sup>3</sup>/a lag. Nach der Fertigstellung der Brunnen PAN IV bis PAN VI stieg die Grundwasserentnahme stetig an und betrug im Jahr 1992 ca. 8,9 Mio. m<sup>3</sup>/a. Im Zeitraum seit 1992 schwankten die Fördermengen des Wasserwerks Panzenberg zwischen ca. 7,7 Mio. m<sup>3</sup>/a und ca. 9,7 Mio. m<sup>3</sup>/a. Die Brunnen PAN I bis PAN VI zeigen seit Mitte der 90er annähernd gleiche Anteile bei der Grundwasserförderung mit einer jährlichen Fördermenge zwischen ca. 1,1 Mio. m<sup>3</sup> und 1,6 Mio. m<sup>3</sup>.

Im Mittel der Jahre 2002 bis 2011 wurden im Wasserwerk Panzenberg etwa 8,91 Mio. m<sup>3</sup>/a und im Wasserwerk Langenberg etwa 2,56 Mio. m<sup>3</sup>/a gefördert.

#### **4.2 Technische Anlagen des Wasserwerks Panzenberg**

Am Standort Panzenberg betreibt der Trinkwasserverband Verden gegenwärtig sieben aktive Förderbrunnen und unterhält ein Netz aus ca. 170 in unterschiedlichen Tiefen verfilterten Grundwassermessstellen bzw. Messstellengruppen. Die Lage der Wasserfassungen, Grundwassermessstellen sowie weiterer Bohrungen ist **Anlage 2** zu entnehmen.

Die Errichtung des Wasserwerks Panzenberg geht auf das Jahr 1969 zurück. Die Wassererschließung begann 1969 mit dem Bau von PAN I. Das Wasser wurde zunächst in einem Behelfswasserwerk aufbereitet. Im Jahr 1978 folgten die Brunnen PAN II und PAN III. Nach der Bewilligung der Bezirksregierung Lüneburg vom 16.11.1979 für eine Entnahmemenge von 10 Mio. m<sup>3</sup>/a wurde mit der Erweiterung des Wasserwerks begonnen. Bis 1981 wurden die Brunnen PAN IV, PAN V und PAN VI gebaut. Der Brunnen PAN VII wurde 1984 erstellt. Der 1980 begonnene Bau des neuen Wasserwerks war im April 1984 abgeschlossen. Im Jahr 2001 erfolgte der Neubau des Brunnens PAN III bzw. im Jahr 2003 des Brunnens PAN I. Die Standorte der Brunnen liegen im Bereich der Panzenberger Rinne.

Das Grundwasser wird von den Brunnen durch die Rohwasserleitungen zur Aufbereitungsanlage des Wasserwerks Panzenberg gefördert. In einem Mischkessel wird das Rohwasser mit Sauerstoff oxidiert und die Enteisenung betrieben. Der Sauerstoff bewirkt die Oxydation der im Rohwasser gelösten Eisen- und Mangansalze, die nach dieser Behandlung ausflocken und in nachgeschalteten zweistufigen Fallverdüsungsfiltern zurückgehalten werden. Neben der Enteisenung und Entmanganung erfolgt in den mit feinkörnigem Material gefüllten Filtern durch die Verdüsung des Wassers eine zusätzliche Anreicherung mit Luftsauerstoff und Austreibung der überschüssigen Kohlensäure. Der verbleibende Restgehalt an

Kohlensäure wird durch geringfügige Zugabe von Natriumhydroxyd bis zum Kalkkohlendioxidgleichgewicht abgebunden. Von den anschließenden Reinwasserbehältern wird dann das Trinkwasser über das Rohrnetz zu den Verbrauchern befördert.

Die aktuelle Grundwasserförderung erfolgt über die Brunnen PAN I bis PAN VII. In der Tabelle 4.2-1 ist die Lage der Brunnen aufgeführt.

Bezeichnung	Gemarkung	Flur	Flurstück	Rechtswert	Hochwert	Baujahr
PAN I	Scharnhorst	1	108/5	<sup>35</sup> 19133	<sup>58</sup> 70570	2003
PAN II	Scharnhorst	1	222/114	<sup>35</sup> 19405	<sup>58</sup> 71085	1978
PAN III	Walle	3	133/5	<sup>35</sup> 19669	<sup>58</sup> 71455	2001
PAN IV	Scharnhorst	1	160/3	<sup>35</sup> 18724	<sup>58</sup> 70182	1981
PAN V	Scharnhorst	1	33/1	<sup>35</sup> 18353	<sup>58</sup> 69384	1980
PAN VI	Scharnhorst	2	13/3	<sup>35</sup> 17928	<sup>58</sup> 69010	1980
PAN VII	Holtum-Geest	5	43/4	<sup>35</sup> 20118	<sup>58</sup> 71946	1984

Tabelle 4.2-1: Lage der Brunnen des Wasserwerks Panzenberg

Technische Angaben zu den einzelnen Förderbrunnen sowie zu den Grundwassermessstellen des Wasserwerks Panzenberg (Messpunkthöhen, Lage und Länge der Filterstrecken etc.) sind in **Anlage 46** zusammengestellt.

### 4.3 Weitere Grundwasserentnahmen

Neben den Wasserwerken Panzenberg und Langenberg entnehmen im Betrachtungsgebiet die Stadtwerke Verden Grundwasser zum Zweck der öffentlichen Trinkwasserversorgung. Die drei Brunnen des von den Stadtwerken Verden betriebenen Wasserwerks Brunnenweg (Anlagen-Nr. 361 012 101) liegen ca. 2 km südwestlich des Fassungsgebietes des Wasserwerks Panzenberg. Die bewilligte Grundwasserentnahmemenge für dieses Wasserwerk beträgt 2,2 Mio. m<sup>3</sup>/a. Die jährliche Fördermenge der Stadtwerke Verden beträgt ca. 1,5 Mio. m<sup>3</sup>. Die Begrenzungen der

Schutzzonen II und III des Trinkwasserschutzgebietes für das Wasserwerk Verden sind der **Anlage 2** zu entnehmen.

Neben den genannten Grundwasserentnahmen bestehen im Betrachtungsgebiet einige wasserrechtliche Genehmigungen zur Entnahme von Grundwasser zur gewerblichen Nutzung und für landwirtschaftliche Zwecke. Die einzelnen genehmigten Entnahmemengen variieren zwischen 720 m<sup>3</sup>/a und 200.000 m<sup>3</sup>/a. Die Lage der Brauchwasser- / Beregnungsbrunnen ist der **Anlage 2** zu entnehmen. Die wasserrechtlich genehmigten Grundwasserentnahmen Dritter in einer für das numerischen Grundwasserströmungsmodell (vgl. Kapitel 10) relevanten Größenordnung (>20.000 m<sup>3</sup>/a) wurden im Modell berücksichtigt und sind in der **Anlage 35** aufgelistet und dokumentiert.

## 5 Geographische Verhältnisse

Die Wasserwerke des Trinkwasserverbands Verden liegen ca. 2 km nördlich der Ortslage Verden (WW Panzenberg) und ca. 4 km östlich der Ortslage Kirchlinteln (WW Langenberg). Naturräumlich gesehen befinden sich die Wasserwerke und die Wasserefassungen im Bereich der Achim-Verdener Geest, einem Teilgebiet der Stader Geest. Nördlich des Geestrückens liegt das Wümme-Becken. Nach Süden hin schließt sich das Weser-Aller Flachland an.

Die Achim-Verdener Geest weist im Betrachtungsgebiet Geländehöhen bis ca. +80 mNN auf. Die höchste natürliche Erhebung ist der ca. +93 mNN hohe Höllenberg östlich der Ortslage Visselhövede. Der Geestrücken befindet sich durchschnittlich auf einem Niveau von ca. +60 mNN. Die Brunnen des Wasserwerks Panzenberg erstrecken von ca. +32 mNN (Brunnen PAN VI) bis ca. +49 mNN (Brunnen PAN VII). Im Bereich der Fassungsanlagen des Wasserwerks Langenberg liegen die Geländehöhen zwischen ca. +34 mNN und ca. +39 mNN. Zu den tiefer gelegenen Gebieten des Weser-Aller Flachlandes hin fällt das Gelände auf Höhen von ca. +15 mNN ab.

Der größte Teil des Betrachtungsgebietes wird landwirtschaftlich genutzt; im Geestbereich erfolgt vorwiegend ackerbauliche Nutzung, während im Niederungsbereich Grünlandnutzung vorherrscht. In der Geest findet in Teilbereichen eine forstwirtschaftliche Nutzung statt. Größere zusammenhängende Waldflächen bilden das Spanger Holz, das Wedeholz, der Salingsloher Forst, Groß Heinser Forst, der Botterbusch und der Gutsforst Stellichte. Große Bereiche werden von Nieder- und Hochmoorflächen wie dem Holtumer Moor, Weißen Moor, Ochsenmoor, Grundloses Moor, Vehmsmoor, Wittmoor, Jeddinger Moor, Verdener Moor und Hühnermoor gebildet. Im westlichen Bereich des Betrachtungsgebietes befindet sich die Siedlungsfläche der Stadt Verden (Aller).

Im Betrachtungsgebiet befinden sich u.a. das Landschaftsschutzgebiet (LSG) „Lehrdetal“, „Sachsenhain“, „Halsetal“ und „Hügelgräberheide am Halsetal“ sowie die Naturschutzgebiete „Waller Moor“, „Wolfsgrund“ und „Auequelle“. Das Naturschutzgebiet „Dünengebiet bei Neumühlen“ befindet sich südlich des Wasserschutzgebietes Panzenberg. Südlich bzw. südwestlich des Wasserwerks Langenberg liegen die Naturschutzgebiete Verdener Moor und Hühnermoor. Weitere Naturschutzgebiete im Betrachtungsgebiet sind „Ottinger Ochsenmoor“, „Grundloses Moor“ und „Vehmsmoor“.



## 6 Hydrologische Verhältnisse

### 6.1 Gewässernetz

Das Vorflutsystem des Betrachtungsgebietes gehört zum Einzugsgebiet der Weser. Generell werden die Niederschlagswässer gemäß den morphologischen Gegebenheiten in den Vorflutern gesammelt und von der Geest in die Niederungen abgeführt. Auf dem W-E verlaufenden Höhenrücken der Verdener Geest verläuft im Bereich der Ortslagen Holtum (Geest) – Rahnhorst – Dressel – Jeddingen – Visselhövede eine oberirdische Wasserscheide. Nördlich der Wasserscheide erfolgt die oberirdische Entwässerung in die Wümme, die in westlicher Richtung zur Weser entwässert. Die Entwässerung der südlich der Wasserscheide gelegenen Geest- und Moorflächen erfolgt über Vorfluter und Abzugsgräben, die in die Aller fließen. Die wesentlichen nach Süden fließenden Vorfluter im Betrachtungsgebiet sind Langwedeler Mühlenbach, Halsebach, Gohbach, Lehrde und Böhme. Die Aller liegt im südlichen Teil des Betrachtungsgebietes und fließt nach Nordwesten. Westlich von der Ortslage Verden mündet sie in die Weser.

Vorhandene Gewässerpegel sind in **Anlage 2** dargestellt, die zugehörigen gewässerkundlichen Hauptwerte der für die Grundwasserströmungsmodellierung relevanten vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Verden sowie dem NLWKN, Betriebsstelle Verden, betriebenen Pegel sind als tabellarische Übersicht in **Anlage 39** zusammengestellt /42/, /48/.

Im Bereich der Fassungsreihe des Wasserwerks Panzenberg verläuft der Halsebach; ein Vorfluter vom Gewässertyp „kiesgeprägte Tieflandbäche“ /42/. Die Quelle des Halsebaches liegt auf einer Höhe von ca. +45 mNN südlich der Ortslage Holtum. Das relativ flache Gewässer ist ca. 9,3 km lang und fließt zunächst in südwestliche Richtung. In einem Bachabschnitt im Bereich der Bahntrasse nach Soltau zeigt der Halsebach keine Wasserführung und ist trockengefallen. Die Wasserführung setzt im Bereich der Ortslage Scharnhorst wieder ein. Der Halsebach unterquert zwischen den

Autobahnanschlussstellen Verden-Nord und Verden-Ost die A 27 und fließt weiter in westliche Richtung. Nordwestlich der Ortslage Verden mündet der Halsebach in die Aller, kurz bevor diese in die Weser mündet.

An der Brücke der Kreisstraße K 28 wurde der Gewässerpegel Uhlemühlen eingerichtet; seit November 1980 wurden hier Wasserstands- und Abflussmessungen im Halsebach durchgeführt. Im Jahr 1984 wurde der Pegel im Rahmen einer Straßenbaumaßnahme verlegt und befindet sich seitdem nördlich der Einmündung des Steinbachs. Bis 1989 wurden hier nur noch die Wasserstände ermittelt. Etwa 900 m bachaufwärts wurde ein neuer Pegel (Gewässerpegel Dovemühlen) eingerichtet und seit September 1990 werden die Wasserstände und Abflussmengen gemessen /29/.

An der Lehrde und am Gohbach befinden sich Gewässerpegel des Gewässerüberwachungssystems Niedersachsen. Für die Pegel Weitzmühlen (Gohbach) und Lehringen (Lehrde) existieren Wasserstands- und Abflussdaten des NLWKN /42/. Anhand der an den Pegeln Weitzmühlen und Lehringen gemessenen Niedrigwasserabflüsse wurden die im Rahmen der Modellierung mittels Wasserbilanz errechneten Abflussmengen der Vorfluter verifiziert (Kap. 10.4). Die Wasserstände der Aller und Weser lassen sich dem gewässerkundlichen Informationssystem der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes entnehmen.

## 6.2 Wasserhaushalt

Für die Beschreibung der Niederschlagshöhen in der Umgebung des Wasserwerks Panzenberg können die für den Zeitraum von Januar 1981 bis Dezember 2012 vorliegende Aufzeichnungen der Wetterstation des Wasserwerks Panzenberg herangezogen werden /41/. Die täglich registrierten Niederschlagsmengen sind in der **Anlage 40** als Monats- und Jahressummen tabellarisch erfasst und grafisch dargestellt.

Die jährlichen Niederschlagshöhen in der Umgebung des Wasserwerks Panzenberg schwanken im Betrachtungszeitraum 1981 bis 2012 zwischen 533,2 mm (1996) und 1.031,1 mm (2001), der arithmetische Mittelwert beläuft sich auf ca. 726 mm/a.

Gemäß der im Hydrogeologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland publizierten Daten [4] ist im Betrachtungsgebiet von einer mittleren jährlichen Niederschlagshöhe zwischen 700 mm/a und 800 mm/a (ohne Korrektur), bzw. zwischen 700 mm/a und 900 mm/a (mit Korrektur) auszugehen. Für die zugehörige tatsächliche Verdunstungshöhe wird in Abhängigkeit von den lokalen Gegebenheiten eine relativ große Schwankungsbreite zwischen 400 mm/a bis 600 mm/a ausgewiesen. Der aus der Differenz von Niederschlag und realer Verdunstung ermittelbare Anteil an ober- und unterirdischem Abfluss bewegt sich für das Betrachtungsgebiet demnach in einer Größenordnung von ca. 200 mm/a bis 400 mm/a.

Die mittlere jährliche Grundwasserneubildung bewegt sich für das Betrachtungsgebiet flächendifferenziert in einer Größenordnung von ca. 25 mm/a bis 350 mm/a [45]. In Kapitel 9.6 ist die flächendifferenzierte Verteilung der Grundwasserneubildungsrate im Untersuchungsgebiet beschrieben, die nach dem Verfahren GROWA 06 V2 [22] ermittelt wurde. Sie dient als Eingangsgröße für die Grundwasserströmungsmodellierung.

## 7 Geologische Verhältnisse

### 7.1 Datengrundlage

Informationen über den Aufbau des Untergrunds im Bereich der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg lassen sich aus den hier abgeteufte Bohrungen gewinnen. Die Lage der für die Erstellung dieses Gutachtens herangezogenen Bohrungen, Grundwassermessstellen und Brunnen ist in den **Anlagen 2** und **3** dargestellt. Die technischen Daten der Brunnen und Grundwassermessstellen im Betrachtungsgebiet sind in einer tabellarischen Übersicht in **Anlage 46** zusammengestellt.

### 7.2 Regionalgeologischer Überblick

Die Landschaftsgliederung, die Formen und oberflächennahen Ablagerungen im Betrachtungsgebiet sind in erster Linie ein Ergebnis der nordischen Vereisungen, des Eiszeitklimas und der nacheiszeitlichen, erdgeschichtlich jungen Entwicklungen. Der Untergrund – soweit er für die Grundwassererschließung von Bedeutung ist – besteht aus quartären Schichten, die überwiegend von Sedimenten tertiären Alters unterlagert werden.

Im Geestbereich stellen daher pleistozäne Schichten den weitaus größten Teil der vorgefundenen quartären Ablagerungen dar. In den Niederungsgebieten liegen deutlich erhöhte Mächtigkeiten an holozänen Ablagerungen vor. Die Mächtigkeit der quartären Ablagerungen variiert zwischen ca. 20 m und ca. 350 m. Die großen Mächtigkeitsunterschiede der quartären Sedimente sind die Folge der in der Elster-Kaltzeit erfolgten Tiefenerosion unter dem Inlandeis, durch die eine stark reliefierte Oberfläche des Tertiärs entstand. In besonders stark ausgeräumten Bereichen – den Rinnen – wurden nachfolgend mächtige quartäre Sedimente abgelagert. Auf den die Rinnen begrenzenden Bereichen – den Platten oder Plateaus – fällt die Mächtigkeit entsprechend geringer aus.

Die Tiefenlage der Quartärbasis ist in **Anlage 5** dargestellt. Im westlichen Teil des Betrachtungsgebietes verläuft eine elsterzeitliche Schmelzwasserrinne von Südsüdost nach Nordnordwest entlang der Linie Dörverden-Verden-Westerwalsede. Diese ca. 1,5 km breite Schmelzwasserrinne wird als „Panzenberger Rinne“ bezeichnet und setzt sich nach Nordosten als „Rotenburger Rinne“ fort. Die Tiefenlage der Basis der quartären Schichten liegt im Rinnenbereich verbreitet bei ca. -200 mNN und reicht bis maximal ca. -275 mNN. Die Brunnen der Wasserwerke Panzenberg und Brunnenweg sind in dem Bereich dieser Rinne angeordnet. Eine zweite elsterzeitliche Schmelzwasserrinne verläuft ca. 10 km weiter östlich parallel zur Rotenburger Rinne. Hier reicht die Quartärbasis bis auf ein Niveau von maximal ca. -110 mNN. Die Brunnen des Wasserwerks Langenberg sind in einem westlichen Ast der Großstruktur, der „Kükenmoor Rinne“, ausgebaut. In den Plateaubereichen verringert sich die Tiefenlage der Quartärbasis auf ca. -25 mNN bis +25 mNN.

Die kennzeichnenden Strukturen im tieferen Untergrund des zu betrachtenden Gebietes sind die Salzstöcke Verden, Hamwiede und Wedehof.

### 7.3 Schichtenfolge und Gesteinsbeschreibung

Einen Überblick über die im Betrachtungsgebiet oberflächennah bis zu einer Tiefe von ca. zwei Metern anstehenden Sedimente vermittelt die als **Anlage 4** beigefügte geologische Karte. Die in den **Anlagen 6 bis 14** dargestellten schematisierten hydrogeologischen Schnitte A-A' bis I-I' visualisieren den geologischen Aufbau des tieferen Untergrunds. Der Verlauf der Profilführungen ist in der **Anlage 2** zu entnehmen. Geringmächtige oberflächennah anstehende Sedimente sind in den Profilschnitten nicht dargestellt.

Die jüngsten im Betrachtungsgebiet auftretenden Sedimente sind holozänen Alters. Es handelt sich um fluviatile Sande der Aller und deren Nebenläufe, um Nieder- und Hochmoortorfe, die sich in den Niederungsgebieten, bereichsweise aber auch auf den

Geestflächen entwickelt haben. Größere Moorflächen treten u. a. im Verdener Moor, Jeddinger Moor und im Weißen Moor auf. Die Ausdehnung und Mächtigkeit der Moore veränderte sich durch Abtorfungs- und Kultivierungsmaßnahmen. Außerdem kommen im Untersuchungsgebiet auch holozäne Dünenbildungen vor, z. B. im Bereich Neumühlen (NSG Dünengebiet bei Neumühlen).

Während der Weichsel-Kaltzeit wurden im Bereich der Vorfluter fluviale Sande abgelagert. Zum Ende der Weichsel-Kaltzeit kam es bereichsweise zur Sedimentation von Flugsanden in Form von mittelsandigen Feinsanden.

Die Geestflächen werden oberflächennah vorwiegend durch pleistozäne Sedimente aufgebaut. Es handelt sich um eine Grundmoräne der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Stadium), die als Geschiebelehm bzw. -mergel vorliegt, sowie um Schmelzwassersande, die ebenfalls der Saale-Kaltzeit zuzuordnen sind.

Die pleistozänen Sedimente bestehen aus einer Wechselfolge glazifluvialer Sande mit Einschaltungen von Beckensedimenten und Grundmoränen-Ablagerungen. Eine eindeutige stratigraphische Zuordnung (Saale- oder Elster-Kaltzeit) kann anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht in jedem Fall vorgenommen werden. Die pleistozänen Grundmoränen-Ablagerungen liegen als Geschiebelehm bzw. -mergel vor, lokal sind sie stark sandig ausgebildet. Im Untergrund sind örtlich bis zu vier Grundmoränen-Komplexe differenzierbar, wobei die oberflächennahen Grundmoränen-Ablagerungen der Saale-Kaltzeit (Drenthe-Grundmoräne) meist nicht flächendeckend ausgebildet sind, sondern größere Fehlstellen aufweisen. Die Mächtigkeit der Grundmoränen-Komplexe schwankt etwa zwischen 5 m bis 40 m.

Bei der Betrachtung der im Liegenden folgenden Sedimente wird nachfolgend zwischen Rinnen- und Plateaubereich unterschieden. Hinsichtlich des Verlaufs der elsterzeitlichen Rinnen sei auf **Anlage 5** verwiesen.

### 7.3.1 Plateaubereich

Der größte Teil des Betrachtungsgebietes liegt im Plateaubereich außerhalb von Rinnenstrukturen bzw. an deren Rand. Im Plateaubereich werden die pleistozänen Ablagerungen von Sedimenten tertiären Alters unterlagert, die stratigraphisch zumeist dem Miozän zugeordnet werden. Dabei handelt es sich vor allem um die bis zu etwa 120 m mächtigen Hemmoor-Schichten mit Feinsanden, schluffigen Feinsanden und eingelagerten Schluffhorizonten. In vereinzelten Bereichen innerhalb des Betrachtungsgebietes werden die Hemmoor-Schichten von einem tertiären Stauer, den tonigen Reinbek-Schichten, überlagert (P-Pb 84, P-Pb 90, NA 87, NA 97). Im Liegenden der Hemmoor-Schichten sind die schluffigen Tone der Vierlande-Schichten ausgebildet, die eine Mächtigkeit von ca. 40 m bis 60 m erreichen. Das Liegende der Vierlande-Schichten wird durch schluffige Tone des Oligozän und durch schluffige Tone und tonige Schluffe des Eozän gebildet, welche im Süden des Betrachtungsgebietes am Top der tertiären Schichtenfolge stehen.

### 7.3.2 Rinnenbereich

Jenseits der hinsichtlich der petrografischen Schichtenfolge relativ einheitlich aufgebauten Plateaubereiche liegen innerhalb der Verbreitungsgebiete der elsterzeitlichen Rinnenstrukturen differierende Bohrbefunde vor. Am Top der Rinnenfüllungen sind verbreitet Ablagerungen des elsterzeitlichen Lauenburger Komplexes überwiegend als tonige Schluffe („Lauenburger Ton“) mit feinsandig ausgebildeten Zwischenlagen in variabler Mächtigkeit von einigen Metern bis Zehnern Metern anzutreffen. Im Bereich der Panzenberger Rinne liegt die Basis der Lauenburger Schichten bei ca. -40 mNN und weist maximale Mächtigkeiten von ca. 40 m auf (AB 50, UWO 1). Teilweise besteht der Lauenburger Komplex lediglich aus schluffigen Feinsanden und im zentralen Bereich der Wasserfassungen Panzenberg setzen die bindigen Ablagerungen in diesem Tiefenbereich teilweise aus (PAN IV, PAN I, PAN II). Generell schließen sich im Liegenden des Lauenburger Komplexes elsterzeitliche Schmelzwassersande in sehr unterschiedlichen Mächtigkeiten an. Die Sande sind mittel- bis feinkörnig, zur Rinnenbasis hin häufig

auch grobsandig ausgebildet. Kieslagen können ebenso bereichsweise eingeschaltet sein wie Schluff- oder Tonlagen.

Die Rinnenfüllung der Rotenburger Rinne bzw. Panzenberger Rinne setzt sich im Bereich des Wasserwerks Panzenberg aus Mittel- und Grobsanden zusammen, die z. T. durch bindige Schichten unterbrochen werden. Im Bereich des Wasserwerks Langenberg dominieren Mittel- und Grobsande in der Rinnenfüllung. Teilweise ist durch einen Geschiebemergel ein bindiger Horizont ausgebildet. Die pleistozänen Sedimente haben im Bereich der Fassungsanlagen des Wasserwerks Panzenberg eine maximale Mächtigkeit von ca. 310 m (P-Pb 1); in den angrenzenden Plateaubereichen liegt ihre Mächtigkeit verbreitet bei ca. 20 m bis 50 m, örtlich bei nur ca. 10 m.

Die Rinnenbasis im Bereich der Wasserfassungen Panzenberg wird durch die schluffige Tone und tonige Schluffe des Eozän gebildet. Im nördlichen Teil der Panzenberger Rinne beim Salzstock Wedehof finden sich an der Rinnenbasis durch salztektonische Bewegungen angehobene Kreideformationen sowie Anhydrit bzw. Gips des Zechstein (UWO 1, UWO 4, Pb HM 1). Im Liegenden der Kükenmoor Rinne, im Bereich des Wasserwerks Langenberg, stehen überwiegend schluffige Tone des Oligozän und tonige Schluffe des Eozän an. Im Aufstiegsbereich des Salzstocks Hamwiede ist teilweise Anhydrit bzw. Gips des Zechstein anzutreffen (NA 1, L-Pb 139).



## 8 Bodenkundlicher Überblick

Grundlage der nachfolgenden Beschreibung der im Untersuchungsraum verbreiteten Bodentypen und Bodenvergesellschaftungen sind die digitalen Bodenkarten des LBEG, Hannover /46/. Ergänzend vermittelt die beiliegende geologische Karte (**Anlage 4**) einen Überblick über die quartären Ausgangssubstrate der Bodenbildungen.

Im Betrachtungsgebiet sind hauptsächlich Böden der Bodengroßlandschaften „Auen und Niederterrassen“ sowie „Geestplatten und Endmoränen“ vertreten, darüber hinaus existieren im Nordwesten, Nordosten und Süden des Untersuchungsgebietes Bodenbildungen der „Talsandniederungen und Urstromtäler“ /46/, [23]. Als überregionale Bodeneinheiten charakterisieren diese Bodenlandschaften die am Untersuchungsstandort entwickelten Böden in generalisierter Form anhand gemeinsamer, i.d.R. (hydro-)geologisch bedingter Kriterien (Geogenese, Ausgangssubstrat, Grundwasserverhältnisse), demzufolge existiert eine enge Korrelation zwischen Bodenlandschaften und geologischen Großeinheiten.

In den Niederungen der Aller und Weser im Südwesten des Betrachtungsgebietes sind Böden ausgebildet, die der Bodengroßlandschaft der „Auen und Niederterrassen“ zugehörig sind. Die Bodenregionen lassen sich nach ihrer Entstehung in die holozänen Talauen aus der heutigen Warmzeit und die weichselzeitlichen Niederterrassen aus der letzten Eiszeit gliedern. Die Oberflächenformen sind durch die Dynamik des Flusses geprägt und die Böden der Auen liegen im Schwankungsbereich des vom Fluß bestimmten Grundwassers. In diesem Bereich des Betrachtungsgebietes sind überwiegend fruchtbare Vegen und Gley-Vegen aus Auenschluff und Auenlehm anzutreffen.

In den Geestbereichen des Betrachtungsgebietes treten Bodenbildungen auf, die der Bodengroßlandschaft „Geestplatten und Endmoränen“ zuzuordnen sind, wobei in Abhängigkeit von dem Ausgangssubstrat der Bodenbildung eine bodenlandschaftliche

Differenzierung in Sand- und Geschiebelehmverbreitungsgebiete vorgenommen werden kann. Die Sandverbreitungsgebiete, in denen Schmelzwassersande das bodenprägende Ausgangssubstrat aus Sanden und untergeordnet Kiesen darstellen, sind verbreitet Podsole, in Abhängigkeit von der Grundwasserbeeinflussung auch entsprechende Übergangsformen von Braunerden oder Gleyen anzutreffen.

Wesentliche Einflussgröße für die Bodenentwicklung in den Geschiebelehmverbreitungsgebieten der Geest, die oberflächennah Vorkommen von Geschiebelehm/-mergel oder dichtlagerndem und in Bezug auf die Bodenbildung vergleichbaren Beckenablagerungen (Ton und Schluff) aufweisen, ist die vergleichsweise geringe Wasserdurchlässigkeit dieser Standorte. Zu den typischen Bodenbildungen der Geschiebelehmverbreitungsgebiete gehören demzufolge stauwasserbeeinflusste Böden wie Pseudogleye. In Abhängigkeit von der Dauer der Vernässungsphasen sind Übergänge von Podsolen oder Braunerden zu Pseudogleyen, bzw. bei sehr langen Vernässungsphasen von Pseudogleyen zu Gleyen möglich. Vergleichsweise großflächig verbreitete Gebiete von Pseudogleyen sind nordöstlich der Ortslage Kirchlinteln verzeichnet /46/.

Die Bodengroßlandschaft „Talsandniederungen und Urstromtäler“ durchzieht die Geest und wurde überwiegend in der Eiszeit durch abfließendes Schmelzwasser angelegt und später mit Talsanden verfüllt. In den Niederungsgebieten nördlich von Visselhövede, beim Langwedeler Moorgraben und dem Vethbach im südlichen Abschnitt des Betrachtungsgebietes treten in niederschlags- und / oder grundwasserstandsbedingt vernässten Bereichen Niedermoor- bzw. Hochmoorbildungen aus Sphagnumtorfen auf. Bei Mooren handelt sich um nährstoffarme Böden, die über ein hohes Wasserspeichervermögen, eine mittlere (> 140-220 mm für Niedermoores), bzw. hohe bis sehr hohe (> 220 mm bzw. > 330 mm für Hochmoore) nutzbare Feldkapazität sowie eine geringe bis sehr geringe Auswaschungsgefährdung gegenüber Nähr- und Schadstoffen verfügen. Entwässerung, Torfabbau und die mit diesen Kultivierungsmaßnahmen verbundenen Sackungs- und Vererdungserscheinungen führen auf Moorstandorten zum Einsetzen von Bodenbildungsprozessen; die entstehenden

Erdhoch- und -niedermoore sind durch eine zunehmende Verdichtung und einen fortschreitenden Rückgang der Torfmächtigkeit gekennzeichnet. Der Abbau von organischer Substanz durch Mineralisation kann zu einer jährlichen Degeneration der Torfdecke von ca. 1-2 cm und in der Konsequenz zu einer Verschlechterung der bodenphysikalischen Eigenschaften führen [23].

Für eine detailliertere Beschreibung der bodenkundlichen Verhältnisse im Betrachtungsgebiet sei auf das bodenkundliche Gutachten des Fachbüros Geries Ingenieure GmbH, Gleichen-Reinhausen /1/, verwiesen.

## 9 Hydrogeologische Verhältnisse

### 9.1 Hydrogeologischer Aufbau

In den **Anlagen 6 bis 14** sind neun schematisierte hydrogeologische Profilschnitte beigelegt, die den hydrogeologischen Bau des Betrachtungsgebietes ausschnittsweise veranschaulichen. Ergänzend sind in den Profilschnitten A-A' bis I-I' die Filterstellungen der Förderbrunnen und Grundwassermessstellen sowie – soweit erfasst – die jeweils bei der Stichtagmessung vom Mai 2005 gemessenen Wasserstände dargestellt.

In den pleistozänen Schmelzwassersedimenten sowie in den feinsandigen Ablagerungen der Hemmoor-Schichten ist regional gesehen ein zusammenhängendes hydraulisches System entwickelt, das nachfolgend als Hauptgrundwasserleiter bezeichnet wird. Im Bereich des Wasserwerks Panzenberg beträgt die Mächtigkeit des Hauptgrundwasserleiters ca. 290 m; die maximale Mächtigkeit im Betrachtungsgebiet erreicht ca. 340 m. Eingeschaltete Geschiebemergelkomplexe bzw. Beckensedimente bewirken örtlich eine Untergliederung dieses ausgedehnten Grundwasserleiters. Der Hauptgrundwasserleiter lässt sich in der Regel in drei Abschnitte unterteilen:

Der obere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters befindet sich in den saalezeitlichen glazifluviatilen Sanden, die im Hangenden der oberen elsterkaltzeitlichen Grundmoräne bzw. des Lauenburger Komplexes abgelagert wurden. Dieser Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters ist im Betrachtungsgebiet ausweislich der vorliegenden Daten nahezu durchgehend vertreten und weist eine maximale Mächtigkeit von ca. 50 m auf.

Der mittlere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters ist in den Sanden im Liegenden der oberen Elster-Grundmoräne, der jüngeren Beckenablagerungen des Lauenburger Komplexes bzw. in den sandigen Ablagerungen der Hemmoor-Schichten entwickelt. Dieser Abschnitt ist im Bereich des Wasserwerks Panzenberg ca. 100 m mächtig. Im Bereich der sandigen Ausbildung der Hemmoor-Schichten kann der mittlere Teil des Hauptgrundwasserleiters eine Mächtigkeit von bis zu 100 m erreichen.

Der untere Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters ist in den im Liegenden des Lauenburger Komplexes befindlichen Schmelzwassersedimenten ausgebildet und kann ca. 160 m mächtig werden. Die tonigen und schluffigen Ablagerungen des Miozän bilden verbreitet die Basis des Hauptgrundwasserleiters.

Die Grundwasserentnahme des Trinkwasserverbandes Verden durch die Brunnen des Wasserwerks Panzenberg erfolgt hauptsächlich aus dem unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters. Die Filterpositionen der Brunnen des Wasserwerks Langenberg sind dem mittleren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zuzuordnen.

Lokal ist ein oberflächennaher Grundwasserkörper im Hangenden der ersten Grundmoräne in geringmächtigen Sanden entwickelt. Dieser oberflächennahe Grundwasserleiter weist keine flächenhafte Verbreitung auf. Es handelt sich nicht um einen zusammenhängenden Grundwasserkörper, sondern vielmehr um einzelne, lokal ausgebildete und hydraulisch isolierte, linsenartige Grundwasservorkommen, die z. T. auch nur temporär entwickelt sind (Stauwasserkörper). Gebiete mit Stauwasser finden sich u. a. im Bereich der Ortslage Walle (z. B. P-Pb 7b, P-Pb 8a, P-Pb 86, P-Pb 87).

## **9.2 Geohydraulische Kenndaten**

Im Folgenden werden die hydraulischen Kenndaten – insbesondere der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) – der Sedimente der einzelnen Abschnitte des betrachteten Grundwasserleiters aufgeführt. Die Angaben resultieren aus Pumpversuchen oder sind auf der Basis von Literaturangaben abgeschätzt. Die ermittelten  $k_f$ -Werte dienen als Eingangsgröße für das entwickelte numerische Grundwasserströmungsmodell (Kapitel 10.3.1).

Anhaltspunkte über die Größe des das Fließregime des Grundwassers bestimmenden Durchlässigkeitsbeiwertes ( $k_f$ -Wertes) im Hauptgrundwasserleiter im Bereich der Fassungsanlagen Panzenberg sind den Ausbauunterlagen der Brunnen PAN I bis

PAN VII zu entnehmen. Wertet man die in den Ausbauzeichnungen der Brunnen dokumentierten Pumpversuche nach dem orientierenden Verfahren nach LOGAN [25] aus, so ergeben sich für den Hauptgrundwasserleiter Transmissivitäten  $T$  zwischen ca.  $13 \text{ m}^2/\text{h}$  und  $73 \text{ m}^2/\text{h}$ ; der arithmetische Mittelwert beträgt ca.  $50 \text{ m}^2/\text{h}$ . Unter Berücksichtigung der Testintervalle ergeben sich dementsprechend Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen ca.  $6,6 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  und  $3,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ . Die ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte entsprechen dem überwiegend mittelkörnigen Aufbau des Grundwasserleiters.

Beim Aufbau des hier verwendeten Grundwasserströmungsmodells wurden die o. g. Durchlässigkeitsbeiwerte der betrachteten Grundwasserleiter als Eingangsdaten verwendet und im Zuge der Kalibrierung angepasst (vgl. Kapitel 10.4). Für die weiteren im Untergrund des Betrachtungsgebietes vertretenen Schichtfolgen, deren hydraulische Kenndaten bislang nicht vor Ort in Feldmessungen ermittelt wurden, wurden adäquate Durchlässigkeitsbeiwerte aus Literaturangaben herangezogen ([16]; [30]; [31], [33]). Im Zuge der Modellkalibrierung wurden die eingangs vorgegebenen  $k_f$ -Werte bereichsweise verändert und feiner aufgelöst ermittelt.

### 9.3 Grundwasserstände und Grundwasserbewegung

Für den oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters wurde ein Grundwassergleichenplan mit dem Stichtag Mai 2005 für das Betrachtungsgebiet konstruiert (**Anlage 15**). Der Stichtag stellt einen annähernd mittleren Zustand des betrachteten Grundwassersystems dar. Grundlage der Konstruktion bilden die Wasserstandsdaten des Trinkwasserverbandes Verden und des Landesgrundwassermessnetzes des NLWKN (Betriebsstellen Verden). Die herangezogenen Grundwasserstandsdaten sind der tabellarischen Übersicht in **Anlage 37** zu entnehmen.

Bei der Konstruktion der Grundwassergleichen wurden naturgemäß die Werte jener Messstellen nicht berücksichtigt, die im oberflächennahen Grundwasserkörper verfiltert sind. Zu den im oberflächennahen Grundwasserleiterabschnitten verfilterten

Messstellen gehören z. B. P-Pb 7b, P-Pb 8a, F 30. Darüber hinaus bleiben diejenigen Messstellen unberücksichtigt, die aufgrund von Ganglinienauswertungen vermuten lassen, dass sie lokale Grundwasserkörper erschließen, die über keinen oder nur einen eingeschränkten hydraulischen Kontakt zum Entnahmestockwerk verfügen.

Der in **Anlage 15** dargestellte Grundwassergleichenplan zur Stichtagmessung Mai 2005 verdeutlicht, dass die Grundwasserströmung im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters im Wesentlichen von der Geländemorphologie sowie der Lage der Vorfluter bestimmt und stellenweise durch die Grundwasserförderung überprägt wird. Im Raum Holtum-Rahnhorst-Odeweg-Jeddingen-Visselhövede ist nördlich der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg eine Grundwasserscheide im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters mit Grundwasserständen bis über +55 mNN ausgebildet. Von hier erfolgt der natürliche Grundwasserabstrom einerseits in nördliche Richtung zum Vorfluter Wümme, andererseits in südliche bis südwestliche Richtung zur Aller hin. Im Bereich des Weißen Moores liegen die Grundwasserober- bzw. -druckfläche bei ca. +56 mNN. Südwestlich und südlich der Grundwasserkuppe verringert sich die Höhenlage der Grundwasserober- bzw. -druckfläche auf ca. +10 mNN bis ca. +20 mNN in der Allerniederung. Der Anstrom auf die Brunnen des WW Panzenberg erfolgt aus nördlicher bzw. nordöstlicher Richtung. Im direkten Umfeld der Brunnen liegt die Grundwasserober- bzw. -druckfläche bei ca. +26 mNN bis ca. +43 mNN. Im Bereich der Wasserfassungen des Wasserwerks Langenberg liegt die Grundwasserober- bzw. -druckfläche bei ca. +31 mNN. Südwestlich der Ortslage Verdenermoor befindet sich eine Grundwasserkuppe mit Wasserständen um ca. +33 mNN. Im Osten des Betrachtungsgebietes ist eine weitere NE-SW verlaufende Grundwasserkuppe bzw. Grundwasserscheide zu erkennen, die sich im Bereich Vehmsmoor-Grundloses Moor-Ottinger Ochsenmoor erstreckt. Die Grundwasserober- bzw. -druckfläche liegt hier bei ca. +55 mNN.

Innerhalb des oberen Abschnitts des Hauptgrundwasserleiters ist das Grundwasser an der Unterseite der überlagernden saalezeitlichen Grundmoräne gespannt. In

Bereichen, wo der überlagernde Geschiebemergel fehlt, liegt eine freie Grundwasseroberfläche vor.

Für die Grundwassermessstellen des Trinkwasserverbands Verden liegen z. T. langjährige Grundwasserstandsdaten vor. In der **Anlage 38** ist die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände exemplarisch anhand der Grundwasserganglinien ausgewählter Messstellen im Bereich der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg dargestellt.

Generell sind bei den dargestellten Grundwasserganglinien unterschiedliche zeitliche Entwicklungen der Grundwasserstände zu erkennen. Je nach Filterlage der Messstellen und hydraulischem Kontakt zum Förderhorizont der Brunnen sind mehr oder weniger durch die Grundwasserentnahme beeinflusste Grundwasserganglinien ersichtlich. Einige langjährige Grundwasserganglinien von flach verfilterten Messstellen zeigen einen jahreszeitlich geprägten Verlauf und sind überwiegend durch Niederschlagsereignisse bestimmt. Andere Grundwassermessstellen zeigen eine deutliche Beeinflussung der Grundwasserstände durch die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke. Je näher diese Grundwassermessstellen an den Brunnen liegen und je besser der hydraulische Kontakt zu den Brunnenfiltern ist, desto stärker reagieren die Wasserstände auf die Förderung durch die Brunnen. Wird der hydraulische Kontakt zwischen den Brunnenfiltern und den Messstellen durch geringdurchlässige Schichten (z. B. tonige Schlufflagen, Geschiebemergel) eingeschränkt, wird die Beeinflussung der Brunnen auf die Grundwasserstände verringert.

Wie die Ganglinien der Messstellen im Bereich des WW Panzenberg in **Anlage 38** zeigen, ist in vielen Grundwassermessstellen von Anfang der 80er Jahre bis Ende der 90er Jahre ein Absinken der Grundwasserstände zu verzeichnen; danach ist ein fallender Trend nicht mehr feststellbar. Die niedrigeren Wasserstände korrelieren mit der Erhöhung der Grundwasserförderung des WW Panzenberg. Die Ganglinien der im gleichen Tiefenniveau wie die nahegelegenen Förderbrunnen verfilterten Messstellen zeigen eine deutliche Reaktion auf Veränderungen der Entnahmerate (z. B. P-Pb 2b,



P-Pb 17b, P-Pb 29, P-Pb 30, P-Pb 32c). Flach verfilterte Messstellen, die einen eingeschränkten hydraulischen Kontakt zum Förderhorizont haben, zeigen eine geringere Beeinflussung durch die Grundwasserentnahme (z. B. P-Pb 5c, P-Pb 6c, P-Pb 17a, P-Pb 22, P-Pb 32a). Die Grundwasserganglinien der Messstellen P-Pb 7b, P-Pb 8a, F 30, MA 1 und MA 2 zeigen in erster Linie eine Prägung durch jahreszeitliche Schwankungen und deuten auf eine wirksame hydraulische Trennung vom Förderhorizont hin. Im Verlauf des Halsebachs wurden 1994 mehrere flach verfilterte Grundwassermessstellen errichtet (P 1 bis P 8). Die Ganglinien der im Oberlauf gelegenen Messstellen P 2 bis P 4 zeigen eine für Niedermessstellen sehr geringe Amplitude der jahreszeitlichen Schwankungen der Grundwasserstände. Die Messstelle P 8 befindet sich weiter südlich im Bereich der Bahntrasse und ist etwas tiefer verfiltert (6 m bis 8 m u. GOK). Im Gegensatz zu den Messstellen P 2 bis P 4 zeigen die Wasserstände der Messstelle P 8 im langjährigen Gang vergleichsweise trockene und niederschlagsreiche Jahre an. Die Grundwassermessstelle P 5 zeigt seit Beobachtungsbeginn nur in Zeiten von Grundwasserhochständen Wasserführung. Die Grundwassermessstellen P 6 und P 7 westlich von Scharnhorst zeigen ganzjährig Wasserführung und der jahreszeitliche Gang der Grundwasserstände ist etwas ausgeprägter als in den Messstellen P 2 bis P 4.

Die dargestellten Grundwasserganglinien belegen außerdem, dass im Mai 2005 in etwa mittlere Grundwasserströmungsverhältnisse für den Zeitraum der vergangenen 10 Jahre vorlagen. Der oben beschriebene Grundwassergleichenplan (Mai 2005) und die ihnen zugrunde liegenden Grundwasserstandsdaten repräsentieren demnach annähernd den mittleren Zustand des jeweils betrachteten Grundwassersystems und wurden aus diesem Grund zur Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells herangezogen (vgl. Kap. 10). Die zum Zeitpunkt des Stichtags registrierten Wasserstandsdaten sind der tabellarischen Übersicht in **Anlage 37** zu entnehmen.

**Anlage 17** zeigt den Flurabstand der Grundwasseroberfläche. Zur Ermittlung des als lotrechte Höhendifferenz zwischen Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche des ersten Grundwasserleiters definierten Grundwasserflurabstandes wurden die

Grundwasserstandsdaten der Stichtagsmessung aus dem Mai 2005 (Hauptgrundwasserleiter) herangezogen. Ganglinienauswertungen belegen, dass die zu diesem Zeitpunkt gemessenen Grundwasserstände annähernd den mittleren Zustand des betrachteten Grundwassersystems repräsentieren.

Für die Herleitung des mittleren Grundwasserflurabstands sind ausschließlich die Grundwasserstandsdaten oberflächennah verfilterter Messstellen relevant. Ferner müssen in Bereichen mit gespannten Grundwasserverhältnissen auftretende Differenzen im Höhenniveau zwischen Grundwasseroberfläche und Grundwasserdruckfläche Berücksichtigung finden. Da in der Geest oftmals von freien Grundwasserstandsverhältnissen ausgegangen werden kann, ergibt sich der Flurabstandsplan aus der flächenhaften Auswertung der Grundwassergleichen des Stichtages im Mai 2005 und den Höhenangaben des digitalen Geländemodells (DGM 25). In den Niederungsbereichen der Wesermarsch liegen demgegenüber annähernd durchgängig gespannte Verhältnisse vor, so dass der Grundwasserflurabstand der Mächtigkeit der Torf- und Auelehmablagerungen entspricht. Die Datendichte hinsichtlich der Flurabstände ist in weiten Teilen des zu betrachtenden Gebietes relativ groß. Lediglich in den Niederungsbereichen der Aller und Weser ist die Datendichte vergleichsweise gering.

Wie **Anlage 17** zeigt, beträgt der Flurabstand in den höher gelegenen Bereichen der Geest i. A. zwischen 10 m und 20 m, örtlich auch mehr als 25 m. Im Bereich der Fassungsanlagen des Wasserwerks Panzenberg liegt der Grundwasserflurabstand zwischen ca. 2 m (PAN VI) und ca. 15 m (PAN I, PAN IV). Die relativ hohen Grundwasserflurabstände im Geestbereich verringern sich zum Geestrand sowie zu den Niederungsgebieten der Lehrde und des Gohbachs. Der Flurabstand beträgt in der Nähe der Wasserfassungen des WW Langenberg ca. 2 m bis ca. 8 m. Im Übergang von der Geest zur Aller-Weser-Niederung verringert sich der Flurabstand und ist weiträumig geringer als 3 m.

Zur Beschreibung der Grundwasserstände und -bewegung wurde zusätzlich ein Grundwassergleichenplan für mittlere niedrige Grundwasserstände angefertigt. Zur Bestimmung der mittleren niedrigen Grundwasserstände wurden messstellenbezogen die Mittelwerte der niedrigsten jährlichen Wasserstände der Grundwasserstandsdaten aus dem Zeitraum 2001 bis 2012 gebildet. Anschließend wurde ein repräsentativer Stichtag für mittlere niedrige Grundwasserstände im hydrologischen System bestimmt. Der Stichtag ist in der Darstellung der langjährigen Grundwasserganglinien (**Anlage 38**) gekennzeichnet. Die Ganglinienauswertungen zeigen, dass der Stichtag Mai 2005 annähernd einen mittleren Zustand des betrachteten Grundwassersystems repräsentiert und der Stichtag Oktober 2006 einen mittleren niedrigen Zustand. Der Grundwassergleichenplan für mittlere niedrige Grundwasserstände (Stichtag Oktober 2006) (**Anlage 16**) zeigt Grundwasserstände zwischen +8,11 mNN (WSA 723) und +63,79 mNN (NA 161). Dabei werden die geringsten Grundwasserstände jeweils westlich von Verden in der Weserniederung und die höchsten Wasserstände östlich der Ortslage Visselhövede erreicht. Im Mittel liegen die gemessenen Grundwasserstände im Oktober 2006 ca. 37 cm tiefer als im Mai 2005. Der Verlauf der Grundwassergleichen ist bei den beiden klimatischen Bedingungen ähnlich, so dass von vergleichbaren Strömungsbedingungen ausgegangen werden kann.

Es wird deutlich, dass die Differenzen zwischen mittleren und mittleren niedrigen Grundwasserständen nicht im gesamten Betrachtungsgebiet gleich sind. Während die mittleren niedrigen Wasserstände in weiten Bereichen nur um ca. 0,4 m von den mittleren Wasserständen abweichen und z.T. sogar nahezu gleich bleiben (UWO 152), liegen die Wasserstände im Bereich der Grundwasserkuppe nördlich von Groß Sehlingen im Oktober 2006 um bis zu ca. 0,9 m (P-Pb 91a) niedriger als im Mai 2005.

Abgesehen von den förderbedingten Änderungen handelt es sich hier häufig um unterschiedliche Reaktionen auf Änderungen der klimatischen Bedingungen, die i. W. durch Unterschiede in der Überdeckung mit bindigen Schichten bedingt sind. In ausgedehnten Bereichen der Geest ist das Grundwasser im Hauptgrundwasserleiter von einem Geschiebemergel bzw. -lehm überdeckt, der verbreitet eine Mächtigkeit von

über 10 m erreicht. In diesen Bereichen wirken sich klimatische Schwankungen in geringerem Maße und / oder verzögert aus, so dass die Differenzen zwischen mittleren und mittleren niedrigen Grundwasserständen gering ausfallen. Im Umfeld des Schleusenkanals (Weser) und den angrenzenden Gräben, deren relativ gleichbleibender Pegel eine Grundwasserstandsschwankungen puffernde Funktion ausüben kann, wirken sich klimatische Änderungen ebenfalls weniger deutlicher auf die Grundwasserstände aus. Größere Schwankungen der Grundwasserstände bei verschiedenen klimatischen Bedingungen sind in Gebieten mit geringmächtiger Überdeckung mit bindigen Schichten bzw. bei fehlender Grundwasserüberdeckung zu beobachten (z.B. P-Pb 6).

#### **9.4 Hydraulische Beziehungen**

Nach dem vorliegenden Datenmaterial ist im Bereich der Einzugsgebiete der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg sowie in deren weiterem Umfeld in den anstehenden pleistozänen Schmelzwassersedimenten sowie in den unterlagernden feinsandigen Ablagerungen des Miozän regional ein zusammenhängender Hauptgrundwasserleiter ausgebildet.

Vertikale Potenzialdifferenzen sind bevorzugt in den Geestbereichen zu verzeichnen, in denen eingeschaltete geringdurchlässige Schichten örtlich eine Untergliederung des ausgedehnten Hauptgrundwasserleiters bewirken. Eine Auswertung der im Mai des Jahres 2005 registrierten Grundwasserstandsdaten in den in diesem Umfeld errichteten mehrfach verfilterten Messstellengruppen führt zu dem Ergebnis, dass zwischen der Höhenlage der Grundwasserober- bzw. -druckfläche in den verschiedenen Messstellen deutliche Potenzialunterschiede bestehen. So ist beispielsweise in der Grundwassermessstelle P-Pb 84a im oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters zum Zeitpunkt der Stichtagmessung ein Wasserstand von +39,72 mNN gemessen worden, während an derselben Position im mittleren Abschnitt des Grundwasserleiters (P-Pb 84b) ein Grundwasserstand von +26,57 mNN ermittelt wurde. Die Potentialdifferenz beträgt 13,15 m, wobei ein nach unten gerichteter

Vertikalgradient vorliegt. Vergleichbare hydraulische Verhältnisse zeigen sich u. a. an den Messstellengruppen P-Pb 91 (Schematischer Schnitt A-A', **Anlage 6**) und L-Pb 136 (Schematischer Schnitt G-G', **Anlage 12**). Die maximalen Potentialdifferenzen zwischen den flach und tief verfilterten Grundwassermessstellen betragen 13,8 m (P-Pb 91) und 4,86 m (L-Pb 136). Der hydraulische Gradient ist ebenfalls nach unten gerichtet. Mit zunehmender Entfernung zu den Förderbrunnen und / oder abnehmender hydraulischer Wirksamkeit der lokal ausgebildeten Trennschichten ist eine Verringerung der Potentialdifferenz festzustellen.

Im Niederungsgebiet der Aller bei der Doppelmessstelle NA 89 (Schematischer Schnitt F-F', **Anlage 11**) ergibt sich aus der Auswertung der Grundwasserstandsdaten zwischen der flach verfilterten Messstelle NA 89 F1 (+11,11 mNN) und der tiefer verfilterten Messstelle NA 89 F2 (+11,11 mNN) keine Potenzialdifferenz. Infolge des hoch anstehenden Grundwassers sowie bedingt durch die intensive Wasserhaltung mit Entwässerungsgräben stellt sich im Bereich der Aller- Weserniederung zumeist ein nach oben gerichteter Vertikalgradient ein; z. T. sind artesisch gespannte Verhältnisse zu beobachten. Im Bereich der Messstellengruppe NA 86 zeigt sich eine Potentialdifferenz von 0,64 m (NA 86 F1: +11,28 mNN, NA 86 F2: +11,92 mNN); der Gradient ist nach oben gerichtet.

Die Grundwasserstände im oberflächennahen Grundwasserkörper liegen höher als die Grundwasserpotentiale im Hauptgrundwasserleiter (z. B. P-Pb 88).

## 9.5 Grundwasserüberdeckung

Die Art und Verbreitung der Grundwasserüberdeckung im Betrachtungsgebiet ist der Geologischen Karte (**Anlage 4**) zu entnehmen. Danach wird das Grundwasser in den Niederungsgebieten bereichsweise durch geringdurchlässige holozäne Sedimente (Moor- und bindige fluviatile Ablagerungen / Auelehm) überdeckt. In Abhängigkeit von der Intensität der Kultivierungsmaßnahmen beträgt die Mächtigkeit der Torfauflage im Verbreitungsgebiet der Nieder- und Hochmoore in den zentralen Bereichen bis zu

mehreren Metern. Im Bereich der Geest stehen oberflächennah glazifluviale Ablagerungen an, die in weiten Teilen durch eine saalezeitliche Grundmoräne in einer Mächtigkeit von mindestens einigen Metern überdeckt werden.

Ausweislich der Hydrogeologischen Übersichtskarte zum Schutzpotential der Grundwasserüberdeckung /46/ ist für den Bereich der Geest überwiegend ein hohes Schutzpotential angegeben. Lediglich in den Niederungen der Vorfluter wie z. B. Gohbach, Lehrde, Böhme und Aller ist das Schutzpotential als gering eingestuft. Einige Randbereiche der Niederungen zeigen mittlere Schutzpotentiale.

## 9.6 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung entspricht der Differenz aus Niederschlag und der Summe aus Evapotranspiration und Direktabfluss, sie stellt das wichtigste positive Bilanzglied in der Grundwasserhaushaltsgleichung dar. Dieser Systemparameter ist nur mit sehr hohem Aufwand direkt und nur kleinräumig messbar (Lysimeter), es existieren jedoch verschiedene empirische Verfahren zur Abschätzung der regionalen mittleren Grundwasserneubildung wie die von Kunkel & Wendland (1998) entwickelte Methode GROWA 98 [20].

Für das Betrachtungsgebiet liegt eine Karte der flächendifferenziert ermittelten Grundwasserneubildungsrate des LBEG, Hannover, vor /45/. Die auf der Basis des Verfahrens GROWA 06, Version 2 (GROWA 06 V2) [10], [22], erstellte Karte ist in **Anlage 18** dargestellt und weist Zonen mit Neubildungsintervallen von je 50 mm/a aus.

Gemäß den nach der Methode GROWA 06 V2 ermittelten Daten differieren die Grundwasserneubildungsraten im Untersuchungsgebiet deutlich in Abhängigkeit von den Standortgegebenheiten. In den Niederungen der Vorfluter (z. B. Gohbach, Lehrde und Aller) sind Neubildungsraten zwischen 0 mm/a und ca. 150 mm/a anzutreffen. Flächen mit Hochmoor- und Niedermoortorfen zeichnen sich durch Grundwasserneubildungsraten von weniger als 50 mm/a aus. In höher gelegenen Bereichen der Geest liegt die

Grundwasserneubildungsrate i. W. zwischen 150 mm/a und 300 mm/a. Die höchsten Neubildungsraten mit bis ca. 350 mm/a werden für Bereiche mit ackerbaulich genutzten Hochlagen ausgewiesen.

Die anhand des Grundwasserströmungsmodells berechnete Neubildungsmenge und die Wasserbilanz für das Modellgebiet werden in Kapitel 10 beschrieben.

## 9.7 Grundwasserbeschaffenheit

Die chemischen Inhaltsstoffe des Grundwassers in Porengrundwasserleitern, wie sie im Betrachtungsgebiet vorliegen, sind im Wesentlichen von der Beschaffenheit der klastischen Lockergesteine und deren einstigen Sedimentationsbedingungen abhängig. Die große Kontaktfläche zwischen Gesteinsmatrix und Grundwasser ermöglicht, insbesondere bei niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten, chemische Gleichgewichtsreaktionen zwischen beiden Komponenten. Neben den geogenen, hauptsächlich durch die Lithologie geprägten Einflussfaktoren kann die Grundwasserbeschaffenheit darüber hinaus durch anthropogene Eingriffe beeinflusst sein.

Zur Charakterisierung der Beschaffenheit des Grundwassers im Einzugsgebiet des Wasserwerkes Panzenberg wurden die vom Trinkwasserverband Verden bereitgestellten Rohwasseranalysen der genutzten Förderbrunnen sowie die Grundwasseranalysen ausgewählter Grundwassermessstellen /41/ gesichtet und ausgewertet.

Grundwasseranalysen, die eine hydrochemische Charakterisierung des geförderten Rohwassers erlauben, liegen für die sieben Brunnen des Wasserwerks Panzenberg für einen längeren Zeitraum vor. Die Analysenergebnisse der Jahre 1986 bis 2012 sind für ausgewählte Parameter in **Anlage 42** aufgeführt.

Zur Klassifizierung des geförderten Grundwassers erfolgte eine gemeinsame Darstellung der Rohwasseranalysen aller sieben Brunnen in einem PIPER-Diagramm (**Anlage 43**). In der Darstellung wurden nur Analysedaten berücksichtigt, die den

Qualitätsanforderungen des DVWK entsprechen (Analysefehler <5%) [11]. Die Brunnen des Wasserwerks Panzenberg fördern – mit Ausnahme von PAN VII – ein hydrochemisch ähnliches Grundwasser. Es handelt sich um normale erdalkalische Wässer, die als überwiegend hydrogencarbonatisch einzustufen sind. Das Grundwasser von PAN VII weicht geringfügig von diesem Bild ab. Das Grundwasser ist ebenfalls ein erdalkalisches Wasser, weist jedoch einen höheren Alkaligehalt auf. Der abweichende Chemismus spiegelt die oberstromige Randposition und höhere Filterlage des Brunnens wieder. Eine Veränderung des Rohwasserchemismus über die Zeit ist für die einzelnen Förderbrunnen aus der Anordnung der Lagepunkte im PIPER-Diagramm nicht ableitbar.

Die in **Anlage 44** dargestellten Liniendiagramme dokumentieren die zeitliche Entwicklung einiger chemischer Parameter (elektrische Leitfähigkeit, Nitrat, Chlorid, Sulfat und Gesamteisen) im Rohwasser sowie in Grundwasserproben aus Vorfeldmessstellen.

Für die elektrische Leitfähigkeit wird in [32] für Lockergesteine ein geogener Normalbereich von 260 bis 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  angegeben. Der anthropogen beeinflusste Bereich ist mit  $>840 \mu\text{S}/\text{cm}$  abgeleitet. Bei den vorliegenden Messwerten aus dem Rohwasser wird dieser Wert nicht überschritten. Die elektrische Leitfähigkeit in den Rohwasserproben der Brunnen variiert zwischen 92  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und 286  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und weist somit auf eine geringe Mineralisation hin. In der zeitlichen Entwicklung der elektrischen Leitfähigkeit im Rohwasser ist ein sehr geringer Anstieg zu verzeichnen. Die Gesamthärten zwischen 1,5°dH bis 6,3°dH kennzeichnen ein sehr weiches bis weiches Wasser, wobei sich das Rohwasser des Brunnens PAN VII mit den geringsten Gesamthärten von den übrigen Brunnen absetzt.

In den Rohwasserproben des Wasserwerks Panzenberg ist Nitrat i. A. nicht oder nur in sehr geringen Konzentrationen (bis ca. 0,7 mg/l) nachweisbar. Etwas höhere Nitratgehalte von maximal 2 mg/l im Jahr 1992 weist das Rohwasser des Brunnens



PAN VI auf. Der – für Trinkwasser gültige – Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 50 mg/l wurde in allen Proben unterschritten.

Nach Angaben in /46/ ist der untere Teil des Grundwasserleiters in der Panzenberger Rinne versalzt (>250 mg/l Chlorid). In [32] wird für Chlorid als Orientierungsmaßstab ein geogener Normalbereich von 10 mg/l bis 55 mg/l für Lockersedimente angegeben. Ab einer Chlorid-Konzentration von 80 mg/l ist mit einer Beeinflussung zu rechnen. Die Chlorid-Gehalte im Rohwasser aller Brunnen liegen zwischen ca. 6 mg/l und 20 mg/l und daher im geogen normalen Bereich. Die Sulfat-Gehalte im Rohwasser der betrachteten Förderbrunnen variieren zwischen ca. 8 mg/l und 27 mg/l und liegen weit unterhalb der Vorgaben nach Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001, [3]), die einen Grenzwert von 250 mg/l für Sulfat vorsieht. In der zeitlichen Entwicklung ist ein leichter Anstieg der Chlorid- und Sulfat-Gehalte feststellbar.

Die erhöhten Eisengesamtgehalte von ca. 0,8 mg/l bis 10,9 mg/l sowie von Mangan (max. 1,1 mg/l) machen infolge der laut Trinkwasserversorgung festgesetzten Grenzwerte von 0,2 mg/l für Eisen bzw. 0,05 mg/l für Mangan eine Aufbereitung des geförderten Grundwassers für Trinkwasserzwecke erforderlich. Im Rohwasser des Brunnen PAN V werden etwas höhere Eisengehalte registriert als in den übrigen Brunnen. Diese Werte können durch eine höhere Filterlage sowie einen besseren hydraulischen Kontakt zum oberen Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters, aufgrund fehlender Trennschichten, bedingt sein. Eindeutige Entwicklungstendenzen der Eisenkonzentrationen über die Zeit zeichnen sich für die Förderbrunnen des Wasserwerks Panzenberg nicht ab.

Die Grundwasserbeschaffenheit im Einzugsgebiet des WW Panzenberg wird an mehreren Vorfeldmessstellen jährlich untersucht. Für die untersuchten Messstellen mit unterschiedlichen Filterlagen und differierenden Standorteigenschaften (z.B. Forst, Acker, Grünland) ergeben sich keine einheitlichen Ergebnisse.

In Bezug auf die elektrische Leitfähigkeit wurden sowohl Werte oberhalb als auch unterhalb des geogenen Normalbereichs von 260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  [32] ermittelt. Die Mehrheit der Vorfeldmessstellen zeigen Messwerte zwischen ca. 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  und ca. 600  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Eine Überschreitung von 660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  zeigen nur die flach verfilterten Messstellen G 2 und G 3 und deuten auf einen anthropogenen Einfluss hin.

Nitrat kommt geogen bedingt nur in geringen Konzentrationen im Grundwasser vor. Ein erhöhter Nitratgehalt im Grundwasser wird häufig düngerabhängig, d. h. als Folge flächenhaften Stickstoffeintrags aus der Landwirtschaft, festgestellt. Spezielle Bedeutung hat das Auftreten von Nitrat durch Freisetzung beim Abbau stickstoffhaltiger organischer Substanz (z. B. Gülle, Jauche, Stallmist), als Umwandlungsprodukt aus Düngern wie Ammoniumverbindungen und Harnstoff sowie als mineralischer Dünger in Form von Nitrat. Erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser sind auch infolge von Grünland-Umbrüchen und der sich anschließenden vermehrten Mineralisation von Biomasse zu beobachten.

Die derzeit (2012) höchsten Nitratwerte wurden in den Grundwasserproben aus den im Raum Holtum gelegenen Messstellen F 47 (58 mg/l), der flach ausgebauten Messstelle P-Pb 5c (87 mg/l) und der weiter südöstlich gelegenen Messstelle P-Pb 64a (87 mg/l) festgestellt. In diesen Messstellen wurden in den letzten Jahren Nitratkonzentrationen oberhalb des – streng genommen nur für Trinkwasser gültigen – Grenzwertes der Trinkwasserverordnung [3] von 50 mg/l gemessen. Demzufolge ist bereichsweise eine deutliche Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit des betrachteten Grundwasserkörpers durch Stickstoffeinträge feststellbar. Weitere Messstellen bei Holtum (P-Pb 33a, P-Pb 61a, F 45, F 46), Scharnhorst (F 30) und Dovemühlen (P-Pb 1c) zeigen in den letzten Jahren Nitratkonzentrationen in der Regel von unter 60 mg/l. An den Messstellen auf dem Golfplatz Walle (G 1, G 2, G 3) liegen die Nitratwerte i. A. unter 20 mg/l. Nitratkonzentrationen unter 2 mg/l wurden in der Messstelle P-Pb 8a bei Walle und in der Messstelle P-Pb 62a im Forst Botterbusch gemessen. Bei der Betrachtung der zeitlichen Entwicklung der gemessenen Nitratgehalte zeigt sich in den meisten Messstellen eine abnehmende Tendenz. Es sind

aber auch teilweise große Differenzen zwischen den einzelnen Jahresmessungen (z. B. P-Pb 61a) und zeitweilig ansteigende Nitratwerte (P-Pb 5c) zu erkennen.

Der geogene Normalbereich für Chlorid in Lockersedimenten wird mit Gehalten von 10 mg/l bis 55 mg/l angegeben, mit einem anthropogen beeinflussten Bereich ab 80 mg/l [32]. Die Analysenergebnisse aller Vorfeldmessstellen liegen im geogen normalen Bereich, mit Ausnahme der Messstelle G 3, an der 1999 und 2002 erhöhte Konzentrationen beobachtet wurden. Die gemessenen Chloridgehalte betrugen maximal ca. 140 mg/l und deuten eine anthropogene Beeinflussung an.

In Bezug auf Sulfat liegen die Analysenergebnisse der Messstellen überwiegend im geogenen Normalbereich (15 mg/l bis 105 mg/l, [32]) und zeigen über die Jahre einen gleichmäßigen Verlauf. Die Sulfatkonzentrationen des aus den Messstellen G 2, G 3 und P-Pb 1c analysierten Grundwassers schwanken über die Jahre stark und liegen oberhalb des geogenen Normalbereichs. In der Messstelle G 2 wurde ein maximaler Sulfatwert von ca. 1.700 mg/l gemessen. Auch in anderen Messkampagnen sind an Grundwasserproben aus der Messstelle G 2 sehr hohe Sulfatkonzentrationen ermittelt worden, so dass hier ein anthropogener Einfluss angezeigt wird.

Aus der zeitlichen Entwicklung der Eisengehalte lassen sich eindeutige Entwicklungstrends nicht ableiten. Die Messstellen G 1, G 2, G 3, P-Pb 62a und P-Pb 64a zeigen stärkere Schwankungen mit maximalen Eisenkonzentrationen von bis zu ca. 110 mg/l (G 1, G 2). Als geogener Normalbereich für Eisen gesamt wird von [32] die Spanne von <0,02 mg/l bis 3 mg/l angegeben und eine anthropogene Beeinflussung kann bei Gehalten von mehr als 8 mg/l vorliegen. Die Analysenergebnisse der meisten Messstellen liegen unterhalb von 8 mg/l und deuten somit nicht auf anthropogenen Einfluss hin.

## 10 Numerisches Grundwasserströmungsmodell

Zur Prognose der grundwasserbezogenen Auswirkungen der Grundwasserentnahme der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg wurde eine numerische Grundwasserströmungsmodellierung durchgeführt.

### 10.1 Beschreibung des benutzten Modells

Das Ziel der Grundwasserströmungsmodellierung ist es, den komplexen hydrogeologischen Aufbau mit horizontalen und vertikalen Strömungsverläufen zu erfassen und darauf aufbauend die Brunnenanströmung zu berechnen. Es wurde daher ein dreidimensionaler Ansatz gewählt. Der dreidimensionale Aufbau des physikalischen Raumes ist aufgrund seiner Komplexität nur punktuell und damit unvollständig durch geologische Bohrungen zu erfassen. Eine enge Vernetzung von hydrogeologischen Profilschnitten – eine Auswahl ist in den **Anlagen 6 bis 14** dargestellt – bietet jedoch eine gute Voraussetzung für das Verständnis des Raumes.

Bei dem entwickelten Grundwassermodell handelt es sich um ein stationäres (zeitunabhängiges) Modell, das auch stationär kalibriert wurde. Bei stationären Modellen werden die Strömungsberechnungen für einen zeitlich gemittelten Systemzustand vorgenommen. Dies bedeutet, dass die Ergebnisse wie Fließrichtung, Fließgeschwindigkeit und Durchflussraten, Mittelwerte eines Gleichgewichtszustandes darstellen.

Für den Aufbau des Grundwasserströmungsmodells für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg wurde hier die Finite-Differenzen Grundwasser-Modellierungssoftware PROCESSING MODFLOW 8 benutzt. Es basiert auf dem Strömungsmodell MODFLOW des U.S. Geological Survey, das seit einigen Jahren erfolgreich verwendet wird [24]. PROCESSING MODFLOW 8 verknüpft das Strömungsmodell MODFLOW, das 'Particle-tracking'-Modell PMPATH zur Bahnlinienberechnung, PEST zur automatisierten Modellkalibrierung und das Stofftransportmodell MT3D mit verschiedenen

Prä- und Postprozessoren. Die einzelnen Programmteile sind unter einer einheitlichen Benutzeroberfläche verbunden.

Bei MODFLOW handelt es sich um eine Software zur dreidimensionalen Modellierung, mit der die Grundwasserströmung unter Berücksichtigung von Oberflächengewässern, Grundwasserneubildung, Evapotranspiration, Entnahme- und Infiltrationsbrunnen, Dichtwänden sowie Dränagen simuliert werden kann. Es ist anwendbar für gespanntes und freies Grundwasser sowie für die Kombination beider Zustände. Es können stationäre und instationäre Strömungsmodellierungen bei homogener oder inhomogener bzw. isotroper oder anisotroper Durchlässigkeit durchgeführt werden. Die räumliche Diskretisierung erfolgt durch quaderförmige Elemente mit beliebig definierbarer Größe.

Nähere Einzelheiten zur Anwendung von PROCESSING MODFLOW 8 sind in [7] aufgeführt.

## **10.2 Diskretisierung und Randbedingungen**

Für die Modellierung des Einzugsgebietes einer Grundwasserentnahme ist zunächst eine Festlegung der Modellränder notwendig, innerhalb derer die numerischen Berechnungen erfolgen sollen (horizontale Netzgestaltung). Generell beschränkt sich das Berechnungsgebiet auf einen Ausschnitt des Betrachtungsgebietes, um die Randbedingungen der numerischen Berechnung vergleichsweise sicher erfassen bzw. sinnvoll abschätzen zu können (Abbildung 10.2-1). Noch kleinräumiger ist das Aussagegebiet innerhalb des Modellgebietes. Es nimmt den Bereich im Modellgebiet ein, für den verlässliche Ergebnisse ermittelt werden sollen. Im vorliegenden Fall entspricht das Aussagegebiet dem unterirdischen Einzugs- und Absenkungsgebiet der Wasserfassungen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg.

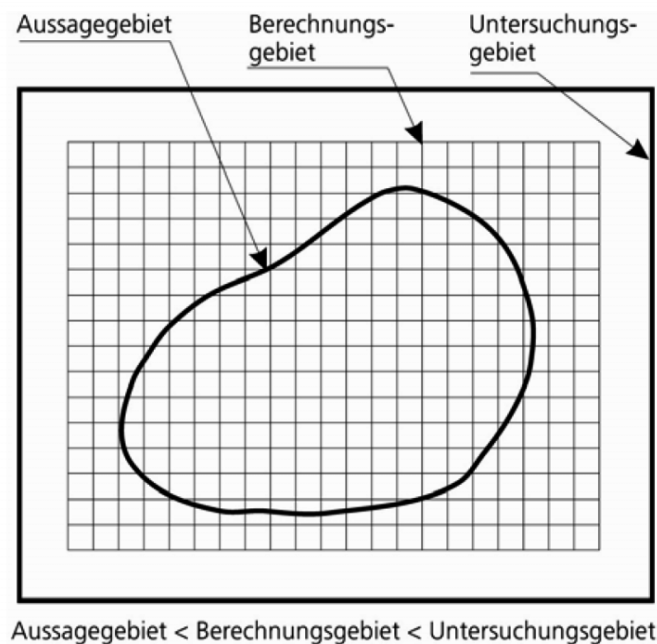


Abbildung 10.2-1: Flächengrößen im Betrachtungsgebiet (nach [28])

Im Grundsatz ist bei der Festlegung der örtlichen Berandung des Modells darauf zu achten, dass das Aussagegebiet zentral im Berechnungsgebiet platziert ist. Der Abstand zu den Modellgrenzen sollte überdies ausreichend groß sein, um die hydraulische Wechselwirkung zwischen Brunnenbetrieb und Modellrand ausschließen zu können. Die Ränder eines Strömungsmodells sollten zudem – soweit möglich – das regionale Grundwassersystem, Neubildungsgebiet und Vorflut umfassen und entsprechend der hydrogeologischen Befunde realen hydrogeologischen bzw. hydraulischen Grenzen innerhalb des betrachteten Grundwassersystems (Vorfluter, Grundwasserscheiden, Auskeilen des GW-Leiters etc.) folgen.

Das vorliegende Modell besteht aus einem horizontalen Modellnetz von 435 x 430 Zellen und hat eine Größe von 30,6 km x 31,9 km. Die Fläche des aktiven Bereiches beträgt ca. 650 km<sup>2</sup>. Die Lage des Modellgebietes und die horizontale Modelldiskretisierung sind in **Anlage 20** dargestellt. Die Maschenweite des Modellgitters variiert zwischen 100 m x 100 m in den brunnenfernen Bereichen und 25 m x 25 m in der Nähe der Fassungsanlagen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg.

Durch diese Maschenweite ist es möglich die Grundwasserströmungsverhältnisse möglichst realitätsnah abzubilden, den Rechenaufwand jedoch im Rahmen zu halten.

Die Diskretisierung des Modellgebietes beim Modellaufbau erfolgte dreidimensional. In der vertikalen Erstreckung wurde nach der Zusammenstellung aller wesentlichen Bohrdaten ein 8-Schichten-Modell aufgebaut. Insgesamt resultiert aus der Diskretisierung des Berechnungsraumes ein Modellgitter aus 435 Spalten, 430 Zeilen und 8 Modellschichten (1.496.400 Zellen).

Praktisch wurde bei der vertikalen Diskretisierung das Modellkonzept auf jede im Modellgebiet vorhandene Bohrung angewendet, anhand der ermittelten Stützpunkte (Ober- bzw. Unterkanten der Modellschichten) wurden die horizontalen Begrenzungsflächen der einzelnen Modellschichten über die Fläche interpoliert. Die Regionalisierung der diskreten Schichtdaten wurde mit dem messwerttreuen Kriging-Verfahren mittels des in PROCESSING MODFLOW implementierten Programmmoduls PMDIS („Field Interpolator“) durchgeführt. Aus modelltechnischen Gründen entsprechen die Modellschichten nicht immer den stratigraphischen Einheiten. So werden geringdurchlässige Mergel- und Tonlinsen schichtübergreifend in ihrer hydraulischen Wirkung durch Variation der  $k_f$ -Werte erfasst.

Die Zuordnung der Modellschichten orientierte sich neben dem hydrogeologischen Aufbau zur besseren Auflösung der vertikalen Strömungskomponenten in Brunnen-nähe an den Filterstellungen der Förderbrunnen. Anhand dieser Datengrundlage konnte die Geometrie des Modellraumes gemäß der in Tabelle 10.2-1 aufgeführten Schematisierung in 8 Modellschichten zusammengefasst werden. **Anlage 19** zeigt das Konzept zur vertikalen Modelldiskretisierung anhand des West-Ost verlaufenden schematischen hydrogeologischen Schnittes A-A'.

Modell- schicht	Schicht- Typ	Hydrogeologische Einheit	Petrografie (vereinfacht)
1	ungespannt/ gespannt	OHGL	Fein- bis Mittelsand, tlw. Grobsand bis Kies
2	gespannt	OHGL Grundwassergeringleiter	Fein- bis Grobsand, Geschiebelehm/-mergel, tlw. Schluff bis Ton
3	gespannt	OHGL	Fein- bis Mittelsand, tlw. Grobsand bis Kies
4	gespannt	MHGL Grundwassergeringleiter	Plateaubereich: Fein- bis Mittelsand, Geschiebelehm/-mergel, tlw. Schluff bis Ton Rinnenbereich: Fein- bis Mittelsand, Geschiebelehm/-mergel, tlw. Schluff bis Ton
5	gespannt	MHGL	Plateaubereich: Feinsand bis Schluff, tlw. Ton Rinnenbereich: Fein- bis Grobsand, tlw. Schluff
6	gespannt	UHGL Grundwassergeringleiter	Plateaubereich: Schluff bis Ton, tlw. Feinsand Rinnenbereich: Fein- bis Grobsand, tlw. Schluff bis Ton
7	gespannt	UHGL Grundwassergeringleiter	Plateaubereich: Ton bis Schluff Rinnenbereich: Fein- bis Mittelsand, tlw. Schluff bis Ton
8	gespannt	UHGL Grundwassergeringleiter	Plateaubereich: Ton bis Schluff Rinnenbereich: Fein- bis Grobsand, tlw. Schluff bis Ton

OHGL, MHGL, UHGL = oberer, mittlerer und unterer Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters

Tabelle 10.2-1: Definition der Modellschichten (genereller Aufbau)

Um für das betrachtete Grundwassersystem die räumliche (und ggf. zeitliche) Verteilung der Standrohrspiegelhöhen zu erhalten, müssen der numerischen Simulation systemspezifische Informationen vorgegeben werden, auf deren Grundlage die den Strömungsprozess beschreibende Differenzialgleichung gelöst werden kann. Diese Informationen umfassen Anfangs- und Randbedingungen sowie Systemeigenschaften. Verknüpft werden diese Bedingungen über das Darcy-Gesetz und die Kontinuitätsbedingung. Die Angaben der Rand- und Anfangsbedingungen werden als Standrohrspiegelhöhen oder als Funktion der Standrohrspiegelhöhen angegeben.

Die Festlegung von Modellgrenzen stellt zwangsläufig eine Verletzung der Kontinuitätsbedingung dar und erfordert demzufolge eine Formulierung von Randbedingungen, durch die der Einfluss der angrenzenden Umgebung auf das Modellgebiet Berücksichtigung findet. Die Definition der Randbedingungen steht somit in enger



Beziehung zur Festlegung der Modellberandung. Eine geeignete Wahl der Modellränder ermöglicht die Formulierung plausibler, numerisch umsetzbarer Randbedingungen und sorgt für eine Minimierung des Randbedingungsfehlers in Richtung auf das Aussagegebiet. An allen Modellrändern werden Vorgaben zu den hydraulischen Bedingungen an diesen Rändern benötigt. Dabei bilden die hydrogeologischen Voruntersuchungen die Grundlage für die Auswahl geeigneter Randbedingungen des Strömungsmodells. Eine wichtige Rolle kommt hierbei der Auswertung der Grundwassergleichen zu.

Bei dem vorliegenden Strömungsmodell orientiert sich die Definition der Randbedingungen für das Berechnungsgebiet ähnlich wie die Wahl der horizontalen Modellberandung an dem Systemzustand der durch den Grundwassergleichenplan (**Anlage 15**) vorgegeben ist. Die Begrenzungen des Berechnungsgebietes sind in **Anlage 20** dargestellt. Es ist zu beachten, dass es sich um die Randbedingungen eines bestimmten Zustandes handelt, nämlich um den im Mai 2005 vorgefundenen.

Die Modellgrenzen der einzelnen Modellschichten werden im Wesentlichen durch den Verlauf der Grundwassergleichen und der Vorfluter im Betrachtungsgebiet bestimmt. In der Modellschicht 1 orientiert sich die nördliche Berandung des Grundwasserströmungsmodells an den +25 mNN-, +32,5 mNN- und +37,5 mNN-Potentiallinien des Grundwassergleichenplans und ist als Cauchy-Rand definiert. Die nordöstliche Grenze bildet eine Stromlinie (undurchlässiger Rand). Östlich der Ortslage Visselhövede liegt die Berandung im Verlauf der +60 mNN-Potentiallinie (Cauchy-Rand). Die östliche und südöstliche Begrenzung des Modellgebietes folgt den Vorflutern Warnau und Böhme (Cauchy-Rand). Im Südwesten orientiert sich die Berandung am Verlauf der großen Vorfluter Aller sowie Weser und wird durch einen Festpotentialrand (Dirichlet-Ränder) festgesetzt. Den südlichen Teil der westlichen Grenze bildet der Langwedeler Mühlenbach und im Norden die +15 mNN- bzw. +17,5 mNN Potentiallinien (Cauchy-Rand). Der Verlauf der Modellberandungen in den Modellschichten 2 bis 8 gleicht den in der Modellschicht 1. Modellränder, die in Modellschicht 1 als Cauchy-Rand definiert sind und dem Verlauf der Vorfluter folgen, sind in den übrigen Modellschichten als

undurchlässiger Rand definiert. Dies gilt ebenfalls für den südwestlichen Rand im Verlauf der Vorfluter Aller bzw. Weser. Im Norden bzw. Nordosten des Grundwassermodells sind in den tieferen Modellschichten undurchlässige Ränder definiert, wenn in diesen Bereichen geringdurchlässige Sedimente vorhanden sind, die nur vertikal durchströmt werden. In den Modellschichten 7 und 8 ist im Bereich der elsterzeitlichen Rinnen ein Abstromrand definiert.

### 10.3 Systemeigenschaften und Eingangsdaten

Die Systemeigenschaften und ihre räumliche Verteilung beeinflussen das hydraulische Verhalten des Grundwassersystems. Nach dem Aufbau des Modellgitters wurden den einzelnen Zellen die Parameter zugeordnet, die zum Lösen der Strömungsgleichung notwendig sind. Folgende Daten gehen in das Strömungsmodell ein:

- Geologie in Form von Schichtobergrenzen und Schichtuntergrenzen
- Systemparameter der verschiedenen geologischen Schichten ( $k_f$ -Werte, effektive Porositäten)
- Oberflächengewässerdaten
- flächendifferenzierte Grundwasserneubildung
- Entnahmemengen der Förderbrunnen der Wasserwerke und anderer Grundwassernutzer
- Messungen und Interpretationen der Wasserstände vom Mai 2005

#### 10.3.1 Durchlässigkeitsbeiwerte und effektive Porositäten

Neben den Randbedingungen stellt der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) einen der wichtigsten Eingabeparameter bei der Grundwasserströmungsmodellierung dar. Er ist definiert als der Quotient aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Standrohrspiegelgefälle und übt somit erheblichen Einfluss auf das Fließregime aus. Der  $k_f$ -Wert ist eine tensorielle Größe. Infolge der Sedimentschichtung in grundwasserführenden Horizonten ist die vertikale Durchlässigkeit in der Regel kleiner als die horizontale. In

Modellanwendungen sind Anisotropiefaktoren zwischen horizontalem und vertikalem  $k_f$ -Wert in einer Größenordnung zwischen 1 und 1.000 üblich [1].

Den Sedimenten wurden aufgrund der im Betrachtungsgebiet vorliegenden Schichtenverzeichnisse von Bohrungen unter Berücksichtigung von Literaturangaben [16] Durchlässigkeitsbeiwerte zugeordnet.

Im Zuge der Kalibrierung des Modells wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte bereichsweise verändert. Die im Rahmen der Modellkalibrierung ermittelten  $k_f$ -Werte sind in **Anlage 35** flächenhaft für die einzelnen Modellschichten dargestellt. Die Unterschiede zwischen dem vertikalen und horizontalen Durchlässigkeitsbeiwert wurden im Modell durch einen Anisotropiefaktor von 10 erfasst.

Neben dem Durchlässigkeitsbeiwert ist die effektive Porosität eine weitere bestimmende hydraulische Größe, die vor allem für die Berechnung der Fließzeiten des Grundwassers von Bedeutung ist. Die effektive Porosität definiert die Größe des zusammenhängenden Porenraumes, der an der Wasserbewegung beteiligt ist. Für das Grundwasserströmungsmodell wurden die effektiven Porositäten aus den petrographischen Angaben der im Untersuchungsraum niedergebrachten Bohrungen abgeleitet und in Zonen zusammengefasst. Bei den Werten handelt es sich um Annahmen, die sich auf Literaturangaben stützen [16], [30]. Eine tabellarische Zusammenfassung der zugewiesenen effektiven Porositäten für die einzelnen Modellschichten findet sich in **Anlage 35**.

### 10.3.2 Oberflächengewässer

Für die Analyse der Grundwasserfließverhältnisse müssen im Grundwasserströmungsmodell die hydraulischen Wechselwirkungen zwischen dem ober- und unterirdischen Wasser mit einbezogen werden. Dafür wurde der Verlauf der Vorfluter (Lehrde, Gohbach, Halsebach etc.) im Strömungsmodell nachgebildet. Es wurden die Daten des NLWKN Verden mit einbezogen. Es liegen Angaben über Wasserstände und teilweise

zu Abflussmengen am Pegel Weitzmühlen (Gohbach) sowie am Pegel Lehringen (Lehrde) vor /42/. Außerdem wurden die von dem gewässerkundlichen Informationssystem der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes erhobenen Wasserstände der Fließgewässer Aller und Weser hinzugezogen. Im Zuge einer Ortsbegehung wurden die fehlenden Daten zu den Vorflutern an ausgewählten Punkten ermittelt und in den Bereichen zwischen den Untersuchungspunkten interpoliert (**Anlage 35**). Angaben zu Durchlässigkeiten der Sohlschichten (Kolmationsschicht) der Vorfluter lagen nicht vor. Daher wurde diese Größe im Zuge der Kalibrierung näherungsweise bestimmt.

Hinsichtlich der Kolmationsschichten in den Vorflutern ist davon auszugehen, dass die Durchlässigkeiten im Bereich der von Feinsanden bis Schluffen liegen. Die Vorfluter dürften demnach relativ gut an den Grundwasserleiter angeschlossen sein.

### 10.3.3 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung entspricht der Differenz aus Niederschlag und der Summe aus Evapotranspiration und Direktabfluss, sie ist das wichtigste positive Bilanzglied in der Grundwasserhaushaltsgleichung. Dieser Systemparameter ist nur mit sehr hohem Aufwand direkt kleinräumig messbar (Lysimeter). Es existieren jedoch verschiedene empirische Verfahren zur Abschätzung der Grundwasserneubildung wie die von Kunkel & Wendland (1998) entwickelte Methode GROWA 98 [20].

Bei der vorliegenden Strömungsmodellierung wurde die nach dem Verfahren GROWA 06 für den Untersuchungsraum ermittelte flächendifferenzierte Grundwasserneubildung als Modelleingangsgröße herangezogen. Das als Datengrundlage verwendete digitale Kartenmaterial des LBEG, Hannover /45/ weist die Grundwasserneubildungsrate in Zonen mit Intervallen von 50 mm/a aus. Diese Zonen wurden in das Grundwassermodell übertragen und der jeweils höchsten aktiven Zelle zugewiesen. Die Karte ist in **Anlage 35** dargestellt und weist Zonen mit Neubildungsraten zwischen < 50 mm/a und 350 mm/a aus.

#### 10.3.4 Grundwasserentnahmen

Einen bedeutenden Einfluss auf den Wasserhaushalt des Modellgebietes haben die Grundwasserentnahmen der Wasserfassungen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg. Für die Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells wurden die monatlichen Förderraten zum Zeitpunkt Mai 2005 genutzt. Daneben werden im Grundwasserströmungsmodell auch die Grundwasserentnahmen der Stadtwerke Verden (WW Brunnenweg) sowie die Entnahmen zur landwirtschaftlichen und gewerblichen Nutzung innerhalb des Berechnungsgebietes berücksichtigt. Wenn keine Angaben zu den monatlichen Fördermengen vorlagen wurden anteilig die Daten der jährlichen Fördermengen bei der Modellierung berücksichtigt. Die Entnahmemengen der Wasserwerke sowie die Grundwasserentnahmen zur landwirtschaftlichen und gewerblichen Nutzung sind in **Anlage 35** aufgeführt.

Aus dem Antagonismus zwischen der Verwendung von monatlichen Förderraten der Einzelbrunnen und deren faktisch instationären täglichen Förderbetrieb können bei der Modellkalibrierung, insbesondere bei brunnennahen Grundwassermessstellen, Konvergenzprobleme bei der Anpassung zwischen gemessenen (stichtagsgenauen) und berechneten (mittleren quasi-stationären) Standrohrspiegelhöhen auftreten.

#### 10.4 Kalibrierung des Grundwasserströmungsmodells

Um ein Modellsystem an das Natursystem anzupassen, müssen unter Zugrundelegung eines stationären Systemzustandes einzelne, aus Messungen nur schwer zugängliche Modellparameter in plausibler Weise so lange variiert werden, bis eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Reaktionen von Modell und Natursystem erreicht ist.

Als Kontrolldaten, welche die Reaktion des Natursystems beschreiben und modellunabhängig aus Messungen gewonnen und abgeleitet werden können, können u. a. Standrohrspiegelhöhen an Messpunkten oder die Standrohrspiegelverteilung aus der Interpolation der Messpunktwerte (Gleichenpläne) herangezogen werden.

Im Verlauf der Modellkalibrierung soll eine möglichst genaue Übereinstimmung der gemessenen Piezometerhöhen mit den im Modell errechneten Wasserständen erreicht werden. So können schwer zugängliche oder nicht bekannte Systemparameter abgeschätzt werden. Im stationären Fall sind hauptsächlich die Systemparameter Durchlässigkeitsbeiwert und Grundwasserneubildung davon betroffen. Diese beiden Parameter können jedoch nicht gleichzeitig auf Basis der gemessenen Piezometerhöhen kalibriert werden, da verschiedene Wertekombinationen beider Größen zu gleichen Wasserständen führen können (Mehrdeutigkeitsproblem). Den Modellsimulationen liegt im vorliegenden Fall die detailliert flächendifferenziert ermittelte Grundwasserneubildungsrate (GROWA 06) zugrunde /45/, die während der Kalibrierung konstant gehalten wurde. In der Hauptsache wurde die unzulänglich bekannte räumliche Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte im Zuge der Kalibrierung ermittelt. Zusätzlich wurde der Wert der hydraulischen Anbindung der Vorfluter an den Grundwasserkörper kalibriert.

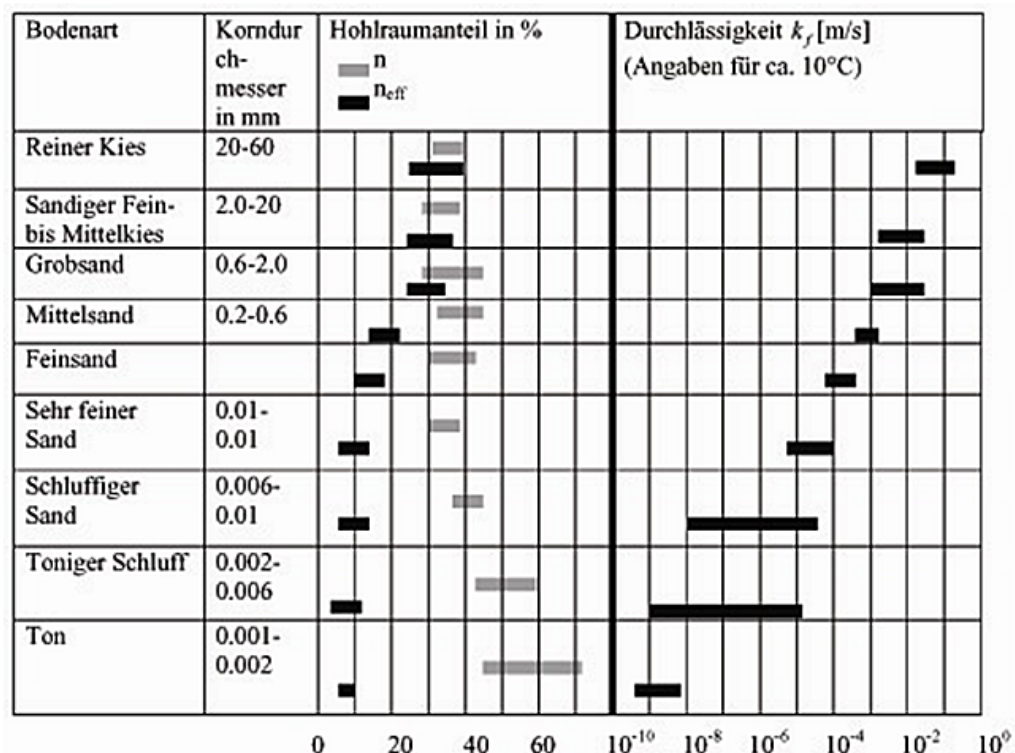


Abbildung 10.4-1: Durchlässigkeitsbeiwerte und Hohlraumanteil bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung

Als Kalibrierungsgrundlage dienten die Grundwasserstandsdaten der Stichtagsmessung aus dem Mai 2005. Für diese Stichtagsmessung wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte unter Beachtung der petrographischen Gegebenheiten solange manuell innerhalb der Plausibilitätsbereiche (Abbildung 10.4-1) variiert, bis eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Piezometerhöhen erreicht war. Die Güte der Anpassung wurde über die Wurzel der mittleren Abweichungsquadrate (RMS) zwischen berechneten und gemessenen Piezometerhöhen ermittelt (mittlerer Fehler).

Dieses gängige Gütekriterium für Modellkalibrierungen berechnet sich nach folgender Formel:

$$RMS = \left[ 1/n \sum_{i=1}^n (h_m - h_s)_i^2 \right]^{0.5}$$

n = Anzahl der Messwerte

$h_m$  = gemessene Piezometerhöhe der Messstelle [m]

$h_s$  = simulierte Piezometerhöhe der Messstelle [m]

Der RMS-Wert sollte nach [1] möglichst klein sein. In der Modellierungspraxis [27], [33] wird ein RMS von <5 % der maximalen Potentialdifferenz im Modellgebiet angestrebt. Darüber hinaus sind auch die Varianz sowie die Standardabweichung charakteristische Merkmale der Anpassungsgüte. So sollte die Varianz zwischen gemessenen und berechneten Daten 10 % der maximalen Potentialdifferenz des jeweiligen Grundwasserleiters nicht überschreiten. Der Determinationskoeffizient der gemessenen und berechneten Wasserständen sollte zudem je nach Anzahl und Qualität der Daten zwischen 0,7 und 1 liegen [33].

Für das vorliegende Modell sind die nach Beendigung der Kalibrierung vorhandenen Parameter in **Anlage 35** aufgelistet.

Die Qualität der Modellanpassung ist anhand eines Scatter-Diagramms, einer tabellarischen Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Wasserstände sowie einer Statistik in **Anlage 37** dargestellt. Da die berechneten und die gemessenen Werte für die Brunnenzellen bzw. Brunnen aufgrund der Modellgeometrie nicht direkt vergleichbar sind, wurden sie bei den Darstellungen und in der Fehlerberechnung nicht berücksichtigt.

Das in **Anlage 37** dargestellte Scatter-Diagramm zeigt die erreichte Anpassung für das Gesamtsystem durch die graphische Auftragung der berechneten Grundwasserstände (y-Achse) als Funktion der gemessenen Standrohrspiegelhöhen (x-Achse). Zur besseren Übersicht wurden die einzelnen Messstellen im Scatter-Diagramm nicht beschriftet; die Wasserstände sind in der tabellarischen Übersicht (**Anlage 37**) gesondert aufgelistet. Anhand der Graphik ist zu erkennen, dass die berechneten Grundwasserstände überwiegend nur wenig von den zugehörigen Messwerten abweichen. Die Datenpunkte sind gleichmäßig und nahe entlang der dargestellten Regressionsgeraden verteilt. Mit dem vorliegenden Modell kann demnach die der Kalibrierung zugrunde gelegte Strömungssituation gut reproduziert werden.

Aus der statistischen Übersicht zur Qualität der Modellanpassung (**Anlage 37**) geht hervor, dass die bei der Fehlerrechnung berücksichtigten 238 Grundwassermessstellen eine maximale Potentialdifferenz von 47,12 m aufweisen (ermittelt zwischen der Messstelle NA 86/1 mit + 11,28 mNN und NA 3 mit +58,40 mNN). Die absolute Differenz zwischen den berechneten und gemessenen Grundwasserständen beläuft sich minimal auf ca. 0,00 m (PB 67a) und liegt maximal bei ca. 3,35 m (Messstelle PB 18b); das arithmetische Mittel beträgt 1,04 m. Die Differenzen zwischen berechneten und gemessenen Standrohrspiegelhöhen weisen eine Varianz von 1,77 m auf, die zugehörige Standardabweichung beträgt 1,33 m. Für die Wurzel der mittleren quadratischen Abweichung (RMS) als einem weiteren Kriterium der Modellanpassung wurde ein Wert von 1,32 m ermittelt, dies entspricht einem Anteil an der maximalen Potentialdifferenz von 2,81 %. Grundsätzlich wird aus dieser Fehlerstatistik deutlich, dass oben genannte Anforderungen an die Kalibrierungsgüte somit erfüllt sind.



Unberücksichtigt blieben bei der Ermittlung der Kalibrierungsgüte die bedingt durch die Grundwasserentnahme niedrigen Grundwasserstände in den Förderbrunnen. Entsprechendes gilt für einige in unmittelbarer Brunnennähe gelegene Messstellen, bei denen sich Konvergenzprobleme bei der Anpassung zwischen gemessenen (stichtagsgenauen) und berechneten (mittleren quasi-stationären) Grundwasserständen zeigten. Als mögliche Ursache wird die Diskrepanz zwischen der theoretischen dem Modell zugrunde gelegten mittleren Förderkonstellation der Brunnen und deren faktisch instationärem Förderbetrieb gesehen.

In der **Anlage 23** sind die Differenzen gemessener und berechneter Grundwasserstände in einem Lageplan visualisiert. Die Differenzen sind im Wesentlichen gering und im Modellgebiet gleichmäßig verteilt. Die Abweichungen der berechneten von den gemessenen Grundwasserständen betragen im gesamten Modellgebiet überwiegend weniger als 1,5 m. Mit dem vorliegenden Modell kann demnach die Strömungssituation gut reproduziert werden. Lediglich im Bereich nordöstlich des Wasserwerks Langenberg bei den Messstellen L-Pb 79, L-Pb 108 und L-Pb 120 sind relativ hohe Differenzen über 2,5 m zu erkennen. Eine Anpassung der hier berechneten niedrigen Grundwasserstände an die tatsächlich gemessenen kann modelltechnisch nur mit stärkeren Veränderungen des Untergrundaufbaus, die nicht mit den Vorstellungen des hydrogeologischen Konzeptmodells übereinstimmen, realisiert werden. Die Bohrung GE 17 im Abstrom dieser Messstellen zeigt bindige Sedimente in einer Tiefe von 10,5 bis mehr als 62 m unter Geländeoberfläche und könnte ein Hinweis auf einen weiträumigeren geringdurchlässigen Bereich sein. Dieser Befund reicht aber nicht aus, um eine wesentlich größerer Struktur mit geringdurchlässigen Sedimenten im numerischen Modell zu verwirklichen. Aufgrund des Modellaufbaus wird die Reichweite der förderbedingten Grundwasserabsenkung generell überschätzt (Worst-Case Szenario).

Neben der punktuellen Anpassung zwischen berechneten und gemessenen Grundwasserständen wurde auch deren flächenhafte Übereinstimmung durch den Vergleich der berechneten mit den gemessenen Standrohrspiegelverteilungen aus der

Interpolation der Messpunktwerte (Grundwassergleichen) überprüft. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass mit Hilfe des Grundwassermodells die richtigen Strömungsrichtungen reproduziert werden können.

Der mit dem numerischen Modell berechnete Grundwassergleichenplan für den Kalibrierungszustand ist in den **Anlagen 21** und **22** wiedergegeben. Die berechneten Grundwassergleichen sind jeweils als rote Linien dargestellt. Zum Vergleich mit der am Stichtag herrschenden Strömungssituation wurden die anhand der Wasserstandsmessungen vom Mai 2005 konstruierten Isohypsen als dunkelblaue Linien integriert. Es zeigt sich ein identischer bis sehr ähnlicher Verlauf zwischen dem konstruierten Gleichenplan der Stichtagsmessung und den berechneten Grundwassergleichen.

Die mit Hilfe des Grundwassermodells errechnete Wasserbilanz des Modellgebietes für den Kalibrierungszustand ist in **Anlage 36** veranschaulicht. Gemäß der Bilanzierungsrechnungen gelangt der größte Teil des Grundwassers (99 % bzw. 132,7 Mio. m<sup>3</sup>/a) über die Grundwasserneubildung in das Modellgebiet. Der Anteil des Grundwassers, der über die Modellränder in das Gebiet gelangt, beträgt lediglich ca. 1 % (1,3 Mio. m<sup>3</sup>/a). Wie die detaillierte Aufstellung in der Anlage zeigt, erfolgt der Zustrom mit ca. 0,97 Mio. m<sup>3</sup>/a im Wesentlichen über den Nordostrand in das Modellgebiet. Zu den negativen Bilanzgrößen des Grundwasserhaushalts gehören mit ca. 13,9 Mio. m<sup>3</sup>/a (ca. 10,4 % des Gesamtabstroms) die Grundwasserentnahmen durch die Wasserwerke Panzenberg, Langenberg und Brunnenweg sowie in kleinerem Umfang die Grundwasserentnahmen für landwirtschaftliche und gewerbliche Zwecke. Der Abstrom über die Modellränder macht mit ca. 39,8 Mio. m<sup>3</sup>/a ca. 29,7 % des Gesamtabstroms aus. Hierbei entfallen ca. 18,8 Mio. m<sup>3</sup>/a auf den Abstrom über den Nordrand und ca. 9,3 Mio. m<sup>3</sup>/a über den Westrand. Dies entspricht überschlägigen Abschätzungen zum Grundwasserabstrom basierend auf dem Grundwassergleichenplan und den geologischen Daten. Ein wesentlicher Teil des Grundwassers strömt über die Vorfluter aus dem Modellgebiet heraus (ca. 59,9 % bzw. 80,2 Mio. m<sup>3</sup>/a). Davon fließen über den Gohbach ca. 11,4 Mio. m<sup>3</sup>/a und über die Lehrde ca. 26,2 Mio. m<sup>3</sup>/a ab. Für den Vethbach / Otersener Kanal und den Dauelsener Bruchgraben in den

Niederungsgebieten zeigt die Wasserbilanz Abflüsse von ca. 10,8 Mio. m<sup>3</sup>/a bzw. 16,7 Mio. m<sup>3</sup>/a. In der Gesamtbilanz entfallen auf den Grundwasser-Zufluss und Grundwasser-Abfluss ca. 133,9 Mio. m<sup>3</sup>/a, der Massenbilanzfehler des Grundwasserströmungsmodells beläuft sich auf 0,02 %.

Für die Pegel Weitzmühlen am Gohbach und Lehringen an der Lehrde existieren Abflussdaten des NLWKN /42/. Als zusätzliche Kontrollgröße für die mit dem Grundwasserströmungsmodell berechneten Bilanzgrößen des Wasserhaushalts können die langjährigen Abflussdaten und Hauptkenndaten der Gewässerpegel herangezogen werden. Im vorliegenden Fall ermöglichen es die an den Pegeln Weitzmühlen und Lehringen gemessenen monatlichen Niedrigwasserabflüsse die über die Wasserbilanz numerisch errechneten Abflussmengen zu verifizieren. Alle Verfahren zur Ermittlung des grundwasserbürtigen Abflusses gehen davon aus, dass in Trockenzeiten der gesamte Abfluss dem Grundwasser entstammt. Nach dem Verfahren nach KILLE (modifiziertes MoMNQ-Verfahren) [16] berechnet sich der grundwasserbürtige Abfluss für das Einzugsgebiet des Gewässerpegels Weitzmühlen am Gohbach für den Zeitraum von Januar 2000 bis Dezember 2009 auf ca. 0,42 m<sup>3</sup>/s (ca. 13,25 Mio. m<sup>3</sup>/a). Für das Einzugsgebiet des Gewässerpegels Lehringen an der Lehrde berechnet sich der grundwasserbürtige Abfluss für den Zeitraum von November 2001 bis Oktober 2011 auf ca. 0,72 m<sup>3</sup>/s (ca. 22,72 Mio. m<sup>3</sup>/a) (**Anlage 35**). Die mit dem Grundwassermodell berechneten Abflüsse am Pegel Weitzmühlen betragen ca. 0,32 m<sup>3</sup>/s und am Pegel Lehringen ca. 0,69 m<sup>3</sup>/s. Vor dem Hintergrund, dass die durch das Grundwassermodell berechneten Abflussmengen sich allein auf den grundwasserbürtigen Abfluss beziehen, während das empirische Ermittlungsverfahren nach KILLE [16] untergeordnet noch anteilig niederschlagsbürtige Abflussmengen beinhalten dürften, erscheinen die berechneten Abflüsse plausibel.

Während für den Gohbach und die Lehrde langjährige Messreihen der mittleren Tagesabflüsse vorliegen, stehen für die Gewässerpegel Uhlemühlen und Dovemühlen am Halsebach nur wesentlich kürzere Messreihen zur Verfügung. Für den Pegel

Uhlemühlen liegen lediglich Abflussdaten von November 1980 bis Oktober 1984 vor und er erfasst ebenfalls den Zufluss des Steinbachs, d. h. das Abflussgeschehen am Pegel Uhlemühlen wird auch durch den Steinbach beeinflusst. Bei der Auswertung nach KILLE ergibt sich ein grundwasserbürtiger Abfluss am Pegel Uhlemühlen von ca. 0,024 m<sup>3</sup>/s. Für den Pegel Dovemühlen liegen längere Datenreihen vor (ab Mai 1990), die aber keinen nennenswerten grundwasserbürtigen Abfluss zeigen (<0,001 m<sup>3</sup>/s) und häufig durch das Trockenfallen des Halsebachs unterbrochen sind. Eine zuverlässige Auswertung der Daten der Gewässerpegel Uhlemühlen und Dovemühlen ist aufgrund der kurzen bzw. lückenhaften Zeitreihen nicht möglich.

## **10.5 Validierung des Grundwasserströmungsmodells**

Die Prognosefähigkeit eines kalibrierten Grundwasserströmungsmodells kann durch eine Modellvalidierung („Verifizierung“) bestätigt bzw. infolge einer diesbezüglich erforderlich werdenden Nachkalibrierung erhöht werden. Hierzu soll generell mit einem zusätzlichen, unabhängigen Datensatz, der nicht für die Kalibrierung verwandt wurde, ein weiterer Rechenlauf erzeugt werden. Nach [2] bietet es sich an, mit Hilfe des stationär kalibrierten Modells einen durch Daten gut belegten Pumpversuch im Zuge einer instationären Simulation nachzubilden. Sollte kein instationärer Datensatz vorliegen, kann die Kalibrierung durch einen zweiten unabhängigen stationären Datensatz überprüft werden, wobei nach Möglichkeit zu diesem Zeitpunkt im betrachteten Aquifersystem vom mittleren Systemzustand – dem Kalibrierungs-Zustand – abweichende hydrologische Bedingungen vorherrschen sollten. Führt die erneute Simulationsrechnung unter Verwendung der kalibrierten Modell-Parameter und ohne Modifikation aller weiteren zeitunabhängigen Modellparameter bezüglich der abzubildenden Strömungssituation des Validierungszeitpunktes zu einer zufriedenstellenden Übereinstimmung zwischen Modell- und Natursystem, kann davon ausgegangen werden, dass das vorliegende Grundwasser-Strömungsmodell zuverlässige Resultate liefert und für realitätsnahe Prognoserechnungen herangezogen werden kann. Sollte sich bei der Simulation der Strömungssituation zum

Validierungszeitpunkt kein zur Kalibrierung plausibles Ergebnis einstellen, ist die Kalibrierung zu überprüfen [28].

#### 10.5.1 Instationäre Validierung des Grundwasserströmungsmodells

Im Zuge einer instationären Validierung werden die real existierenden variablen Systemzustände in ihrem zeitlichen Zusammenwirken erfasst, so dass i. d. R. eine Verbesserung sowohl der Modellgüte als auch der Qualität der Prognosefähigkeit eines stationär kalibrierten Grundwasserströmungsmodells erzielt werden kann.

Die grundwasserhydrologischen Gegebenheiten im Modellgebiet des vorliegenden Grundwassermodells Verden (variable Förderraten der Wasserwerke Panzenberg, Langenberg und Brunnenweg; weiträumiger Einfluss der GW-Entnahme auf die GW-Potentiale) führen dazu, dass im Gesamtgebiet im eigentlichen Sinne kein eindeutig stationärer Zustand eintritt. Das betrachtete instationäre Grundwassersystem sollte demgemäß instationär validiert werden, um mögliche Fehler in den Simulationsrechnungen, die aus der zeitlichen Verzögerung zwischen Förderratenänderung und zugehöriger Verteilung der Standrohrspiegelhöhen resultieren, zu minimieren. Eine instationäre Validierung kann darüber hinaus zu einer Verbesserung der Modellgüte führen, da im Zuge der instationären Modellkalibrierung verschiedenste Systemzustände in ihrem zeitlichen Zusammenwirken erfasst werden.

Bei einer instationären Betrachtung eines Grundwassermodells können im Gegensatz zur stationären Betrachtungsweise zeitliche Variabilitäten verschiedener Randbedingungen (z. B. Grundwasserneubildung, Grundwasserförderung) erfasst werden. Dadurch ist es möglich, den Verlauf verschiedener Beobachtungsgrößen wie der Grundwasserpotentiale zeitabhängig zu simulieren. Zu diesem Zweck wird der betrachtete Simulationszeitraum in eine Reihe von Zeitintervallen untergliedert. Für diese Zeitintervalle lassen sich zeitvariable Eingangsdaten (unterschiedliche Förderraten, Grundwasserneubildungsraten bzw. Festpotentiale oder Randflüsse) definieren. Innerhalb eines Zeitintervalls bleiben diese Parameter konstant.

Zur guten Modellierungspraxis gehört es, dass als Anfangsbedingungen für die Grundwasserpotentiale eine stationäre Lösung des kalibrierten Modells verwendet wird. Auf diese Weise wird eine Konsistenz zwischen der Anfangsverteilung der Potentiale und den hydrologischen Eingabeparametern des Modells sichergestellt. Anderenfalls würde am Anfang der Simulationsperiode eine Anpassung zwischen den gewählten Anfangspotentialen und den hydrologischen Eingabeparametern erfolgen. Aus diesem Grund fällt im vorliegenden Fall der Startzeitpunkt für die instationäre Kalibrierung in den Mai 2005. Bereits für die stationäre Kalibrierung wurde der Mai 2005 gewählt, da für diesen Zeitpunkt ein mittlerer Systemzustand ermittelt wurde. Der Zeitraum für die instationäre Betrachtung des Grundwasser-Strömungsmodells Verden erstreckt sich bis in den Dezember 2007, wobei der Betrachtungszeitraum für die instationäre Kalibrierung in Intervalle von jeweils einem Monat Zeitschrittlänge untergliedert wurde.

Neben den monatspezifischen Grundwasserentnahmen wurden dem stationär kalibrierten Grundwassermodell zur Simulation des zeitabhängigen Fließregimes in den 32 unterschiedenen Zeitperioden auch angepasste Grundwasser-Neubildungsraten zugeordnet. Grundlage der zeitlichen Variation der Grundwasserneubildung sind Grundwasserganglinien aus oberflächennah verfilterten Grundwassermessstellen (P-Pb 91a, UWO 60, NA 103 und L-Pb 138a), die nicht im Einflussbereich von Brunnen liegen. Ausgehend vom Verlauf der Grundwasserganglinien wurden ihr prozentualer Anteil bezogen auf die Grundwasserstände vom Mai 2005 ermittelt, mit dem resultierenden Faktor wurde die nach dem GROWA 06 V2-Verfahren abgeschätzte flächendifferenziert Grundwasserneubildung im Modellgebiet für die einzelnen Zeitintervalle angepasst.

Bei der instationären Modellierung der Grundwasserströmung erfolgt die Berücksichtigung der Speichereigenschaften des Grundwasserkörpers für gespanntes Grundwasser über den spezifischen Speicherkoeffizienten, für freies Grundwasser über die dränbare Porosität. Im vorliegenden Grundwassermodell wurden die

erforderlichen Aquiferparameter basierend auf den petrographischen Informationen aus Bohrprofilen sowie der stationär kalibrierten Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Werte) aus Literaturwerten abgeleitet [33].

Bei der Validierung des Grundwasserströmungsmodells wurde die Kalibrierung mit einer instationäre Simulation (Mai 2005 bis Dezember 2007) überprüft. Hierbei wurden die monatlichen Fördermengen der Brunnen der Wasserwerke Panzenberg, Langenberg und Brunnenweg verwendet sowie die Grundwasserneubildung variiert. Im Rahmen der instationären Validierung führt die Variation des Speicherkoeffizienten zu einer Anpassung der Reaktionsgeschwindigkeit der Piezometer. Zur Kontrolle dieser Systemreaktion erfolgte die Anpassung anhand von Grundwasserganglinien, die die Grundwasserstandsentwicklung über den Betrachtungszeitraum abbilden. Im vorliegenden Fall wurde auf Grundwasserganglinien der vom Trinkwasserverband Verden betriebenen Messstellen sowie auf einzelne Landesgrundwassermessstellen zurückgegriffen. Wie in **Anlage 37** dargestellt, ergibt sich zwischen den gemessenen Wasserstandsdaten aus den Stichtagemessungen (Punktdaten) und den berechneten Grundwasserständen (Ganglinien) eine gute bis mäßig gute Übereinstimmung.

#### 10.5.2 Simulation des Null-Zustandes

Eine weitere Möglichkeit der Validierung des Grundwassermodells ist der Vergleich von gemessenen Grundwasserständen vor dem Förderbeginn der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg mit den numerisch ermittelten Grundwasserpotentialen für den virtuellen Null-Zustand.

Durch die Simulation des Null-Zustandes sollen die Strömungsverhältnisse dargestellt werden, die sich bei der Aufgabe des Förderbetriebes der Brunnen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg einstellen, um so eine Vorstellung der natürlichen Grundwasserströmungsverhältnisse und der Auswirkungen der Grundwasserentnahme gegenüber diesen natürlichen Verhältnissen zu entwickeln. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass andere Maßnahmen, die ebenfalls Auswirkungen auf die

Höhenlage der Grundwasseroberfläche haben – wie die künstliche Entwässerung über Gräben und die Entnahme des Wasserwerks der Stadtwerke Verden – nicht betrachtet werden.

Für den Zeitpunkt vor Inbetriebnahme der Förderbrunnen existieren einige wenige Grundwasserstandsdaten aus dem Betrachtungsgebiet, die eine Verifizierung der mit dem Grundwasserströmungsmodell berechneten Grundwasserpotentiale für den Null-Zustand ermöglichen. Die im November 1969 gemessenen Grundwasserstände und die für den virtuellen Null-Zustand berechneten Wasserstände sind in der **Anlage 37** zusammengestellt. **Anlage 24** zeigt den Vergleich der berechneten (Null-Zustand) und gemessenen (November 1969) Grundwasserstände. Da das Messnetz zu diesem Zeitpunkt noch nicht so gut ausgebaut war, liegen hauptsächlich Grundwasserstandsdaten aus dem Nahbereich der Wasserwerke vor. Es zeigen sich i. d. R. ähnliche bis sehr ähnliche Grundwasserstände. Basierend auf den Grundwasserstandsdaten vom November 1969 und der Stichtagemessung vom Mai 2005 konnte die Differenz der Grundwasserstände ermittelt werden und mit der mittels des Grundwasserströmungsmodells berechneten Grundwasserabsenkung (Mai 2005 gegen Null-Zustand) verifiziert werden. Die gemessenen und berechneten Grundwasserabsenkungen für einige Messstellen sind in der **Anlage 37** zusammengestellt. Dort befindet sich ebenfalls ein Scatter-Diagramm, in dem die gemessene Grundwasserabsenkung in den Messstellen als Funktion der berechneten Grundwasserabsenkung dargestellt ist. Es ergeben sich ähnliche Absenkungsbeträge, allerdings sind die mit dem Grundwassermodell berechneten Grundwasserabsenkungen tendenziell etwas größer als die Differenzen aus den gemessenen Grundwasserständen. Dies gilt insbesondere für Messstellen, die im Nahbereich der Brunnen verfiltert sind (z.B. P-PB 3b, P-PB 13a, P-PB 14a, L-PB 77 und L-PB 80).

## 10.6 Sensitivitätsanalyse des Grundwasserströmungsmodells

Aus numerischen Simulationsberechnungen abgeleitete Aussagen sind mit Unsicherheiten behaftet. Diese resultieren zum Einen aus den z. T. schon mit



Unsicherheiten belegten Modelleingangsdaten, wie der i. d. R. aus langjährigen Mittelwerten flächendifferenziert abgeschätzten Grundwasserneubildungsrate; zum Teil ergeben sich Unsicherheiten in den Modellaussagen aber auch aus der Modellkalibrierung, wenn keine eindeutigen hydraulischen Kenndaten zur Beschreibung der Untergrundeigenschaften (z. B. Durchlässigkeitsbeiwerte) vorliegen oder potentialabhängige Randbedingungen aufgrund fehlender geeigneter Messwerte nur näherungsweise abgeschätzt werden können (z. B. die Anbindung von Oberflächen-gewässern). Um die Relevanz der Unsicherheiten einer Modellanwendung bewerten zu können, finden hauptsächlich drei Methoden Anwendung:

1. Sensitivitätsuntersuchungen
2. Szenarientechnik bzw. Parameterstudien (z. B. worst case - Studie)
3. Stochastische Modellierungen (z. B. Monte-Carlo-Methode)

Im vorliegenden Fall sollen die Unsicherheiten und Annahmen in den Modellaussagen unter Einsatz der ersten Methode bewertet werden. Grundlage für die vorliegende Sensitivitätsanalyse ist das kalibrierte Grundwasserströmungsmodell für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg.

Zur Erkundung der Sensitivität eines Grundwassermodells wird der Einfluss der Änderung einzelner, mit Unsicherheiten behafteter Parameter auf das Modellergebnis systematisch untersucht. Zu diesem Zweck werden die betrachteten Modellparameter innerhalb plausibler Wertebereiche variiert. Vorrangig werden die Parameter zur Charakterisierung der Materialeigenschaften einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. Im Zuge von Sensitivitätsuntersuchungen können jedoch auch die Geometrie des Systems (z. B. die Netzgestaltung) oder die Anfangs- und Randbedingungen variiert und die veränderten Systemreaktionen betrachtet werden ([2], [19]).

Im vorliegenden Fall wurde eine Sensitivitätsuntersuchung für folgende zwei Modellparameter durchgeführt:

1. Hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte der Modellschichten ( $k_F$ -Werte)

## 2. Grundwasserneubildungsrate (recharge)

Für die Bewertung der Sensitivität der einzelnen Modellparameter wurde jeweils eine Fehlerbetrachtung für das Gesamtsystem vorgenommen. Als Bewertungsgrundlage dienten die bereits im Rahmen der Modellkalibrierung herangezogenen Grundwasserstandsdaten der Stichtagmessung vom Mai 2005. Basierend auf diesem Datensatz kann der Einfluss eines Eingangsparameters auf das Modellergebnis aus der Summe der Abweichungen abgeleitet werden, die sich bei gezielter Parametervariation zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserpotentialen ergibt. Die für die Modellkalibrierung genutzte gängige Gütekriterien der Wurzel der mittleren Abweichungsquadrate (RMS) oder der Varianz zwischen berechneten und gemessenen Piezometerhöhen kann daher für die vorliegenden Untersuchungen als Maß für die Sensitivität der Modellparameter eingesetzt werden (vgl. Kap. 10.4).

**Anlage 37** stellt die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen in graphischer Form dar. Ausgehend von dem Kalibrierungsendstand (100 %) wurde jeder Parameter flächenhaft über das gesamte Modellgebiet einzeln in drei Schritten zu je 10 % nach oben bzw. unten variiert (bis 130 % bzw. 70 %) und je ein Rechenlauf ausgeführt. Für die Eingangsparameter wurden zusätzliche Fehlerbetrachtungen für Parametervariationen mit einer Intervallgröße von 2,5 % um den Ausgangszustand bis zu jeweils 95 % bzw. 105 % vorgenommen. Die Ergebnisse der Rechenläufe wurden durch die Gegenüberstellung der Varianz in Abhängigkeit von der Änderung der Modellparameter graphisch ausgewertet.

Entscheidend für den Einfluss eines Parameters auf die Modellaussage ist die Größe der Abweichung, die sich aus seiner Variation ergibt [13], [28]. Durch oben beschriebene Methode lassen sich sensitive von wenig sensitiven Parametern unterscheiden. Ein Modellparameter erweist sich als besonders sensitiv für das Modellergebnis, wenn aus geringfügigen Änderungen des Modellparameters vergleichsweise große Abweichungen vom Kalibrierungszustand resultieren. Wenig sensitive Parameter

können hingegen über große Wertebereiche variiert werden, ohne dass sich die Kalibrierungsgüte merklich verändert.

#### 10.6.1 Hydraulische Durchlässigkeitsbeiwerte der Modellschichten

**Anlage 37** zeigt, dass sich bei einer Verringerung der  $k_f$ -Werte um maximal 30 % eine absolute Abweichung der Varianz von ca. 6,49 m bzw. ca. 367 % ergibt. Erhöht man die  $k_f$ -Werte um 30 %, ergibt sich eine geringere absolute Abweichung von ca. 2,4 m und relativ ca. 136 %. Das Gesamtsystem reagiert somit erwartungsgemäß sehr sensitiv auf Änderungen der Modellwerte für die hydraulische Durchlässigkeit. Der Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) stellt einen der wichtigsten Eingangsparameter dar; definiert als der Quotient aus Filtergeschwindigkeit und zugehörigem Standrohrspiegelgefälle übt er erheblichen Einfluss auf das Fließregime aus.

Auf eine flächenhafte Verringerung der  $k_f$ -Werte reagiert das betrachtete System empfindlicher als auf eine entsprechende Vergrößerung der Modellwerte. Dieser Umstand ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass im Falle der Verringerung der  $k_f$ -Werte der Wasseraustausch zwischen einzelnen Abschnitten des Grundwasserleiters infolge geringdurchlässiger Zwischenschichten vermindert und die Charakteristik des Fließregimes im Gesamtsystem somit stark verändert wird.

Insgesamt ist festzustellen, dass durch die im Zuge der Modellkalibrierung hauptsächlich angepassten  $k_f$ -Werte eine sehr gute Annäherung der berechneten an die gemessenen Wasserstände erreicht wird.

#### 10.6.2 Grundwasserneubildungsrate

Aus der Diagrammdarstellung in **Anlage 37** geht hervor, dass eine Verringerung der Grundwasserneubildungsrate um 30 % zu einer Abweichung der Varianz um ca. 1037 % bzw. 18,31 m führt. Bei einer Vergrößerung der Grundwasserneubildung um 30 % weicht die absolute Varianz um 9,5 m vom Kalibrierungszustand ab, was

einer relativen Abweichung von ca. 538 % entspricht. Als wichtigstes positives Bilanzglied der Grundwasserhaushaltsgleichung führt eine Variation der Grundwasserneubildung demnach zu deutlichen Reaktionen des Gesamtsystems. Die Grundwasserneubildungsrate erweist sich somit bezüglich des betrachteten Grundwasserströmungsmodells erwartungsgemäß als sehr sensitiver Parameter.

Im vorliegenden Fall liegt für das Modellgebiet eine digitale Karte der flächendifferenziert ermittelten Grundwasserneubildungsrate des LBEG, Hannover, vor /45/. Die auf Basis des Verfahrens GROWA 06, Version 2, erstellte Karte weist die Grundwasserneubildungsrate in Zonen mit Intervallen von 50 mm/a aus, die in das genutzte Grundwasserströmungsmodell implementiert wurden. Im Rahmen der Modellkalibrierung konnte – auch vor dem Hintergrund des sich aus der zeitgleichen Variation mehrerer Eingangsparameter ergebenden Mehrdeutigkeitsproblems – auf eine Variation der Grundwasserneubildungsraten außerhalb der zulässigen Intervallgrenzen verzichtet werden.

## **10.7 Simulation des Ist-Zustandes**

Der Ist-Zustand beschreibt den Grundwasserstand bei wirksamer tatsächlicher Grundwasserentnahmemenge, z. B. entsprechend dem arithmetischen Mittel der tatsächlichen Entnahmemengen in den letzten zehn Jahren [13].

Die Fördermengen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg für den Ist-Zustand lassen sich in Anlehnung an [13] aus dem arithmetischen Mittel der jährlichen Fördermengen der letzte 10 Jahre (2002 - 2011) ableiten und betragen 8,91 Mio. m<sup>3</sup>/a (WW Panzenberg) bzw. 2,56 Mio. m<sup>3</sup>/a (WW Langenberg). Zur Berechnung der Grundwasserstände wurde das auf der Basis des Kalibrierungszustandes (Mai 2005) kalibrierte Modell unter Anpassung der Höhe der Fördermengen an diese Fördermengen verwendet.

## 10.8 Simulation des Prognose-Zustandes

Das kalibrierte und validierte Grundwasserströmungsmodell wurde zur Prognose der hydraulischen Verhältnisse unter dem Einfluss der angestrebten Grundwasserentnahmen eingesetzt. Hierbei wurde zwischen zwei Systemzuständen unterschieden. In einer ersten Simulation wurden die Auswirkungen der geplanten gleichzeitigen Grundwasserförderung der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg mit den resultierenden zusätzlichen kumulativen Grundwasserabsenkungen betrachtet. In einer zweiten Simulation wurden die Auswirkungen betrachtet, die nur durch die geplante Grundwasserförderung des Wasserwerks Panzenberg bedingt sind.

- 10.8.1 Gemeinsame Grundwasserentnahme der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg  
Zukünftig soll aus den Brunnen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg Grundwasserentnahmen von maximal 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a bzw. 3,1 Mio. m<sup>3</sup>/a (Prognose-Zustand) erfolgen. Diese Entnahmemengen wurden im Rahmen der aktuellen Wasserbedarfsprognose des TV Verden als die zur Deckung des zukünftigen Trinkwasserbedarfs im Versorgungsgebiet erforderliche Rohwassermenge ermittelt /41/.

Dies entspricht einer durchschnittlichen Förderung von ca. 1.084 m<sup>3</sup>/h (Wasserwerk Panzenberg) bzw. ca. 342 m<sup>3</sup>/h (Wasserwerk Langenberg). Für die Simulation erfolgt die Grundwasserförderung mittels der sieben Förderbrunnen des Wasserwerks Panzenberg mit jeweils ca. 154,8 m<sup>3</sup>/h und mittels der fünf Brunnen des Wasserwerks Langenberg mit ca. 44,2 m<sup>3</sup>/h bzw. 88,4 m<sup>3</sup>/h. Hierbei wurde aufgrund des abgängigen Brunnens L 1 des Wasserwerks Langenberg der geplante Brunnen L I neu berücksichtigt. Die Grundwasserentnahmen Dritter wurden gegenüber dem Ist-Zustand nicht verändert (**Anlage 35**).

Der mit dem Grundwassermodell berechnete Grundwassergleichenplan liegt als **Anlage 25** bei. Der Grundwassergleichenplan zeigt bei einer gleichmäßigen vollständigen Ausnutzung der beantragten Fördermengen einen ähnlichen Verlauf wie

bei der Stichtagemessung im Mai 2005. Von den Grundwasserkuppen im Bereich Holtum und Weißes Moor kommend strömt das Grundwasser in westliche bzw. südwestliche Richtung zu den Brunnen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg.

Ausgehend von dem Ist-Zustand (vergl. Kapitel 10.7) kann für die angestrebten Grundwasserentnahmen die zu erwartende oberflächennahe Absenkung des Grundwasserpotentials mit dem Grundwasserströmungsmodell berechnet werden. In **Anlage 26** ist die Grundwasserabsenkung für den Prognose-Zustand (Wasserwerk Panzenberg  $Q = 9,5 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$ , Wasserwerk Langenberg  $Q = 3,1 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$ ) gegenüber dem Ist-Zustand (Modellschicht 1) dargestellt. Grundlage hierfür sind die berechneten Grundwasserstände des Prognose-Zustandes (Modellschicht 1) gegenüber den berechneten Wasserständen des Ist-Zustandes (ebenfalls Modellschicht 1).

Die 0,2 m-Isolinie der Grundwasserabsenkung zeigt zwei getrennte Absenkungsbereiche für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg. Die Grundwasserabsenkung im Bereich des WW Panzenberg hat eine Ausdehnung von ca. 9 km in nordsüdlicher Richtung und von ca. 8 km in westöstlicher Richtung. Die Isolinien der Grundwasserabsenkung zeigen eine maximale Grundwasserabsenkung von ca. 0,7 m im Umfeld der Brunnen des Wasserwerks Panzenberg. Im Bereich der Wasserfassungen des Wasserwerks Langenberg beträgt die maximale Absenkung ca. 0,5 m. Die 0,2 m-Isolinie der Grundwasserabsenkung zeigt eine Ausdehnung von ca. 3 km in nordsüdlicher Richtung und von ca. 4 km in westöstlicher Richtung. Zu beachten ist, dass die beschriebenen Potentialabsenkungen für eine dauerhafte, gleichmäßige und vollständige Ausnutzung der angestrebten Fördermengen von 9,5 Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$  bzw. 3,1 Mio.  $\text{m}^3/\text{a}$  ermittelt wurden.

Die **Anlage 27** zeigt die Grundwasserabsenkung der geplanten Grundwasserentnahme (WW Panzenberg  $Q = 9,5 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$ , WW Langenberg  $Q = 3,1 \text{ Mio. m}^3/\text{a}$ ) gegenüber dem Null-Zustand (keine Grundwasserförderung des Trinkwasserverbands Verden an den Standorten Panzenberg und Langenberg). Grundlage hierfür sind die berechneten

Grundwasserstände des Prognose-Zustandes (Modellschicht 1) gegenüber den berechneten Wasserständen des Null-Zustandes (ebenfalls Modellschicht 1).

Nach den Modellrechnungen überlagern sich die Absenkungsbereiche beider Wasserwerke und es ergibt sich ein zusammenhängender Grundwasserabsenkungsbereich für die Wasserwerke Panzenberg und Langenberg mit einer Ausdehnung von ca. 17 km in nordsüdlicher Richtung und von ca. 19,5 km in westöstlicher Richtung. Die Isolinien der Grundwasserabsenkung zeigen eine maximale Grundwasserabsenkung von ca. 9,5 m im Umfeld der Brunnen des WW Panzenberg. Im Bereich der Wasserfassungen des Wasserwerks Langenberg beträgt die Grundwasserabsenkung ca. 2,5 m. Die 0,2 m-Isolinie der Grundwasserabsenkung reicht im Norden bis zur Ortslage Eversen und im Osten bis zum Jeddinger Moor. Nach Süden erstreckt sie sich bis zu den Ortslagen Neddenaverbergen und Armsen, im Westen bis zum Ostrand der Ortslage Langwedel.

In der Abbildung sind ebenfalls die durch die kumulativen Grundwasserabsenkungen zusätzlich betroffenen Bereiche dargestellt. In diesen Bereichen addieren sich die Absenkungen des WW Panzenberg sowie des WW Langenberg und resultieren in einer Grundwasserabsenkung  $\geq 0,2$  m. Bei diesen Gebieten wurde dahingehend differenziert, ob die Absenkung überwiegend durch die Grundwasserförderung des Wasserwerks Panzenberg oder des Wasserwerks Langenberg bedingt ist.

#### 10.8.2 Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg

Im vorliegenden Fall wurde das kalibrierte und validierte Grundwasserströmungsmodell zur Prognose der hydraulischen Verhältnisse im betrachteten Grundwasserkörper unter dem Einfluss der angestrebten Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg in Höhe von maximal 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a eingesetzt. Bei dieser Simulation wurden die Auswirkungen betrachtet, die nur durch die geplante Grundwasserförderung des Wasserwerks Panzenberg bedingt sind. Die Grundwasserförderung wurde mit jeweils ca. 154,8 m<sup>3</sup>/h gleichmäßig auf die sieben Brunnen des Wasserwerks Panzenberg

verteilt. Die Grundwasserentnahmen des Wasserwerks Langenberg (2,56 Mio. m<sup>3</sup>/a) sowie Dritter wurden gegenüber dem Ist-Zustand nicht verändert.

Der mit dem Grundwassermodell berechnete Grundwassergleichenplan liegt als **Anlage 28** bei. Der Grundwassergleichenplan zeigt einen vergleichbaren Verlauf wie bei der Stichtagmessung im Mai 2005. Von den Grundwasserkuppen im Bereich Holtum und Weißes Moor kommend strömt das Grundwasser in westliche bzw. südwestliche Richtung zu den Brunnen der Wasserwerke Panzenberg und Langenberg. Im Umfeld des Fassungsgebietes Panzenberg sind gegenüber dem Ist-Zustand etwas niedrigere Wasserstände, d. h. eine Grundwasserabsenkung, zu erkennen.

In **Anlage 29** ist die Grundwasserabsenkung bei der geplanten Fördermenge des Wasserwerks Panzenberg (9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a) gegenüber dem Ist-Zustand (8,91 Mio. m<sup>3</sup>/a) (Modellschicht 1) dargestellt. Grundlage hierfür sind die berechneten Grundwasserstände bei der geplanten Fördermenge (Modellschicht 1) gegenüber den berechneten Wasserständen des Ist-Zustandes (ebenfalls Modellschicht 1). Die Isolinien der Grundwasserabsenkung zeigen eine maximale Grundwasserabsenkung von ca. 0,7 m westlich des Brunnens PAN I des Wasserwerks Panzenberg. Die 0,2 m-Isolinie der Grundwasserabsenkung zeigt einen Absenkungsbereich mit einer Ausdehnung von ca. 8,5 km in nordsüdlicher Richtung und von ca. 6,5 km in westöstlicher Richtung.

In **Anlage 30** ist die Grundwasserabsenkung bei der angestrebten Fördermenge des Wasserwerks Panzenberg (9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a) gegenüber dem Null-Zustand (Einstellung des Förderbetriebs am Standort WW Panzenberg) dargestellt. Bei konstanter Entnahme einer Grundwassermenge von 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a stellt sich im Umfeld des Brunnens PAN I gegenüber dem Null-Zustand eine Absenkung von bis ca. 9,5 m ein. Die modelltechnisch ermittelte 0,2 m-Isolinie der Grundwasserabsenkung erstreckt sich nach Westen bis an den östlichen Rand der Ortslage Langwedel und im Osten bis zu den Ortslagen Dressel und Schafwinkel. Im Norden reicht die Grundwasserabsenkung bis zur Ortslage Eversen und im Süden bis an den Südrand der Ortslage Verden. Die



Ausdehnung des Grundwasserabsenkungsbereichs beträgt ca. 15 km in nordsüdlicher Richtung und von ca. 17,5 km in westöstlicher Richtung. In der Anlage sind ebenfalls die Bereiche dargestellt, die bei einer gleichzeitigen Ausschöpfung der maximal geplanten Fördermengen (WW Panzenberg und WW Langenberg) durch kumulative Absenkungen betroffen sind, wobei es sich um solche Flächen handelt, die überwiegend durch die Grundwasserförderung des WW Panzenberg betroffen sind.

### 10.9 Abgrenzung des Einzugsgebietes

Die Abgrenzung des Einzugsgebietes kann im vorliegenden Fall mit Hilfe des numerischen Grundwasserströmungsmodells erfolgen und dient als Grundlage für den Vorschlag zur Bemessung des Trinkwasserschutzgebietes (vgl. Kapitel 12). Nach GeoFakten 2 [12] ist zur sicheren Erfassung des schutzbedürftigen Gebietes bei der Abgrenzung des Wasserschutzgebietes von langfristig mittleren trockenen hydrologischen Verhältnissen auszugehen.

Daher wurde bei der Simulation des Einzugsgebietes beim Prognose-Zustand von mittleren niedrigen Grundwasserständen ausgegangen. Hierfür wurde das Grundwasserströmungsmodell zuvor an die Grundwasserverhältnisse von Oktober 2006 angepasst. Hierbei wurde die flächendifferenzierte Grundwasserneubildung im gesamten Modellgebiet soweit verringert, bis eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen Grundwasserständen (Oktober 2006) erzielt wurde. Für die Wurzel der mittleren quadratischen Abweichung (RMS) als Maß für die Güte der Modellanpassung wurde ein Wert von 1,55 m ermittelt, dies entspricht einem Anteil an der maximalen Potentialdifferenz von 3,35 %. Grundsätzlich wird aus dieser Fehlerstatistik deutlich, dass die Anforderungen an die Modellgüte somit erfüllt sind.

Das ermittelte unterirdische Einzugsgebiet des Wasserwerks Panzenberg für die geplante maximale Grundwasserentnahme von 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a ist in **Anlage 31** dargestellt. Es sind ebenfalls Bahnlinien dargestellt, welche die Fließrichtung des

Grundwassers veranschaulichen. Die Bahnlinien wurden durch Rückwärts-Rechnung von den Fassungsanlagen aus ermittelt und visualisieren das unterirdische Einzugsgebiet der Grundwasserentnahme Panzenberg. Zur Überprüfung wurden Vorwärts-Rechnungen durchgeführt. Erkennbar ist, dass die Brunnen des Wasserwerks Panzenberg aus nördlicher bis nordöstlicher Richtung angeströmt werden (blaue Bahnlinien). Das Einzugsgebiet erstreckt sich von den Brunnen in nordöstliche Richtung und reicht bis zur Grundwasserkuppe im Bereich Sehlinger Heide. Westlich und nördlich der Brunnen reicht das Einzugsgebiet annähernd an die bestehende Wasserschutzgebietsgrenze. Die Größe des berechneten Einzugsgebietes beträgt ca. 46,4 km<sup>2</sup>. Im Vergleich zum bisher festgesetzten Wasserschutzgebiet ist eine deutliche Abweichung zu beobachten. Die südliche, westliche und nördliche Grenze des Einzugsgebietes liegt innerhalb des bestehenden Wasserschutzgebietes bzw. reicht bis an die Grenze. Im Osten des Wasserschutzgebietes Panzenberg wird die Grenze deutlich überschritten.

## 11 Zusammenfassende Beurteilung der möglichen Auswirkungen der Grundwasserentnahme

Zu diskutieren ist, inwieweit durch die Absenkung des Grundwasserspiegels im Umfeld des Wasserwerks Panzenberg Beeinträchtigungen für das Natursystem sowie für die in das Wirkungsgefüge eingebundenen Schutzgüter entstehen können. Für die Beurteilung der entnahmebedingten Auswirkungen werden nachfolgend die Grundwasserabsenkungen betrachtet, die durch den Prognose-Zustand – eine Grundwasserentnahme in Höhe von 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a – gegenüber dem Null-Zustand bzw. dem Ist-Zustand (8,91 Mio. m<sup>3</sup>/a) hervorgerufen werden. Die jeweils zu erwartenden Absenktichter sind in den **Anlagen 29** und **30** dargestellt. Zusätzlich wurden die durch kumulative Grundwasserabsenkungen der WW Panzenberg und Langenberg zusätzlich betroffenen Bereiche bei der Beurteilung berücksichtigt. Gemäß [13] sind die entnahmebedingten Auswirkungen auf private Belange (Land- und Forstwirtschaft) gegenüber dem Null-Zustand, Effekte auf ökologische Belange gegenüber dem Ist-Zustand zu beurteilen. Vorschläge zur Beweissicherung im Hinblick auf mögliche Auswirkungen der Grundwasserentnahme werden in Kapitel 14 formuliert.

### 11.1 Oberflächengewässer

Eine Absenkung des oberflächennahen Grundwasserspiegels kann zu einer Abflussminderung in angebundenen Vorflutern führen. Der prognostizierte Grundwasserabsenkungsbereich des Wasserwerks Panzenberg für den Prognose-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand reicht im Norden bis an den Everser Bach und im Süden bis zum Autobahnanschluss Verden-Ost. Die Grundwasserabsenkung erstreckt sich nach Westen bis zur westlichen Berandung der Ortslage Walle und im Osten bis in den Bereich der Ortslage Kreepen. Insofern ist die Frage einer Abflussminderung der Vorfluter in diesem Bereich relevant.

Im Norden befindet sich in einem Niederungsbereich der Vorfluter Everser Bach. Hier verläuft die oberirdische Wasserscheide zwischen Wümme und Aller. Es ist festzustellen, dass die maximale Grundwasserabsenkung in dem o. g. Bereich mit ca. 20 cm gering ist und nur einen Bruchteil der natürlichen Schwankungen des Grundwasserstandes ausmacht. Nach Modellierungsergebnissen ergibt sich eine Minderung des grundwasserbürtigen Abflusses im Everser Bach von ca. 2% gegenüber dem Ist-Zustand. Eine nennenswerte Beeinflussung der Abflüsse im Everser Bach durch die geplante Grundwasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand ist daher nicht zu erwarten.

Im Bereich der Fassungsreihe des Wasserwerks Panzenberg verläuft der Halsebach. Der Halsebach ist im Vergleich zum Ursprungszustand vor Beginn der Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg deutlich anthropogen überprägt. Zahlreiche bauliche Veränderungen des Bachbettes sowie der Zustrommöglichkeiten führen bereits seit den 1960er Jahren zu geringeren Abflüssen. Im Vergleich mit dem Zustand vor Beginn der Grundwasserentnahme lässt sich insbesondere für den Mittellauf des Baches (nördlich der Ortslage Scharnhorst) ein erheblicher Einfluss der Trinkwassergewinnung mit den Brunnen des Wasserwerkes Panzenberg ausmachen. Die ermittelte Absenkung des oberflächennahen Grundwassers beträgt dort mehrere Meter. Dies führt dazu, dass bereichsweise influente Verhältnisse entstanden sind, so dass der Halsebach Wasser an den Untergrund abgibt. Andere Bereiche des Halsebaches sind von der Grundwasserentnahme nicht betroffen, da schützende Deckschichten vorliegen, somit die Grundwasserleiter voneinander getrennt sind. Eine erhebliche (zusätzliche) Abflussminderung im Halsebach durch die geplante Grundwasserförderung von maximal 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a gegenüber dem Ist-Zustand ist nicht zu erwarten. Nach Modellierungsergebnissen ergibt sich im gesamten Gewässerverlauf eine Minderung des grundwasserbürtigen Abflusses von ca. 7% bei der geplanten Grundwasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand. Vorschläge zur Beweissicherung sind in Kapitel 14 formuliert.

Im Bereich des Steinbachs steht oberflächennah ein Lauenburger Komplex / Geschiebemergel an. Hierdurch ist ein oberflächennaher Grundwasserkörper im Hangenden dieser Schluffe und Tone entwickelt, der vermutlich keinen direkten hydraulischen Kontakt zum Förderhorizont hat. Ein Zustrom von Hangwasser erfolgt aus östlicher Richtung. Eine nennenswerte Beeinflussung der Abflüsse im Steinbach durch die geplante Grundwasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand ist daher nicht zu erwarten.

Der Gibbach liegt nicht im prognostizierten Absenkungsgebiet (0,2 m-Linie) gegenüber dem Ist-Zustand und in weiten Teilen oberhalb der Grundwasseroberfläche. Lediglich im Unterlauf, im Bereich der Ortslage Weitzmühlen, liegen geringe Grundwasserflurabstände vor. Eine nennenswerte Abflussminderung im Gibbach durch die geplante Grundwasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand ist daher nicht zu erwarten.

Der Bettenbruchgraben befindet sich nördlich der Ortslage Dauelsen am Geestrand und entwässert nach Westen. Der Flurabstand im östlichen Verlauf (Geestbereich) liegt zwischen ca. 2 m und 5 m. Die Gewässersohle liegt hier offensichtlich über der Grundwasseroberfläche; in weiten Teilen dürften influente Verhältnisse vorliegen. Darüber hinaus liegt der Bettenbruchgraben nicht im prognostizierten Absenkungsgebiet (0,2 m-Linie) gegenüber dem Ist-Zustand. Eine nennenswerte Beeinflussung der Abflüsse im Bettenbruchgraben durch die geplante Grundwasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand ist daher nicht zu erwarten.

Der Kleepener Bach befindet sich im Osten außerhalb des prognostizierten Absenkungsgebietes (0,2 m-Linie) gegenüber dem Ist-Zustand und es steht hier oberflächennah ein Geschiebemergel an, der einen hydraulischen Kontakt zum Förderhorizont hemmt. Aufgrund der sehr geringen Absenkungsbeträge sowie der geologischen Verhältnisse ist eine Beeinflussung der Abflüsse im Kleepener Bach durch die geplante Grundwasserentnahme gegenüber dem Ist-Zustand nicht zu erwarten.

## 11.2 Grundwasserstandsabhängige Vegetation

Beeinträchtigungen für die Vegetation – z. B. Wachsminderungen land- und forstwirtschaftlicher Nutzpflanzen – sind nur dann möglich, wenn vor der Grundwasserabsenkung bestimmte Grundwasserflurabstände nicht überschritten wurden und Bedarf an zusätzlicher Wasserversorgung für die Pflanzen aus dem Grundwasser bestand [18].

Der Grenzflurabstand, ab dem durch eine Grundwasserabsenkung Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes und damit verbunden Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Nutzung auftreten können, beträgt in sandigen und tonigen Sedimenten etwa 2,0 m; in sandigen Schluffen kann er maximal ca. 3,0 m betragen [17]. Demnach sind hinsichtlich einer Grundwasserabsenkung Böden relevant, deren Flurabstand geringer als der Grenzflurabstand ist. Für die forstwirtschaftliche Nutzung wird im Allgemeinen ein relevanter Grenzflurabstand von 5,0 m angesetzt.

Die Gegenüberstellung des Grundwasserabsenkungsbereiches des Prognose-Zustandes gegenüber dem Null-Zustand (**Anlage 30**) und des Grundwasserflurabstandes (**Anlage 17**) belegt, dass die Flurabstände innerhalb des Absenkungsbereichs großflächig mehr als 5 m betragen. Flurabstände unter 5 m ergeben sich innerhalb des Absenkungsbereiches vor allem in den Niederungsgebieten des Gohbachs, des Schmobachs, des Halsebachs sowie der Niederung des Holtumer Moors. Am Geestrand zwischen den Ortslagen Verden und Völkersen liegen die Grundwasserflurabstände im Absenkungsbereich unter 5 m. Lokal erfolgt offensichtlich im Bereich mit Flurabständen unter 5 m eine forstwirtschaftliche Nutzung und in weiten Gebieten mit Grundwasserflurabständen unter 2 m bzw. 3 m erfolgt eine landwirtschaftliche Nutzung als Acker- oder Grünland.

Aus hydrogeologischer Sicht können daher in den genannten Bereichen ertragsrelevante Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes nicht ausgeschlossen

werden. Zur Klärung der bodenkundlichen Verhältnisse und der Empfindlichkeit der Vegetation in Bezug auf die zu erwartende Grundwasserabsenkung wurde daher vom Trinkwasserverband Verden ein entsprechendes Gutachten in Auftrag gegeben, so dass diesbezüglich auf /1/ verwiesen wird. Zur Frage der Betroffenheit der innerhalb des prognostizierten Grundwasserabsenkungsgebietes gelegenen ökologisch wertvollen Bereiche wird auf die Umweltverträglichkeitsstudie /2/ verwiesen.

### 11.3 Weitere Grundwassernutzungen

Die Ergebnisse der numerischen Grundwassermodellierung lassen darauf schließen, dass im Betrachtungsgebiet eine Überlagerung von Grundwasserabsenkungen verschiedener Nutzer – insbesondere der Wasserwerke zur öffentlichen Trinkwasserversorgung – eingetreten ist (**Anlage 27**).

Gemäß dem Grundwasserdifferenzenplan in **Anlage 29** reicht die 0,2 m-Isolinie des prognostizierten Absenkungsbereiches der Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg in Höhe von 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a gegenüber dem gegenwärtigen Zustand (Ist-Zustand) nicht bis an die benachbarten Wasserfassungen des Wasserwerks Langenberg im Osten oder des Wasserwerks der Stadtwerke Verden im Süden heran. Auswirkungen der geplanten Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg gegenüber dem Ist-Zustand auf weitere Grundwassernutzungen zum Zwecke der öffentlichen Trinkwasserversorgung können demnach ausgeschlossen werden.

Erhebliche Auswirkungen auf die in **Anlage 29** dargestellten Brunnen Dritter sind aufgrund der geringen Grundwasserabsenkungsbeträge der geplanten Steigerung der Grundwasserentnahme nicht zu erwarten.

#### 11.4 Bauwerke

Es ist bekannt, dass Grundwasserabsenkungen zu Bodensenkungen und damit u. U. zu Schäden an Bauwerken führen können. Bei Grundwasserabsenkungen wird durch das Absinken des Grundwasserspiegels die Wichte des Bodens vergrößert (Verlust von Auftrieb), wodurch kompressible Schichten Setzungen erfahren. Dabei sind schädigende Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf Gebäude in der Regel eine Folge ungleichmäßiger Setzungen des Untergrundes.

Nennenswerte Setzungen treten aber nur bei Lockergesteinen auf, deren Korngerüst auch unter Auflast kompressibel ist. Hierzu zählen bindige und organische Böden, wobei bei organischen Böden und ungehindertem Luftzutritt noch ein Setzungsanteil aus der Zersetzung der organischen Bestandteile aufzuschlagen ist. Sandige und kiesige Sedimente sind generell wenig setzungsempfindlich. Setzungsgefährdet sind erfahrungsgemäß Gebiete mit holozänen, schluffig-tonigen oder insbesondere organischen Sedimenten nahe der Erdoberfläche. Hierbei handelt es sich fast ausschließlich um Standorte mit geringem Grundwasserflurabstand.

Im vorliegenden Fall geht aus der als **Anlage 4** beigefügten geologischen Karte sowie aus den digitalen Bodenkarten des LBEG, Hannover (/46/) hervor, dass innerhalb des prognostizierten Absenkungsbereichs des WW Panzenberg von >0,2 m für den Prognose-Zustand gegenüber dem Ist-Zustand (**Anlage 29**) besonders setzungsempfindliche Standorte mit Niedermoortorfen im Bereich des Holtumer Moors anzutreffen sind. Ausweislich der vorliegenden Kartenwerke sind diese Bereiche, für die mit Hilfe des Grundwassermodells Absenkungsbeträge der Grundwasseroberfläche hauptsächlich in einer Größenordnung von etwa 0,2 m prognostiziert werden, unbesiedelt, so dass Auswirkungen auf Gebäude ausgeschlossen werden können. Negative Auswirkungen auf bautechnische Infrastruktur sind aufgrund der geringen Absenkungsbeträge nicht zu erwarten.



### **11.5 Sonstige Auswirkungen**

Eine erhebliche Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit infolge der geplanten Grundwasserentnahme ist insbesondere in Bezug auf die Lage der Salz-/Süßwassergrenze im betrachteten Fassungsgebiet Panzenberg nicht zu erwarten.

## **12 Bemessung und Gliederung des Wasserschutzgebietes**

Dem Schutz des Grundwassers kommt im Rahmen der Trinkwasserversorgung eine besondere Bedeutung zu. Grundwasser ist zum Wohl der Allgemeinheit und im Interesse der Gesundheit der Bevölkerung vor Verunreinigungen und sonstigen Beeinträchtigungen zu schützen [8].

Fachliche Regelungen zur Bemessung und Gliederung von Trinkwasserschutzgebieten sind im DVGW-Merkblatt W 101 [8] und in den GeoFakten 2 des LBEG [12] dargestellt.

Ein Trinkwasserschutzgebiet soll in der Regel das gesamte unterirdische Einzugsgebiet der Wasserfassungsanlage umfassen [8]. Wenn ein oberirdisches Gewässer in den genutzten Grundwasserleiter infiltriert, ist nach [8] zu prüfen, ob das Einzugsgebiet des oberirdischen Gewässers oder Teile davon in das Trinkwasserschutzgebiet einzubeziehen sind. Das Schutzgebiet wird i. A. in drei Schutzzonen gegliedert.

Die Zone I muss den Schutz der Fassungsanlage und ihrer unmittelbaren Umgebung vor jeglichen Verunreinigungen und Beeinträchtigungen gewährleisten.

Die Zone II muss den Schutz vor Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen (z. B. Bakterien, Viren, Parasiten und Wurmeier) sowie vor sonstigen Beeinträchtigungen gewährleisten, die bei geringerer Fließdauer und -strecke zur Wassergewinnungsanlage gefährlich sind.

Die Zone III sollte den Schutz vor weitreichenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor nicht oder nur schwer abbaubaren chemischen oder vor radioaktiven Verunreinigungen gewährleisten. Sie kann in die Teilzonen III A und III B untergliedert werden.

### **12.1 Fassungsbereich (Zone I)**

Die Ausdehnung der Zone I muss nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 [8] allseitig von einem Brunnen mindestens 10 m betragen. Die Dimensionierung der Zone I an den vorhandenen Brunnen PAN I bis PAN VII wird für ausreichend gehalten.

### **12.2 Engere Schutzzone (Zone II)**

Die Engere Schutzzone (Zone II) soll die Fassungsanlagen vor allem vor Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen schützen. Bewährt hat sich dabei die 50-Tage-Isochrone (50-Tage-Linie) [14]. Nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 101 [8] soll aber die oberstromige Mindestreichweite der Zone II zur Fassung von 100 m nicht unterschritten werden.

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  $<10^{-6}$  m/s) mit einer Mindestmächtigkeit von 5 m durchgehend verbreitet sind und auch bei hydrologischen Extremsituationen eine Sickerzeit von 50 Tagen nicht unterschritten wird. Dabei bleiben die obersten 4 m unter Gelände unberücksichtigt.

Nach dem o. g. DVGW-Arbeitsblatt kann die Engere Schutzzone entfallen, wenn von der 50-Tage-Linie bis zur Wassergewinnungsanlage als Grundwasserüberdeckung sehr gering durchlässige Schichten ( $k_f$ -Wert  $<10^{-8}$  m/s) mit einer Mindestmächtigkeit von 5 m durchgehend verbreitet sind. Dabei bleiben die obersten 4 m unter Gelände unberücksichtigt. Ebenfalls kann so verfahren werden, wenn aus einem tieferen Grundwasserstockwerk gefördert wird, das im Absenkungsbereich über eine flächen-deckende hydraulisch wirksame Trennschicht über dem Entnahmestockwerk verfügt.

In Bezug auf die geologischen Verhältnisse im Bereich der Wasserfassungen des Wasserwerks Panzenberg ist festzustellen, dass die Grundwasserentnahme überwiegend aus dem unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters erfolgt und

oberflächennah bereichsweise eine Grundmoräne der Saale-Kaltzeit verbreitet ist. Die Mächtigkeit der Grundmoräne beträgt allerdings z. T. weniger als 5 m bzw. fehlt ganz (z. B. PAN III, PAN IV, PAN V). Im Nahbereich der Fassungsanlagen sind gering-durchlässige Beckensedimente (Tone und Schluffe) der Elster-Kaltzeit bzw. des Lauenburger Komplexes verbreitet, die jedoch hinsichtlich ihrer Mächtigkeit wie auch ihrer petrographischen Ausbildung deutliche Variationen zeigen. Die geologischen Voraussetzungen für eine Reduzierung oder einen Verzicht der Engeren Schutzzone sind daher nicht gegeben.

Der Bestimmung der 50-Tage-Linie ist gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 101 [8] i. d. R. die wasserrechtlich 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.

Im vorliegenden Fall wurde die geplante maximale Tagesentnahme für die individuelle Bestimmung der 50-Tage-Linie herangezogen. Die maximale Tagesentnahme (40.000 m<sup>3</sup>/d) wurde dabei gleichmäßig auf die sieben Brunnen verteilt.

Eine detaillierte Ermittlung der 50-Tage-Linie kann mit Hilfe des numerischen Grundwasserströmungsmodells erfolgen; zu diesem Zweck werden für das o. g. Förderszenario Bahnlinien durch Rückwärts-Rechnung von den Fassungsanlagen aus berechnet (**Anlage 32**). Die Bahnlinien der Brunnen des Wasserwerkes Panzenberg enden nach einer Fließzeit von 50 Tagen in einer Entfernung zwischen ca. 79 m (PAN VI) und ca. 117 m (PAN VII).

Unter Berücksichtigung der Empfehlungen in [8] wird daher für die Entfernung der Zone II die Umhüllende der durch Rückwärts-Rechnung von den Brunnen aus ermittelten Endpunkte der 50-Tage-Bahnlinien, mindestens jedoch eine Entfernung von 100 m für die Förderbrunnen des Wasserwerkes Panzenberg vorgeschlagen (**Anlage 32**).

### 12.3 Weitere Schutzzone (Zone III)

Die Weitere Schutzzone (Zone III) soll grundsätzlich bis zur Grenze des unterirdischen Einzugsgebietes der Wassergewinnungsanlage reichen. Oberirdisch dort hinein entwässernde Flächen können zusätzlich einbezogen werden. Der Abgrenzung sind nach DVGW-Merkblatt W 101 [8] grundsätzlich die wasserrechtlich genehmigte Jahresentnahme und die langfristig mittleren hydrologischen Verhältnisse zu Grunde zu legen. In [12] wird zur Abgrenzung des Wasserschutzgebietes empfohlen, von langfristig mittleren trockenen hydrologischen Verhältnissen auszugehen.

Die Abgrenzung des Einzugsgebietes kann im vorliegenden Fall mit Hilfe des numerischen Grundwasserströmungsmodells erfolgen. Für den Prognose-Zustand bei mittleren niedrigen Grundwasserständen wurden Rückwärts-Bahnlagen von den Fassungsanlagen aus gerechnet (**Anlage 31**). Das Einzugsgebiet der geplanten Grundwasserentnahme lässt sich als Umhüllende der berechneten Bahnlagen beschreiben.

Je nach Standortbedingungen kann nach [8] die Weitere Schutzzone in die Zonen III A und III B unterteilt und die Nutzungsbeschränkungen entsprechend abgestuft werden. In Grundwasserleitern mit Abstandsgeschwindigkeiten des Grundwassers bis 5 m/d – was in Lockergesteinen die Regel und auch in dem hier zu betrachtenden Grundwassersystem der Fall ist – hat sich die Grenze zwischen den Zonen III B und III A in einer Entfernung von ca. 2 km oberstromig der Fassung als zweckmäßig erwiesen.

Als Zone III B können außerdem Bereiche eingestuft werden, in denen der genutzte Grundwasserleiter eine mindestens 8 m mächtige, im Hinblick auf die hydraulische Wirkung ungestörte Grundwasserüberdeckung aus gering durchlässigen Schichten ( $k_f$ -Wert  $<10^{-6}$  m/s) mit geschlossener Verbreitung besitzt. Des Weiteren können als Zone III B solche Bereiche ausgewiesen werden, in denen aus einem tieferen Grundwasserstockwerk gefördert wird, wobei dieses von einer mindestens 5 m mächtigen

gering durchlässigen Schicht ( $k_f$ -Wert  $<10^{-6}$  m/s) überlagert wird. Auch bei günstiger Grundwasserüberdeckung soll die Entfernung der Unterteilung Zone III A / III B bis zur Fassung zumindest 1.000 m und zumindest 50 Tage Fließzeit betragen [8].

Die Grundwasserentnahme im Fassungsgebiet Panzenberg erfolgt überwiegend aus dem unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters. Ausweislich der vorliegenden Daten ist der Lauenburger Komplex zwar im Hangenden des unteren Teils des Hauptgrundwasserleiters im Anstrombereich der Brunnen verbreitet, allerdings ist er bereichsweise lückenhaft bzw. nur in sehr geringer Mächtigkeit ausgebildet (z. B. PAN II, P-Pb 14). Des Weiteren tritt der Lauenburger Komplex im Umfeld der Förderbrunnen in tonig-schluffiger Ausbildung offensichtlich nicht in einem einheitlichen Tiefenniveau auf (z. B. PAN II, PAN III, PAN V). Eine ungestörte Grundwasserüberdeckung aus mindestens 8 m mächtigen, geringdurchlässigen Schichten mit geschlossener Verbreitung lässt sich nach den vorliegenden Bohrdaten im Einzugsgebiet des Wasserwerks Panzenberg nicht nachweisen. Vielmehr wurden in mehreren innerhalb des Einzugsgebietes niedergebrachten Bohrungen Fehlstellen der saalezeitlichen Grundmoräne bzw. geringmächtige Geschiebemergel nachgewiesen (z. B. P-Pb 14, P-Pb 16, P-Pb 20, P-Pb 21, P-Pb 22, P-Pb 24, P-Pb 66).

Es ist daher aufgrund der geologischen Verhältnisse angemessen, die Grenze zwischen den Zonen III A und III B in einer Entfernung von 2 km oberstromig der Fassungen des Wasserwerks Panzenberg zu ziehen. Der entsprechende Vorschlag zur Bemessung und Gliederung der Weiteren Schutzzone ist in **Anlage 33** dargestellt. Die Fläche der Zone III A beträgt ca. 19,45 km<sup>2</sup>, die Fläche der Zone III B ca. 26,94 km<sup>2</sup>.

Die Auflagen und Nutzungsbeschränkungen im Wasserschutzgebiet sollten unter Berücksichtigung der Richtlinien in [8], [29] festgelegt werden. Weitere landes-einheitliche Regelungen bleiben unberührt.

## 13 Gefährdungspotentiale im Einzugsgebiet

### 13.1 Potentielle Belastungsquellen im Einzugsgebiet

Die nachfolgend beschriebenen Sachverhalte zu potentiellen punktuellen oder diffusen Belastungsquellen für das Grundwasser im Einzugsgebiet des WW Panzenberg (vgl. **Anlage 34**) beruhen im Wesentlichen auf Angaben des Landkreises Verden /43/ sowie der Landwirtschaftskammer Niedersachsen /44/.

#### 13.1.1 Landwirtschaftliche Situation

Nach agrarstrukturellen Erhebungen der für die gewässerschutzorientierte Beratung ansässiger landwirtschaftlicher Betriebe im Wassergewinnungsgebiet Panzenberg zuständigen Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Außenstelle Verden, beträgt der Anteil an landwirtschaftlich genutzter Flächen (LF) bezogen auf das annähernd 4.269 ha große ausgewiesene Wasserschutzgebiet (WSG) Panzenberg mit ca. 2.501 ha annähernd 59 % der Gesamtfläche. Der Ackerbau überwiegt deutlich vor der Grünlandnutzung, die etwa 578 ha der landwirtschaftlich genutzten Fläche einnimmt (ca. 14 % der Gesamtfläche) /44/. Entsprechende statistische Erhebungen bezüglich der Flächennutzung im ermittelten Einzugsgebiet der geplanten Grundwasserentnahme des WW Panzenberg in Höhe von 9,5 Mio. m<sup>3</sup>/a (**Anlage 31**) existieren aktuell nicht.

Nach betriebsstrukturellen Erhebungen erfolgt die Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Nutzflächen im ausgewiesenen Wasserschutzgebiet Panzenberg durch insgesamt 79 landwirtschaftliche Betriebe, wobei es sich in der Mehrzahl (ca. 42 %) um Futterbaubetriebe handelt. 24 % der Betriebe sind als Futterbau-Veredelung bzw. 13 % als Ackerbau einzustufen. Im derzeitigen Wasserschutzgebiet befinden sich zwei Biogasanlagen (BGA). Gärreste (ca. 25.000 m<sup>3</sup>/a) werden auf Flächen innerhalb des vorgeschlagenen Schutzgebietes aufgebracht. Allerdings wird möglicherweise in unmittelbarer Nähe des vorgeschlagenen Wasserschutzgebietes eine weitere

Biogasanlage gebaut, deren Gärreste dann zum größten Teil zusätzlich im zukünftigen Wasserschutzgebiet aufgebracht würden. Der zusätzliche Gärrestanfall würde nach grober Schätzung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen ca. 10.000 m<sup>3</sup>/a betragen /44/. Durch die Gärreste ist insgesamt ein Anstieg des Mineralisationspotentials der Ackerstandorte zu erwarten.

Die für eine ackerbauliche Nutzung geeigneten Geestflächen werden überwiegend für den Mais- und Getreideanbau genutzt. Im Jahr 2012 wurden ca. 14 % der Schutzgebietsfläche (599 ha) für den Anbau von Mais genutzt. Der Flächenanteil für den Anbau von Winter-Getreide lag mit ca. 758 ha (ca. 18 % des WSG) wesentlich höher als der Anteil für Sommer-Getreide (ca. 116 ha, bzw. 3 % des WSG). Der Anteil von Grünland im Wasserschutzgebiet Panzenberg beträgt 12 % (499 ha).

#### 13.1.2 Abwassersituation

Im Einzugsgebiet des Wasserwerks Panzenberg werden nicht alle anfallenden Abwässer dem öffentlichen Kanalnetz zugeführt und in einer Kläranlage gereinigt. Nach Auskunft des Landkreises Verden befinden sich 64 Kleinkläranlagen im Einzugsgebiet des WW Panzenberg /43/.

#### 13.1.3 Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen

Nach Auskunft des Landkreises Verden befinden sich innerhalb des Wasserschutzgebietes des Wasserwerkes Panzenberg 12 Gewerbebetriebe, die mit wassergefährdenden Stoffen (z. B. Farben, Dieselkraftstoff, Heizöl, Eisenchlorid, Natronlauge) umgehen /43/. Hiervon befinden sich 8 Gewerbebetriebe in der Gemeinde Kirchlinteln und 4 Betriebe in der Gemeinde Verden.



#### 13.1.4 Deponien

Innerhalb des ermittelten Einzugsgebietes des Wasserwerkes Panzenberg werden keine Deponien betrieben /43/ /46/.

#### 13.1.5 Altablagerungen

Innerhalb des Einzugsgebietes für die beantragte Grundwasserentnahme des Wasserwerkes Panzenberg befinden sich mehrere Altablagerungen. Angaben zu den fünf bekannten Standorten beruhen auf Informationen des Landkreises Verden /43/, und des LBEG /46/. Eine tabellarische Zusammenstellung dieser Altablagerungen befindet sich in **Anlage 45**, die zugehörigen Standorte innerhalb des Einzugsgebietes sind in **Anlage 34** verzeichnet.

#### 13.1.6 Bodenabbaustätten

Nach Auskunft des Landkreises Verden befinden sich im berechneten Einzugsgebiet der Grundwasserentnahme des Wasserwerkes Panzenberg keine Bodenabbaustätten (Sand- bzw. Tongruben). Darüber hinaus liegen im Einzugsgebiet zwei im Regionalen Raumordnungsprogramm als Vorsorgegebiet für Rohstoffgewinnung (Sand, Ton und Tonstein) festgelegte Gebiete. Die Vorsorgegebiete befinden sich östlich von Holtum (Sand) sowie zwischen den Ortslagen Kreepen und Klein Linteln (Ton und Tonstein) /43/.

#### 13.1.7 Sonstige Belastungsquellen

Innerhalb des ermittelten Einzugsgebietes für das Wasserwerk Panzenberg befindet sich eine Abwasser-Versenkbohrung, die z. Zt. nicht im Betrieb ist. Nach den Angaben des Landkreises Verden /43/ und des LBEG /46/ befinden sich im prognostizierten Einzugsgebiet des WW Panzenberg einige Erdwärmesondenanlagen (z.B. im Bereich Walle). Potentielle Belastungen stellen Stoffeinträge infolge von Leckagen, Havarien etc. dar.

Durch das Einzugsgebiet verlaufen mehrere Kreisstraßen. Verkehrsunfälle mit wassergefährdenden Stoffen stellen demzufolge eine potentielle Belastungsquelle für das betrachtete Grundwasservorkommen dar.

Die Bahnlinien Bremen-Visselhövede und Verden-Rotenburg (Wümme) verlaufen durch das Einzugsgebiet des Wasserwerks Panzenberg. Neben dem Eintrag von Pflanzenschutzmitteln sind Unfälle nicht auszuschließen, in deren Verlauf wassergefährdende Stoffe freigesetzt werden.

### **13.2 Bewertung des Gefährdungspotentials im Hinblick auf das entnommene Grundwasser**

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass das Einzugsgebiet der beantragten Grundwasserentnahme in weiten Bereichen vom bereits ausgewiesenen Wasserschutzgebiet Panzenberg abgedeckt ist. Entsprechende Auflagen und Nutzungsbeschränkungen hatten daher hier schon in der Vergangenheit Bestand.

Die Grundwasserentnahme des Wasserwerks Panzenberg erfolgt überwiegend aus dem unteren Abschnitt des Hauptgrundwasserleiters, welcher im Bereich der Wasserfassungen nur teilweise durch geringdurchlässige Schichten des Lauenburger Komplexes zum Hangenden abgeschirmt ist. Im Bereich der Panzenberger Rinne ist eine flächendeckende Trennung der Grundwasserabschnitte nicht vorhanden. Der Grundwasserleiter ist hier nur bereichsweise durch eine Deckschicht vor dem Eintrag von grundwasserbeeinflussenden Stoffen geschützt. Es kann daher nur in Teilbereichen des Einzugsgebietes von einem gewissen Schutz gegenüber Stoffeinträgen ins Grundwasser ausgegangen werden.

Innerhalb des Einzugsgebietes sind potentielle Belastungsquellen für das Grundwasser vorhanden. Potentielle Belastungsquellen mit besonders hohem Gefährdungspotential sind auf Basis der vorliegenden Daten jedoch nicht erkennbar.

Eine akute Gefährdung des geförderten Grundwassers durch die o. g. möglichen Belastungsquellen ist nicht erkennbar. Langfristig sollte durch die Umsetzung der vorgeschlagenen Nutzungsbeschränkungen in den einzelnen Schutzzonen die Grundwasserqualität gesichert werden.

## **14 Konzept für die Beweissicherung und Vorschläge für ergänzende Maßnahmen**

Zur langfristigen Sicherung der Grundwasserqualität im Einzugsgebiet des WW Panzenberg empfehlen wir folgende Maßnahmen:

- Weiterführung der Kooperation zwischen dem Trinkwasserverband Verden und der Landwirtschaft (Kooperation Trinkwasserschutz Verden) in Bezug auf das zukünftige Wasserschutzgebiet.
- Fortführung des Monitorings der Beschaffenheit des Grundwassers in den Brunnen Vorfeldmessstellen des Wasserwerks Panzenberg.
- Aktualisierung / Überprüfung der Gefährdungsbeurteilung der Altablagerung 357 4014 012 vor dem Hintergrund der Lage innerhalb des Einzugsgebietes des Wasserwerks Panzenberg.

Zur hydrogeologischen Beweissicherung geben wir folgende Empfehlungen:

- In den vorhandenen Brunnen und Grundwassermessstellen des WW Panzenberg sollten weiterhin monatliche Messungen der Grundwasserstände durchgeführt werden.
- An den Standorten der Oberflächengewässerpegel Dovemühlen und Uhlemühlen (Halsebach) sollten kontinuierlich Wasserstands- und Abflussdaten erhoben werden.
- Die Messergebnisse sollten in das vorhandene Grundwasser-Informationssystem (GW-Base) eingepflegt werden.
- Zur Beweissicherung sollte jährlich ein Bericht erstellt werden, in dem die Auswertung der gemessenen Daten erfolgt (Darstellung der Messwerte in Form von

Grundwasserganglinien und ggf. Grundwassergleichenplänen, Datenabgleich mit den Prognosen hinsichtlich der Grundwasserabsenkung).

- Nach Ablauf eines Zeitraums von fünf Jahren nach Vorlage der neuen wasserrechtlichen Bewilligung sollte das Konzept der hydrogeologischen Beweissicherung mit Hilfe der zwischenzeitlich erhobenen Daten überprüft werden.

Ingenieurgesellschaft Dr. Schmidt mbH

Dr. Udo Schmidt

Dipl.-Geol. Olaf Scholze

## 15 Literaturverzeichnis

### 15.1 Schriften

- [1] Akin, H. & Siemes, H.: Praktische Geostatistik. – Springer-Verlag, Berlin, 1988
- [2] Anderson, M. P. & Woessner, W. W.: Applied Groundwater Modeling – Simulation of Flow and Advective Transport.- Academic Press, San Diego, 1992, 381 S.
- [3] Bundesgesetzblatt: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001), 21. Mai 2001 (BGBl. I S. 959), durch Artikel 363 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407) geändert.
- [4] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Hydrologischer Atlas von Deutschland.- Bonn / Berlin, 2003.
- [5] Cheeny, R. F.: Statistical Methods in Geology.- Allen & Unwin, London, New York, 1982.
- [6] Chiang, W.-H. & Kinzelbach, W.: 3D Groundwater Modeling with PMWIN, 2001, Springer, 335 S.
- [7] Chiang, W.-H.: Processing Modflow, An Integrated Modeling Environment for the Simulation of Groundwater Flow, Transport and reactive Processes, Simcore Software, Oktober 2011, 413 S.
- [8] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW): Richtlinien für Trinkwasserschutzgebiete; I. Teil: Schutzgebiete für Grundwasser, Arbeitsblatt W 101, Bonn, Juni 2006.
- [9] Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten, Arbeitsblatt W 107, Bonn, Juni 2004, 24 S.

- [10] Dörhöfer, G., Kunkel, R., Tetzlaff, B. & Wendland, F.: GIS-basierte Grundwasserneubildung von Niedersachsen.- Arbeitshefte Wasser 2001 Heft 1: S. 37-43, NLfB, Hannover, 2001.
- [11] DVWK: Empfehlungen zu Umfang, Inhalt und Genauigkeitsanforderungen bei chemischen Grundwasseruntersuchungen.- Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 111, 1979, Hamburg, Berlin.
- [12] Eckl, H.: GeoFakten 2 – Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Anträge zur Festsetzung von Wasserschutzgebieten für Grundwasser.- LBEG Hannover, 2010, 3. Aufl., 6 S.
- [13] Eckl, H. & Raissi, F.: GeoBerichte 15 - Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen.- LBEG, Hannover 2009.
- [14] Eckl, H., Hahn, J. & Koldehoff, C.: Empfehlungen für die Erstellung von hydrogeologischen Gutachten zur Bemessung und Gliederung von Trinkwasserschutzgebieten – Schutzgebiet für Grundwasser.- Geol. Jahrbuch C 63, BGR & Landesämter, 1995, S. 25-65.
- [15] Haude, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise.- Mittlg. DWD 2 (11), Bad Kissingen, 1955, 24 S.
- [16] Hölting, B. & Coldewey, W. G.: Hydrogeologie. Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- Springer, Heidelberg, 7. Aufl., 2009, 383 S.
- [17] Josopait, V. & Raissi, F. & Eckl, H.: GeoFakten 1 – Hydrogeologische und bodenkundliche Anforderungen an Wasserrechtsanträge zur Grundwasserentnahme.; LBEG, Hannover, 2009, 7 S.
- [18] Josopait, V.: Überlegungen zu Ziel und Inhalt von hydrogeologischen Gutachten für Wasserrechtsanträge bei Grundwasserentnahmen.- Grundwasser. 1996, 3-4, S. 137-141.
- [19] Kinzelbach, W. & Rausch, R.: Grundwassermodellierung: Eine Einführung mit Übungen.- Gebrüder Borntraeger, Berlin - Stuttgart, 1995

- [20] Kunkel, R. & Wendland, F.: Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe – Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen - Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt / Environment, Band 12, 1998, 107 S.
- [21] Kuster, H.: Das Jüngere Tertiär in Nord- und Nordostniedersachsen.- Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Heft 158, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, NLFb [Hrsg.], Hannover, 2005, 194 S.
- [22] Lemke, D. & Elbracht J.: Grundwasserneubildung in Niedersachsen - Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06V2.- GeoBerichte 10, LBEG, Hannover, 2008, 52 S.
- [23] Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover: Böden in Niedersachsen.- Online im Internet: [http://www.lbeg.de/extras/nlfbook/html/nds\\_main.htm](http://www.lbeg.de/extras/nlfbook/html/nds_main.htm)
- [24] McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W.: MODFLOW, A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model.- U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875, 1988.
- [25] Matthess, G. & K. Ubell, 1983: Allgemeine Hydrogeologie – Grundwasserhaushalt.- Verlag Borntraeger, Berlin, 438 S.
- [26] MU Nds. (Hrsg.): Mengenmäßige Bewirtschaftung des Grundwassers.- RdErl. d. MU vom 25.06.2007, Nds. MBl. 33/2007, AZ. 23-62011/1, S. 818-821, Hannover, 2007
- [27] Navarro, L. F.: Characterization and Ground-Water Flow Modeling of the Mint Wash / Williamson Valley Area, Yavapai County – Online im Internet: <http://www.verde.nau.edu/Research/Navarro/>
- [28] Neuß, M. & Dörhöfer G.: GeoFakten 8 – Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen.- LBEG, Hannover, 3. Auflage, 2009, 9 S.
- [29] NLWKN: Praxisempfehlung für niedersächsische Wasserversorgungsunternehmen und Wasserbehörden, Handlungshilfe (Teil II), Erstellung und Vollzug



von Wasserschutzgebietsverordnungen für Grundwasserentnahmen.- Reihe Grundwasser, Band 17, 2013, 146 S.

- [30] Prinz, H.: Abriß der Ingenieurgeologie mit Grundlagen der Boden- und Felsmechanik, des Erd-, Grund- und Tunnelbaus sowie der Abfalldeponien.- Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 3., neu bearb. u. erw. Auflage, 1997, 546 S.
- [31] Reutter, E.: Geofakten 21 – Hydrostratigrafische Gliederung Niedersachsens.- LBEG, Hannover, 2. Auflage, 2011, 11 S.
- [32] Schleyer, R. & Kerndorff, H.: Die Grundwasserqualität westdeutscher Trinkwasserressourcen.- VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1992.
- [33] Spitz, K. & Moreno, J.: A practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling.- J. Wiley & Sons, Inc., New York, 1996, 461 S.
- [34] Wasserverbandstag e.V.: Praxisempfehlungen für Niedersächsische Wasserversorgungsunternehmen und Wasserbehörden – Handlungshilfe, Ausweisung von Wasserschutzgebieten für Grundwasserentnahmen, Hannover, Januar 2013, 47 S.

## **15.2 Karten**

- (1) Quartärgeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500.000.- Bearbeiter: C. Hinze, H.-C. Höfle, H. Jordan, H. Mengeling, K.-D. Meyer, P. Rohde, H. Streif, NLfB, Hannover, 1995.
- (2) Bodenkundliche Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen, 1 : 500.000.- NLfB, Hannover, 1995.
- (3) Hydrogeologischer Atlas von Deutschland.- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, 2003.
- (4) Karte der Lage der Quartärbasis in Niedersachsen und Bremen, 1 : 500.000.- Meyer, K.-D. & Kuster, H., NLfB, Hannover, 1995.

- (5) Geowissenschaftliche Karte des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen 1 : 300.000 Grundwasser - Grundlagen.- NLfB, Hannover, 1991.
- (6) Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover: Kartenserver.- Online im Internet: <http://memas01.lbeg.de/lucidamap/index.asp?>
- (7) Bodenübersichtskarte von Niedersachsen 1 : 50.000.- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover - Online im Internet: <http://memas01.lbeg.de/lucidamap/index.asp?THEMEGROUP=BODEN>