

Operatives Monitoring und Integrative Mengenbewirtschaftung für den Grundwasserkörper Fuhse-Wietze

-

Teilprojekt Wulbeck

Kapitel 3

- Grundwasser -

Auftraggeber:

Wasserverband Peine

Horst 6, 31226 Peine

Hemmingen, Juni 2006



Operatives Monitoring und
Integrative Mengbewirtschaftung für den
Grundwasserkörper Fuhse-Wietze



Teilprojekt

Wulbeck

**Teiluntersuchung
'Geohydrologie'**

Hemmingen, 23. Juni 2006



INGENIEURBÜRO H.-H. MEYER
BERATENDER INGENIEUR FÜR
GEOHYDROLOGIE Hemmingen

Auftraggeber : Wasserverband Peine (WV Peine)
Horst 6, 31226 Peine

Bearbeitung : Martin Meinken
Hans-Henning Meyer

Abbildungen : 9

Tabellen: 2

Anlagen : 11

Datum : 23. Juni 2006

gez. Hans-Henning Meyer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Anlagenverzeichnis.....	III
1 Datengrundlage und durchgeführte Untersuchungen.....	1
2 Gebietsbeschreibung	4
3 Methodik.....	12
4 Auswirkung von Maßnahmen.....	18
Verwendete Unterlagen und Literatur	23

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: <i>Wulbeck</i> kurz nach Verlassen des <i>Oldhorster Moores</i> (am Pegel 'Weide' nördlich der L383, Foto vom 18.06.2006, Blickrichtung Süd).....	5
Abb. 2: <i>Wulbeck</i> kurz vor der Einmündung in die <i>Wietze</i> (am Pegel 'Wiekenberg', Foto vom 18.06.2006, Blickrichtung Nord)	6
Abb. 3: Wasserstandsganglinien-Vergleich an <i>Wulbeck</i> -Pegeln und benachbarter Grundwasser-Messstellen.....	7
Abb. 4: Trocken gefallene <i>Wulbeck</i> im Jahr 1959 am Pegel 'Fuhrberg'	8
Abb. 5: Modellschematisierung im einschichtigen Grundwasser-Modell.....	14
Abb. 6: Vergleich von aus Messdaten interpolierten mit berechneten Linien gleicher Grundwasserspiegel für das Kalenderjahr 2004	16
Abb. 7: Prinzipskizze zur Einzel-Maßnahme 'Sohlabdichtung'	19
Abb. 8: Prinzipskizze zur Einzel-Maßnahme 'GWN-Erhöhung'	19
Abb. 9: Prinzipskizze zur Einzel-Maßnahme 'Entnahme-Verlagerung'.....	20

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Datengrundlage für die Teiluntersuchung 'Grundwasser'.....	1
Tab. 2: Gemessene Abfluss-Bandbreiten in Sommermonaten an <i>Wulbeck</i> -Pegeln der <i>Harzwasserwerke GmbH</i> und der <i>Stadtwerke Hannover AG</i>	6

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1:** Topografische Übersichtskarte (M: 1 : 160.000)
- Anlage 2:** Übersichtsplan (M: 1 : 160.000)
- Anlage 3:** Lageplan (M: 1 : 50.000)
- Anlage 4:** Zeitreihen für Niederschlag, Entnahme und Grundwasserstand
- Anlage 5:** Grundwasserhöhen-Gleichenplan und Grundwasser-Fließrichtung
- langfristig im Mittel - (M: 1 : 50.000)
- Anlage 6:** Grundwasser-Flurabstandsplan - langfristig im Mittel - (M: 1 : 50.000)
- Anlage 7.1:** Ex- und Infiltrationsbereiche der Wulbeck für langfristig mittleren Basis-
Abfluss (M: 1 : 50.000)
- Anlage 7.2:** Langfristig mittlerer kumulativer Basis-Abfluss in der Wulbeck
- Anlage 8.1:** Ex- und Infiltrationsbereiche der Wulbeck für eine trockenen Sommer-
Phase (M: 1 : 50.000)
- Anlage 8.2:** Kumulativer Basis-Abfluss in der Wulbeck für eine trockene Sommer-
Phase
- Anlage 9:** Beschreibung der Maßnahme-Varianten 'Grundwasser'
- Anlage 10:** Auswirkung der Maßnahme-Varianten auf den mittleren kumulativen
Basis-Abfluss in der Wulbeck für trockene Sommer-Monate
- Anlage 11:** Bewertung der Maßnahme-Varianten 'Grundwasser'

1 Datengrundlage und durchgeführte Untersuchungen

Die Bearbeitung des Teilprojektes 'Wulbeck' sollte im Rahmen der ersten Untersuchungsphase weitgehend auf Basis vorhandener Daten und Simulationsmodelle erfolgen. Für die Teiluntersuchung 'Grundwasser' mussten Daten großräumig (in etwa für das Modellgebiet 'Wulbeck', s. Anlage 2) beschafft werden.

Tab. 1 zeigt eine Zusammenstellung der gesamten Datengrundlage für die geohydrologischen Untersuchungen mit Angabe wer die Daten geliefert bzw. vorgegeben hat.

Tab. 1: Datengrundlage für die Teiluntersuchung 'Grundwasser'

AM: *Dr.-Ing. Andreas Matheja Consulting Services, Burgwedel*

HWW: *Harzwasserwerke GmbH, Hildesheim*

NLfB: *Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, (inzwischen aufgelöst, jetzt LBEG: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie)*

RegH: *Region Hannover*

SWH: *Stadtwerke Hannover AG, Hannover*

WVNH: *Wasserverband Nordhannover, Burgwedel*

Thema	SWH	HWW	WVNH	AM	RegH	NLfB	Kurzbeschreibung
Meteorologie	X						Tagessummen Stationen WW Fuhrberg, WW Elze/Berkhof, Forstamt Wiekenberg Jan. bis März 2006 Station WW Ramlingen Monatssummen für die Jahre 1996 bis 2005, Tagessummen Jan. bis April 2006
Geländeoberfläche	X						ATKIS DGM 5 (LGN, Hannover) für den Bereich Gw-Modell 'Fuhrberg' Geländemodell gemäß Topografischer Karte 1:25.000 (LGN, Hannover) für den Bereich Gw-Modell 'Ramlingen/Wettmar'
Vorfluter							
Sohlhöhen				X			Wuhlbeck, Wietze und angrenzende Gräben an rd. 4500 Stützstellen (Rechts- und Hochwerte)
Wasserstände				X			Wuhlbeck, Wietze und angrenzende Gräben an rd. 4500 Stützstellen (Rechts- und Hochwerte) für Stichtag 18.3.06, Niedrigwasserperiode und Maßnahmevarianten

Thema	SWH	HHW	WVNH	AM	RegH	NLFB	Kurzbeschreibung
Abflüsse	X			X			<p>Tagesmittelwerte Pegel "Fuhrberg" und "Wiekenberg", Zeitraum Jan. 2001 bis März 2006</p> <p>Tageswerte Pegel "Weide" und "Bennwiesen" und "Im Brand", Zeitraum Jan. 1995 bis April 2006</p> <p>Stichtagswerte Bereich Unterlauf Wulbeck am 19.7., 12.10. und 1.11.05 (AGWA GmbH, 2005)</p> <p>Stichtagswerte Pegel "Fuhrberg" und "Wiekenberg", Zeitraum März 1998 bis Juni 2006</p> <p>Stichtagswerte Pegel "Weide", "Bennwiesen" und "Im Brand", Zeitraum Okt. 1993 bis Aug. 2005</p>
Durchlässigkeit der Gewässersohle	X			X			<p>An 23 Standorten im Einzugsgebiet der Wulbeck am 18.3.06</p> <p>Bestimmung anhand von Bohrproben an 3 Stellen in der Wulbeck (AGWA GmbH, 2005)</p>
Grundwasserneubildung	X					X	<p>nach JOSOPAIT / DÖRHÖFER (Auswertung des NLfB, Hannover, 1984)</p> <p>Angaben zur Erhöhung der GWN bei Waldumbau von Nadel- zu Mischwald (MÜLLER, J., 1996)</p>
Grundwasserstände	X						<p>Monatliche Stichtagswerte für das gesamte Messstellennetz, Zeitraum Jan. 1990 bis Apr. 2006</p> <p>Monatliche Stichtagswerte für das gesamte Messstellennetz, Zeitraum Jan. 1990 bis Apr. 2006</p> <p>Monatliche Stichtagswerte für das gesamte Messstellennetz, Zeitraum Jan. 1990 bis Apr. 2006</p>
Entnahmen	X						<p>Jahresmengen Fassungen Lindwedel, Berkhof, Elze und Fuhrberg, Zeitraum 1949 bis 2005, brunnenbezogen für 2004</p> <p>Jahresmengen Wasserwerk Ramlingen, Zeitraum 1964 bis 2005, brunnenbezogen für 2004</p> <p>Jahresmengen Wasserwerk Wettmar, Zeitraum 1965 bis 2005, brunnenbezogen für 2004</p> <p>Jahresmengen für Feldhergen-</p>
					X		

Thema	SWH	HWW	WVNH	AM	RegH	NLfB	Kurzbeschreibung
							nungsbrunnen, Zeitraum 1992 bis 2005
Gw-Modelle	X						<p>Gw-Modell "Fuhrberger Feld", Rasterweite 500 m, Übernahme der Modelldaten (Geometrie, Systemparameter, Wasserstände in Vorflutern, Grundwasserneubildung) in das Gw-Modell "Wulbeck"</p> <p>Gw-Modell "Ramlingen/Wettmar", Rasterweite 250 m, Übernahme der Modelldaten (Geometrie, Systemparameter, Wasserstände in Vorflutern, Grundwasserneubildung) in das Gw-Modell "Wulbeck"</p>

Nach Sammlung und Sichtung vorliegender geologischer, hydrologischer und geohydrologischer Unterlagen und Daten im Bereich des Modellgebietes 'Wulbeck' (s. Anlage 2) wurden u.a. folgende Auswertungen vorgenommen:

- Prüfung der Datengrundlage (u.a. Grundwasserstände, Abflüsse, Entnahmen) auf Plausibilität.
- Aufbereitung und Darstellung der Daten in Form von Lageplänen, Balkendiagrammen und Ganglinien.
- Konstruktion eines Grundwasserhöhen-Gleichenplanes und eines Grundwasserflurabstandsplanes für das Kalenderjahr 2004.

Nach Zusammenführung der Grundwassermodelle 'Fuhrberger Feld' und 'Ramlingen/Wettmar' in das neue Grundwassermodell 'Wulbeck' sowie Einarbeitung aktueller Daten (insbesondere des Gewässersystems, s. Kap. 2) erfolgte eine stationäre Nachrechnung für einen langfristig mittleren Zustand (MGW2004) und eine trockene Sommerphase.

Mit Hilfe des Grundwassermodells wurden für diese Zustände Ex- und Infiltrationsbereiche abgegrenzt sowie der kumulative grundwasserbürtige Abfluss in der Wulbeck ermittelt und in Form von Lageplänen und Gewässer-Längsschnitten dargestellt.

Anschließend erfolgte die Simulation der Maßnahmevarianten mit jeweiliger Darstellung der sich unter den veränderten Bedingungen einstellenden kumulativen grundwasserbürtigen Abflüsse als Gewässer-Längsschnitt.

Alle berechneten grundwasserbürtigen Abflüsse wurden der Teiluntersuchung 'Oberflächengewässer' zur Berechnung der Wasserstände mit dem hydrodynamischen Abflussmodell zur Verfügung gestellt.

2 Gebietsbeschreibung

Geografische Lage des Untersuchungsgebietes

Der Grundwasserkörper 'Fuhse/Wietze' liegt nordöstlich von *Hannover* (Anlage 1). Er hat eine flächige Ausdehnung von rd. 981 qkm.

Das (Gesamt-)Untersuchungsgebiet 'Grundwasser' entspricht in etwa der Ausdehnung des zusammengeführten Grundwassermodells 'Wulbeck' (s. Anlage 2). Zur Belegung des Grundwassermodells, mussten für diesen Bereich Daten beschafft, gesichtet und geprüft werden. Die hydrografische Grenze für die *Wulbeck* umschließt das nähere Untersuchungsgebiet (im Folgenden nur noch als Untersuchungsgebiet bezeichnet, Flächengröße rd. 108 qkm). Auf diesen Bereich konzentrierte sich die erforderliche Nacheichung des Grundwassermodells 'Wulbeck' und die Suche nach geeigneten Maßnahmen zur Verbesserung des Abflusses in der *Wulbeck*.

Morphologie

Das Relief im Untersuchungsgebiet ist eiszeitlich geprägt und steigt generell von Norden (rd. 35 mNN) nach Süden (rd. 60 mNN) kontinuierlich an. Der nördliche Teil des Untersuchungsgebietes liegt naturräumlich in der *Fuhrberger Sandniederung*, wo der Geländeanstieg zunächst flach ausgebildet ist. Im südlichen Teil, also in der *Burgwedeler Geest*, ist der Anstieg dann verhältnismäßig steil.

Für die Untersuchungen (insbesondere zur Bestimmung des Grundwasser-Flurabstandes) wurde das amtliche 'Digitale Geländehöhenmodell 5' (DGM 5) der *Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen* (LGN Hannover) verwendet.

Im Norden des Untersuchungsgebietes bestimmen Nadelwälder das Landschaftsbild, im Süden herrschen landwirtschaftlich genutzte Flächen vor (z.B. CORINE LAND COVER, 2000).

Niederschlag

Die langfristig mittlere Jahresniederschlagshöhe beträgt für die Station *WW Ramlingen* der *Harzwasserwerke GmbH* 693 mm (Jahresreihe 1961/2005). In den letzten 10 Jahren ergab sich eine Schwankungsbreite von 504 (2003) bis 937 mm (2002), siehe Anlage 4.

Für das Wasserschutzgebiet 'Fuhrberger Feld' gibt MÜLLER-WESTERMEIER (1996) einen mittleren Jahresniederschlag in Höhe von 655 mm an.

Oberirdisches Gewässersystem

Die *Wulbeck* (Hauptgewässer des Niedersächsischen Fließgewässerprogrammes) entspringt im Bereich des *Oldhorster Moores* und mündet nach Zurücklegen einer Strecke von rd. 27 km in die *Wietze*. In ihrem Verlauf ist sie streckenweise kanalartig ausgebaut, streckenweise aber auch naturnah (Abb. 1 und 2).

Die Beschreibungen in diesem und den nachfolgenden Abschnitten beziehen sich auf die Kilometrierung des hydrodynamischen Abflussmodells (s. Kap. 2). Sie beginnt rd. 0,5 km südlich des Pegels 'Weide' und endet bei km 24,4 an der Einmündung zur *Wietze*.



Abb. 1: *Wulbeck* kurz nach Verlassen des *Oldhorster Moores* (am Pegel 'Weide' nördlich der L383, Foto vom 18.06.2006, Blickrichtung Süd)

Natürlicherweise herrschen im Untersuchungsgebiet nasse Untergrundverhältnisse vor. Beweis dafür sind die - früher vorhandenen - weitflächigen Raseneisenerz-Vorkommen. Durch Anlegen von Entwässerungsgräben und dem Ausbau der *Wulbeck* selbst wurden in der Vergangenheit Flächen für die Landwirtschaft und auch zum Torfabbau nutzbar gemacht. Die einsetzende Trinkwassergewinnung (im Untersuchungsgebiet Beginn etwa 1959 mit dem Wasserwerk 'Fuhrberg') und die Entnahmen zur Feldberegnung verursachten weitere Grundwasserspiegel-Absenkungen, die ebenfalls Auswirkungen auf den Abfluss in der *Wulbeck* hatten.

In der *Wulbeck* werden an 5 Pegeln regelmäßig Abflussdaten von der *Harzwasserwerke GmbH* und der *Stadtwerke Hannover AG* im Rahmen der Beweissicherung zur Grundwasserentnahme erhoben. Tabelle 2 enthält für vorliegende Zeitreihen aufgetre-

tene Maximal- und Minimalwerte. Werte kleiner als ca. 10 l/s sind nur sehr ungenau messtechnisch erfassbar, da bei derart geringen Abflüssen die *Wulbeck* meist stark verkrautet ist.

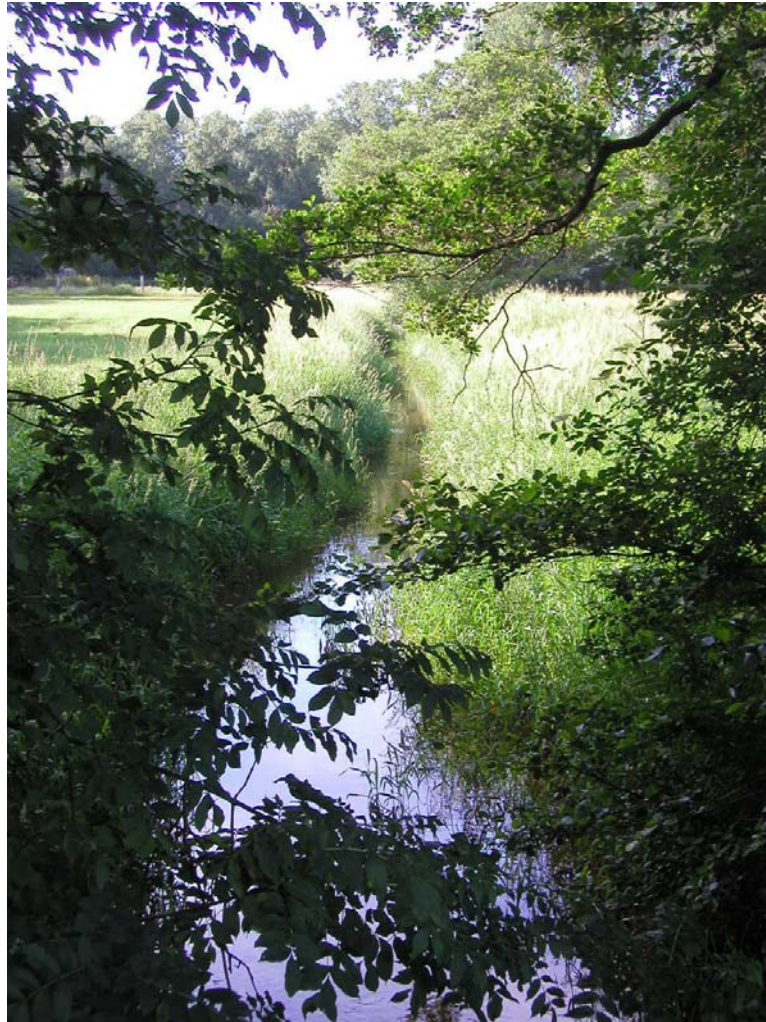


Abb. 2: *Wulbeck* kurz vor der Einmündung in die *Wietze* (am Pegel 'Wiekenberg', Foto vom 18.06.2006, Blickrichtung Nord)

Tab. 2: Gemessene Abfluss-Bandbreiten in Sommermonaten an *Wulbeck*-Pegeln der *Harzwasserwerke GmbH* und der *Stadtwerke Hannover AG*

Pegel	Minimalwert [l/s]	Maximalwert [l/s]
Weide (Reihe 1993/05)	5	254
Bennwiesen (Reihe 1993/05)	6	319
Im Brand (Reihe 1993/05)	0	329
Fuhrberg (Reihe 1998/05)	0	1602
Wiekenberg (Reihe 1998/05)	0	587

Wasserspiegelmessungen werden an den in Tabelle 2 aufgeführten Pegeln kontinuierlich mit Hilfe von Datenloggern aufgenommen. Abbildung 3 zeigt die Wasserstände in der *Wulbeck* für die 3 Pegel 'Weide', 'Im Brand' und 'Fuhrberg' (Lage siehe Anlage 2) im Vergleich zum Grundwasserstand an den jeweils nächst gelegenen Grundwasser-messstellen. Anhand dieser Messdaten ist deutlich erkennbar, dass im Oberlauf (Pegel 'Weide') die *Wulbeck* regelmäßig mit Grundwasser gespeist wird (Wasserstand in der *Wulbeck* < Grundwasserstand, also Exfiltration). Im Unterlauf-Bereich (Pegel 'Fuhrberg') gibt die *Wulbeck* kontinuierlich Wasser an das Grundwasser ab (Wasserstand in der *Wulbeck* > Grundwasserstand, also Infiltration). In Höhe der Wassergewinnungsgebiete der Wasserwerke 'Ramlingen' und 'Wettmar' (Pegel 'Im Brand') stellen sich je nach Witterungsverhältnissen wechselnde Zustände ein: In den Wintermonaten fließt Grundwasser i.d.R. in die *Wulbeck*, in den Sommermonaten sind die Strömungsverhältnisse oft umgekehrt.

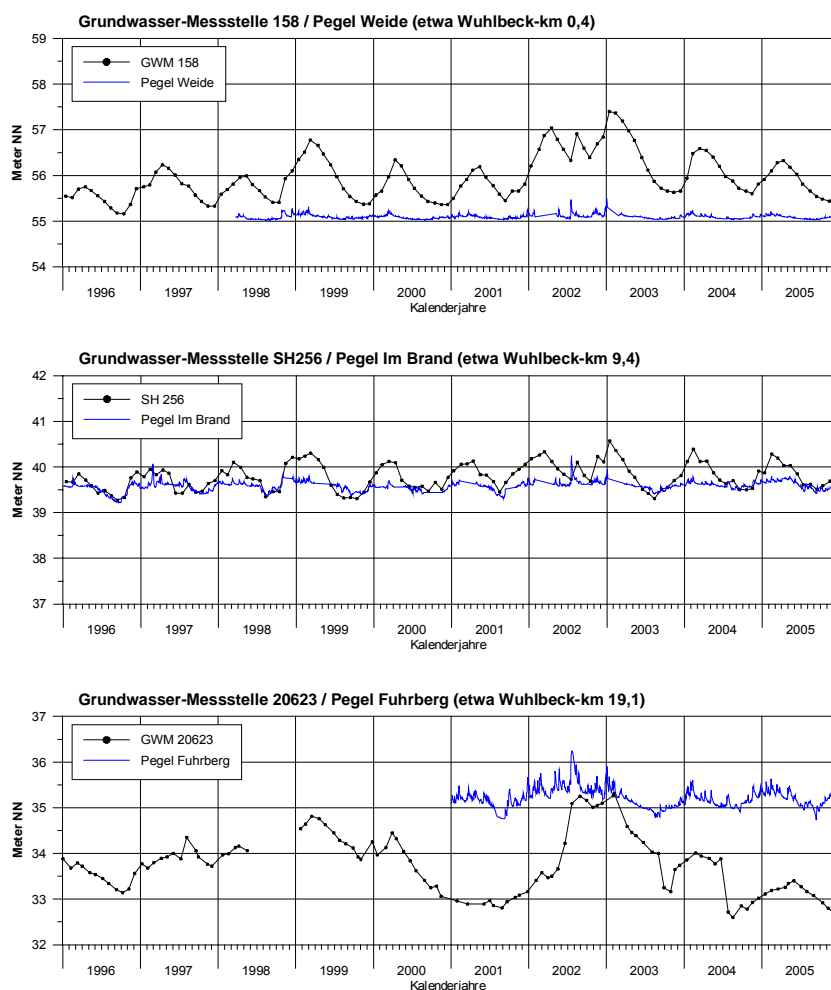


Abb. 3: Wasserstandsganglinien-Vergleich an *Wulbeck*-Pegeln und benachbarter Grundwasser-Messstellen

In den Monaten Juli, Oktober und November des Jahres 2005 wurden trocken gefallene Abschnitte im Unterlauf der *Wulbeck* mit einer Maximallänge von rd. 4 km beobachtet und kartiert (AGWA, 2005).

Die aktuellen Abflussdaten und Wasserstandsbeobachtungen belegen das temporäre Trockenfallen in Teilabschnitten der *Wulbeck*.

Auch schon vor Beginn der Grundwasserentnahme im Untersuchungsgebiet war die *Wulbeck* zeit- und bereichsweise - zumindest in extremen Trockenphasen - ohne Wasserführung (Abb. 4).



Abb. 4: Trocken gefallene *Wulbeck* im Jahr 1959 am Pegel 'Fuhrberg'

Eine detailliertere Beschreibung der *Wulbeck* und der angrenzenden Nebengewässer (auch zur Historie) enthält Kap. 2 'Oberflächengewässer'.

Im Untersuchungsgebiet befinden sich keine größeren natürlichen Stillgewässer.

Grundwasserleiter

Der Grundwasserleiter im Bereich des Modellgebietes 'Wulbeck' besteht im Wesentlichen aus gut durchlässigen, quartären Sanden und Kiesen, denen örtlich Schluff und Geschiebelehmlagen unterschiedlicher Mächtigkeit zwischengelagert sind. Eine Überdeckung mit gering durchlässigen Sedimenten ist nur vereinzelt und örtlich eng begrenzt anzutreffen. Die Basis wird von vergleichsweise sehr schlecht durchlässigen Gesteinsfolgen des Tertiärs und der Kreide gebildet, die mit geringer Neigung nach Nordosten einfallen. Meist – insbesondere auch im Untersuchungsgebiet des Teilprojektes 'Wulbeck' - liegt die Grundwasserleiter-Mächtigkeit in einem Wertebereich von

20 bis 35 m. Der Grundwasserleiter kann als ungespannt und einstöckig angesehen werden (HOFFMANN, 1984).

Grundwasser

Im Rahmen der Beweissicherung werden von der *Stadtwerke Hannover AG*, der *Harzwasserke GmbH* und dem *Wasserverband Nordhannover* an zahlreichen Grundwasser-Messstellen im Modellgebiet und darüber hinaus monatlich die Grundwasserspiegel gemessen. Anlage 4 zeigt exemplarisch den Gang des Grundwasserstandes an Messstelle 20113 der *Stadtwerke Hannover AG*. Die Messstelle liegt bei der Ortschaft *Ibsingen* zwischen *Brelingen* und *Lindwedel* und ist nicht von Grundwasser-Entnahmen beeinflusst. Sie spiegelt somit den Einfluss der Witterungsbedingungen wieder. Die jährliche Schwankungsbreite von rd. einem Meter ist typisch für das Untersuchungsgebiet (s.a. Abb. 3).

Aus den örtlich vorhandenen Grundwasserspiegelmessungen wurde durch Interpolation zwischen den Messstellen ein Grundwasserhöhen-Gleichenplan für das Kalenderjahr 2004 konstruiert. Dabei wurde der Einfluss der oberirdischen Gewässer berücksichtigt. Die Konstruktion erfolgte flächendeckend für das gesamte Modellgebiet. Anlage 5 zeigt den Gleichenplan für das Untersuchungsgebiet des Teilprojektes 'Wulbeck'. Der Grundwasserspiegel fällt von maximal rd. 60 mNN im Süden auf rd. 32 mNN im Norden ab. Wie der Ganglinie des Grundwasserstandes in Anlage 4 zu entnehmen ist, repräsentiert das Kalenderjahr 2004 in etwa langfristig mittleren Verhältnissen.

Die Grundwasser-Fließrichtung ist ebenfalls in Anlage 5 anhand von Fließpfeilen dargestellt. Generell strömt das Grundwasser aus Süden kommend (*Burgwedeler Geest*) in nördliche Richtung (*Untere Aller Talsandebene*). Ein Teil des Grundwassers strömt in die *Wulbeck* und die angrenzenden Entwässerungsgräben, ein weiterer Teil wird von den Förderbrunnen der Wasserwerke 'Ramlingen', 'Wettmar' und 'Fuhrberg' sowie den Feldberegnungs-Brunnen abgefangen.

Durch Überlagerung des flächendeckend für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Digitalen Geländemodells (LGN, Hannover) mit der konstruierten Grundwasserspiegel-fläche für das Kalenderjahr 2004 (Anlage 5) wurde ein Grundwasserflurabstandsplan flächig ermittelt (Anlage 6). Im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes steht das Grundwasser weitflächig oberflächennah an (Flurabstände im Mittel kleiner als 1 m). Im Bereich der Fassung 'Fuhrberg' zeichnet sich der Absenkungstrichter deutlich ab. Die Flurabstände betragen dort 2 bis 5 m. Südlich der Wasserwerke 'Ramlingen' und 'Wett-

'Wettmar' erreichen die Flurabstände häufig Werte von mehr als 5 m (*Burgwedeler Geest*).

Grundwasser-Entnahmen

Im Untersuchungsgebiet befinden sich Trinkwasserversorgungsbrunnen der Wasserwerke 'Ramlingen' (*Harzwasserwerke GmbH*), 'Wettmar' (*Wasserverband Nordhannover*) und 'Fuhrberg' (*Stadtwerke Hannover AG*) (s. Anlage 2) sowie eine Vielzahl von Brunnen der Feldberegnung (Beregnungsverbände 'Fuhrberg', 'Wettmar', 'Engersen' und 'Otze-Ramlingen'). Das Wasserwerk 'Fuhrberg' wurde 1959 in Betrieb genommen. Die Brunnen der Wasserwerke 'Ramlingen' und 'Wettmar' fördern seit 1964 bzw. 1965. In Anlage 4 sind die Grundwasserentnahmen der letzten 10 Jahre dargestellt (inkl. Wasserwerk 'Elze-Berkhof' der *Stadtwerke Hannover AG*).

Grundwasserkörper Fuhse/Wietze

Gemäß der Bestandsaufnahme zur Umsetzung der EU-WRRL wird der Grundwasserkörper Fuhse / Wietze im zugehörigen C-Bericht als "intensiver zu untersuchen" eingestuft, weil eine Beeinträchtigung der oberirdischen Gewässer *Wietze* und *Wulbeck* infolge der "Entnahmesituation" nicht ausgeschlossen werden konnte (NLFb, HANNOVER, 2005).

Weitere wichtige, den Wasserhaushalt der *Wietze* und der *Wulbeck* beeinflussende Maßnahmen wurden bei dieser Einstufung nicht berücksichtigt: So wurden in den letzten hundert Jahren an wesentlichen Flächenanteilen des Grundwasserkörpers wasserwirtschaftliche Maßnahmen durchgeführt, um

- landwirtschaftliche Nutzung zu ermöglichen,
- Raum für Siedlungsflächen zu schaffen und
- alljährlich auftretende Sommerhochwässer zügig abzuführen.

Umgesetzt wurden diese Maßnahmen über

- Ausbau der Vorfluter (z.B. *Wulbeck*, *Wietze*) und zuführenden Grabensysteme,
- Beseitigung von Stauschichten durch Aufbrechen der Raseneisenerzschichten,
- Großflächige Begründung von Kiefernforsten im Unterlauf der *Wulbeck*.

Die Entwässerungsmaßnahmen haben zu der gewünschten Absenkung des Grundwasserspiegels und der Entwässerung der Nutzungsflächen geführt. Auch die Nut-

zungsänderung selbst wirkt sich nachfolgend auf den Wasserhaushalt aus (verändertes Retentionsvermögen der Böden, nutzungsspezifische Grundwasserneubildung).

Die Bestandsaufnahme (NLfB, HANNOVER, 2005) beinhaltete auch eine Überprüfung auf langfristige Trends (30 Jahre) in Grundwasserstandsganglinien für ausgewählte Messstellen. Diese Analyse ergab, dass der Grundwasserkörper Wietze / Fuhse nicht überbeansprucht ist, da ein fallender Trend der Grundwasserspiegelfläche nicht nachzuweisen war. Auch die laufende Beweissicherung für die Grundwasserentnahmen der Wasserwerke 'Fuhrberg', 'Ramlingen' und 'Wettmar' zeigt, dass sich die Grundwasserstände in den Wassergewinnungsgebieten auf einem konstanten Niveau bewegen.

3 Methodik

Zu untersuchen ist, ob über Bewirtschaftungs-Maßnahmen am oberirdischen Gewässer- und Grundwassersystem Niedrigwasserabflüsse in der *Wulbeck* verbessert werden können. Zur Beurteilung potentieller Bewirtschaftungs-Maßnahmen müssen die Auswirkungen quantifiziert werden. Wegen der Komplexität der Problemstellung ist dazu ein numerisches Modell erforderlich, das in der Lage sein muss, die hier im Vordergrund stehenden Wechselwirkungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser in ausreichender Weise zu berücksichtigen.

Zur vollständigen Nachbildung des Natursystems wäre grundsätzlich ein gekoppeltes Oberflächenwasser- / Grundwassermodell mit Berücksichtigung der teilgesättigten Zone einzusetzen. Da die natürlichen Prozesse und ggf. auch die auf sie wirkenden Maßnahmen zeitabhängig sind, müsste das Modell zudem ebenfalls zeitabhängig (instationär) betrieben werden.

Dieser Ansatz war aber wegen des engen Zeit- und Kostenrahmens von vorn herein nicht geplant. Schon das Projektkonzept sah daher vor, die bereits bestehenden, jeweils nur einen Teil des Untersuchungsgebietes abdeckenden (stationären) Grundwassermodelle 'Fuhrberger Feld' (*Stadtwerke Hannover AG*) und 'Ramlingen/Wettmar' (*Harzwasserwerke GmbH / Wasserverband Nordhannover*) zusammenzuführen. Das so entstandene neue Grundwassermodell 'Wulbeck' ermöglicht die Berechnung der Grundwasserströmungsverhältnisse und des Wasseraustausches zwischen den Systemen Oberflächengewässer und Grundwasser (und damit auch des grundwasserbürtigen Abflusses im Fließgewässer), allerdings nur unter Vorgabe der Wasserstände im oberirdischen Gewässersystem. Bei der Simulation von Maßnahmen sind diese aber nicht bekannt, so dass die Implementierung eines stationären, hydrodynamischen Abflussmodells unabdingbar war. Mit parallelem Einsatz dieser beiden Modelle können nun grundwasserbürtiger Abfluss und damit einhergehender Wasserstand im oberirdischen Gewässer iterativ berechnet werden: Zunächst wird die Wasserspiegellage im Vorfluter bei der Grundwasserströmungssimulation geschätzt und ein grundwasserbürtiger Abfluss bestimmt. Mit diesem Abfluss wird dann mit dem hydrodynamischen Abflussmodell der Wasserstand berechnet und dieser für eine erneute Grundwasserspiegelsimulation vorgegeben. Dieser Vorgang wird wiederholt bis keine signifikante Änderung des Abflusses bzw. Wasserstandes mehr eintritt.

Zum Aufbau des hydrodynamischen Abflussmodells mussten noch Sohlhöhen und Wasserstände der *Wulbeck* und des angrenzenden Entwässerungssystems erhoben

werden, die auch im Grundwassermodell übernommen wurden. Alle das oberirdische Gewässersystem betreffenden Untersuchungen / Arbeiten (Datenerhebung, Aufbau und Betrieb des hydrodynamischen Abflussmodells, Maßnahmenbeschreibung- und bewertung) wurden in einer Teiluntersuchung 'Oberflächengewässer' des Teilprojektes 'Wulbeck' gesondert durchgeführt (Kap. 2).

Die dem Grundwassermodell zugrunde liegenden Modelle 'Fuhrberger Feld' und 'Ramlingen/Wettmar' waren jedes für sich im Rahmen ihres Anwendungsziels konzipiert und geeicht. Der Einbau neuer Gewässerdaten, die Überlagerung der Modelle und die Fokussierung auf die Wechselwirkung Oberflächenwasser / Grundwasser machte eine Nacheichung erforderlich. Als Grundlage für die stationäre Nacheichung wurde der Zustand des Kalenderjahres 2004 gewählt, der in etwa langfristig mittleren Verhältnissen entspricht und als quasistationär angesehen werden kann.

Die Abfluss-Situation der *Wulbeck* ist nur bei Niedrigwasserführung problematisch (bereichsweises Trockenfallen). Als Bezugsbasis für die nachfolgenden Berechnungen mit Berücksichtigung von Einzel-Maßnahmen wurde deshalb ein (fiktiver) Vergleichszustand in Anlehnung an trockene Verhältnisse in Sommer-Monaten gewählt. Dieser Vergleichszustand ist eigentlich eine Momentaufnahme in einem (instationären) jahreszeitlichen Gang, der stationär nur näherungsweise betrachtet werden kann (durch Einstellung entsprechender Randbedingungen, s.u.). Der stationäre Ansatz ermöglicht aber durch Gegenüberstellung von grundwasserbürtigen Abflüssen mit und ohne Maßnahme eine relative Beurteilung der Erfolgsaussichten für die jeweils betrachtete Einzel-Maßnahme.

Im stationären Grundwassermodell 'Wulbeck' werden u.a. folgende Systemwerte und Randbedingungen berücksichtigt:

- Grundwasserneubildung (Grundlage: NLFb HANNOVER, 1984)
- Durchlässigkeit des Grundwasserleiters (örtlich unterschiedlich)
- Grundwasserspiegel an den Modellrändern aus Messwerten interpoliert
- Wechselwirkung mit oberirdischen Gewässern (z.B. *Wietze*, *Wulbeck*, *Tiefenbruchsraben*, Entwässerungsgräben)

Modellaufbau und Modelleichung sind im Folgenden zusammengefasst beschrieben:

Rechenprogramm: MODFLOW (HARBAUGH & McDONALD (1996)).

Modellgeometrie: Das **Modellraster** enthält rd. 237.500 Knoten in einer Modellebene (s. Abb. 5). Ein Großteil der Knoten ist derzeit allerdings nicht aktiv (aktiver Bereich siehe Anlage 2). Die Modellausdehnung wurde so gewählt, dass ggf. der gesamte Grundwasser-Körper 'Fuhse/Wietze' abgedeckt werden kann. Die Rasterweite beträgt 100 m. Damit ergibt sich eine Modellgebietsfläche von rd. 2.375 qkm (606,27 qkm aktiv). Vorfluter mussten ggf. zur Simulation auf den nächst gelegenen Rasterknoten verschoben werden. Obere Begrenzung der Modellebene ist die Geländeoberfläche.

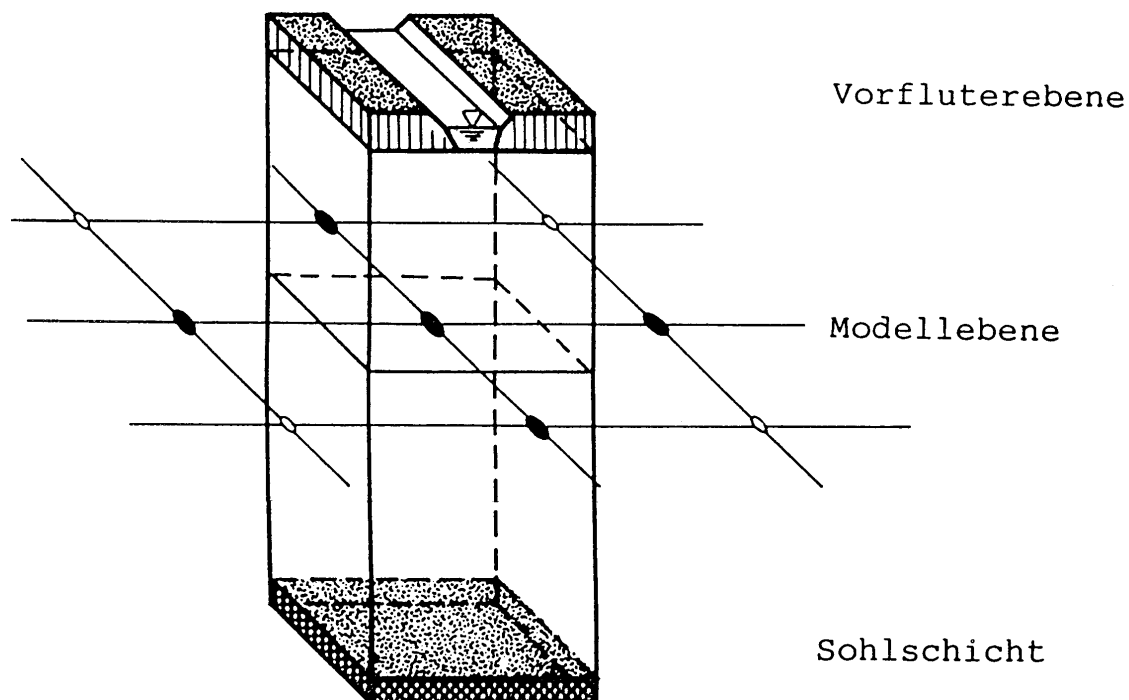


Abb. 5: Modellschematisierung im einschichtigen Grundwasser-Modell

Grundwasserneubildung:

Als Grundlage für die vorliegende Teiluntersuchung dient eine Auswertung des NLfB, Hannover (1984) nach dem Verfahren DÖRHÖFER-JOSOPAIT (1980). Diese Methode liefert eine örtlich differenzierte, langfristig mittlere Grundwasserneubildung und umfasst u.a. den Einfluss von Niederschlag, Bodenart, Landnutzung und Oberflächenabfluss. Demnach liegt die Grundwasserneubildung im Untersuchungsgebiet zwischen weniger als 50 mm/a (Moor- und Niederungsbereiche) und maximal 350 mm/a (meist Geest-Bereiche).

Im Zuge der Modell-Nacheichung wurden Grundwasserneubildungswerte örtlich angepasst, allerdings nur innerhalb der Stufen-Bandbreite von 50 mm/a (Zonen-Grenzen wurden nicht verändert). Als Flächenmittel für das 606,27 qkm große aktive Modellgebiet errechnet sich rd. 175 mm/a (entspricht rd. 27 % des langfristig mittleren Niederschlags).

Durchlässigkeit des Grundwasserleiters: Die in den Grundwassermodellen 'Fuhrberger Feld' und 'Ramlingen/Wettmar' enthaltenen Durchlässigkeitsbeiwerte (k_f -Werte) wurden zunächst übernommen und mussten während der Nacheichung nur unwesentlich verändert werden. Die Bandbreite der k_f -Werte im Grundwassermodell 'Wulbeck' beträgt ca. $4 \cdot 10^{-5}$ bis $5 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Vorfluter: Auch die Durchlässigkeitsbeiwerte für die Sohlen der oberirdischen Gewässer wurden zunächst aus den vorhandenen Grundwassermodellen übernommen. Nach Einbau der im Rahmen der Teiluntersuchung 'Oberflächengewässer' neu aufgenommenen Geometriedaten und Wasserstände mussten im Bereich des Untersuchungsgebietes allerdings relativ deutliche Veränderungen vorgenommen werden, um gerechnete und gemessene Grundwasserspiegel sowie grundwasserbürtige Abflüsse anzupassen. Es ergaben sich für die *Wulbeck* Leitwerte (berechnet aus Durchlässigkeitsbeiwert, durchströmter Fläche und Mächtigkeit der Gewässersohle) von bis zu rd. $5,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s (für Infiltrationsbereiche) und rd. $8,5 \cdot 10^{-3}$ m²/s (für Exfiltrationsbereiche). Diese Werte stehen in gutem Einklang zu im Labor ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerten für Bodenproben, die dem Gewässerbett der *Wulbeck* entnommen wurden (AGWA, 2005).

Entnahmen: Für die im Modellgebiet liegenden Förderbrunnen (Trinkwasserversorgung und Feldberegnung) wurden die Entnahmen im Kalenderjahr 2004 in Höhe von insgesamt rd. 52 Mio. m³ mit entsprechender Verteilung auf die Einzelbrunnen angesetzt.

Modelleichung: Bei der Modelleichung wurden die Parameter Grundwasserneubildung, Durchlässigkeit des Gesteins und Durchlässigkeit der Gewässer-Sohlen variiert, bis eine ausreichende Übereinstimmung zwischen berechneten und aus Messungen vorgegebenen Grundwasserspiegeln (MGW 2004) erreicht war. Die Güte der Modellanpassung in der Fläche und an ausgewählten Kontrollmessstellen zeigt Abb. 6. Die mittlere absolute Differenz zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen an allen Messstellen im Modellgebiet beträgt rd. 40 cm (Standardabweichung rd.

60 cm). Weitere Verbesserungen zur Reduzierung der Abweichungen sind nicht erforderlich, da sich die Prognoseergebnisse nicht mehr signifikant verändern würden.

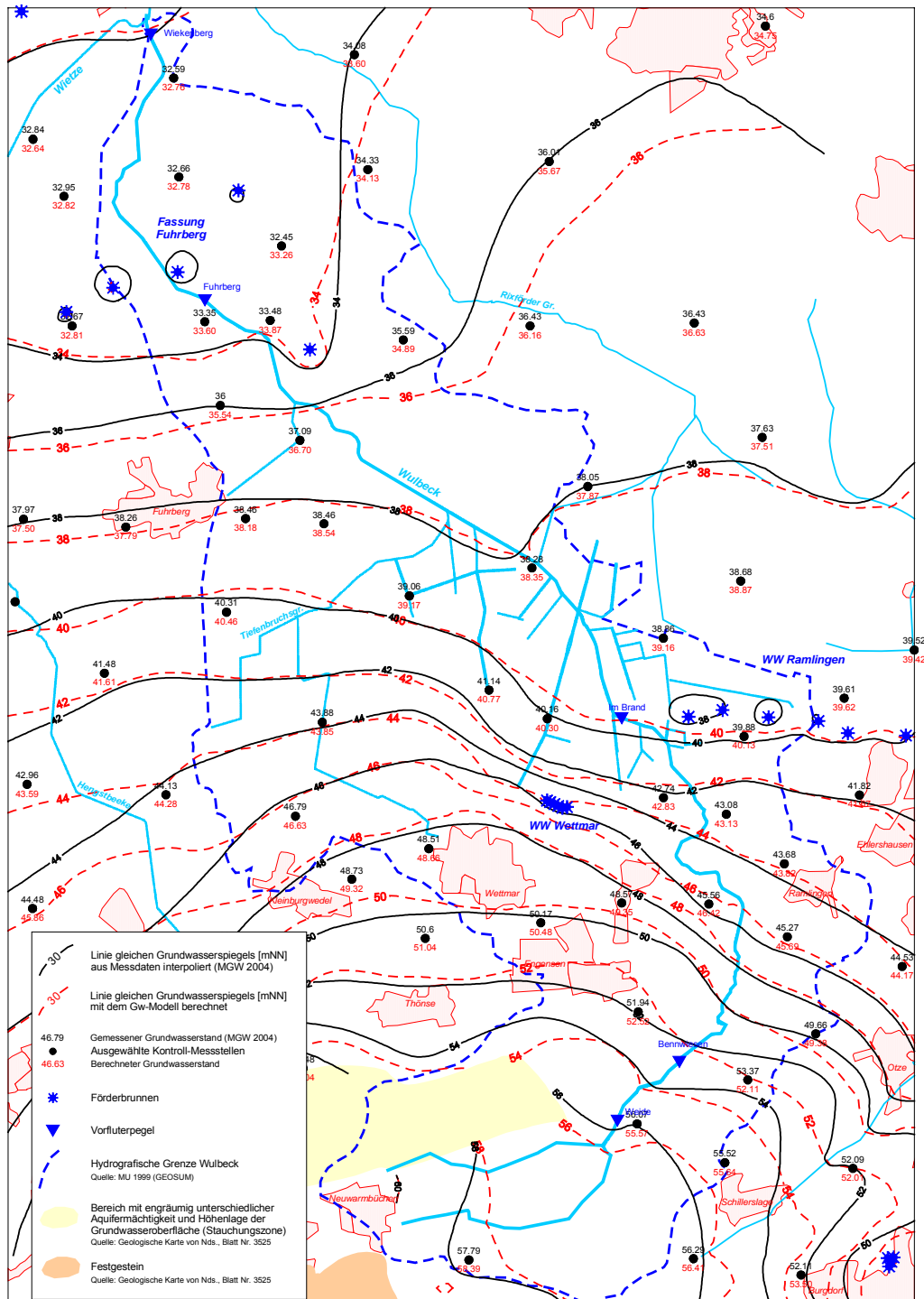


Abb. 6: Vergleich von aus Messdaten interpolierten mit berechneten Linien gleicher Grundwasserspiegel für das Kalenderjahr 2004

Das Kalenderjahr 2004 entspricht in etwa langfristig mittleren Witterungsverhältnissen. Die sich für diesen Zustand ergebenden Ex- und Infiltrationsbereiche in der Wulbeck sind in Anlage 7.1 dargestellt. Durch Aufsummieren der Ex- und Infiltrationsmengen entlang der Wulbeck erhält man den (kumulativen) Basisabfluss (s. Anlage 7.2).

Vergleichszustand: Als Vergleichszustand dient eine (fiktive) Trockenphase, die sich in Sommermonaten einstellen kann. Wie schon weiter oben angedeutet, wird diese Situation stationär nachgebildet. Dazu werden die Randbedingungen (Randpotentiale, Grundwasserneubildung) so eingestellt, dass die Berechnungsergebnisse, also Grundwasserspiegel und grundwasserbürtige Abflüsse, realen Verhältnissen entsprechen (niedrige Grundwasserspiegel sowie grundwasserbürtige Abflüsse, z.T. mit trocken gefallenem Abschnitten, wie für Sommermonate typisch).

Die Ergebnisse für den Vergleichszustand (Ex- und Infiltrationsbereiche, Basisabfluss) sind in den Anlage 8.1 und 8.2 dargestellt.

Die grundwasserbürtigen Abflüsse wurden an die Arbeitsgruppe 'Oberflächengewässer' zur Wasserspiegellagenberechnung mit dem hydrodynamischen Modell übergeben (iterative Vorgehensweise, siehe oben).

4 Auswirkung von Maßnahmen

Untersuchte Maßnahme-Varianten

Zur Ermittlung der Auswirkungen von Einzel-Maßnahmen auf den Basisabfluss (grundwasserbürtiger Abfluss) in der *Wulbeck* wird ein geeichtes numerisches Grundwasserströmungsmodell eingesetzt, das parallel mit einem hydrodynamischen Abflussmodell (Kap. 2) betrieben wird, um damit den vom grundwasserbürtigen Abfluss abhängigen Wasserstand in der *Wulbeck* bestimmen und als Randbedingung in das Grundwassermodell vorgeben zu können (iterativer Abgleich erforderlich, siehe Abschnitt 5). Als Vergleichszustand dient eine Trockenphase mit Niedrigwasserführung in der *Wulbeck* (inkl. trockengefallenem Abschnitt) wie sie in Sommermonaten auftreten kann (s. Anlage 8.2 und Abschnitt 4 – Oberirdisches Gewässersystem).

Aus der Teiluntersuchung 'Grundwasser' wurden drei Einzelmaßnahmen in die Untersuchungen eingebracht:

- I. Sohlabdichtung (s. Abb. 7)
- II. Grundwasserneubildungs-Erhöhung (s. Abb. 8)
- III. Entnahme-Verlagerung (s. Abb. 9).

Unterschiedliche Vorgaben für die Einzel-Maßnahmen ergaben insgesamt 8 Simulationsvarianten. Anlage 9 enthält eine Zusammenstellung und Beschreibung der Maßnahme-Varianten 'Grundwasser'.

Die Auswirkungen werden als Gegenüberstellung der kumulativen Basisabflüsse in der *Wulbeck* ohne und mit Einzel-Maßnahme beschrieben (als Längsschnitt).

Die Auf- und Rückstau-Maßnahmen der Teiluntersuchung 'Oberflächengewässer' mussten gesondert behandelt werden. Bei diesen Maßnahmen wird der Grundwasserspiegel in den Wintermonaten durch den Aufstau in der *Wulbeck* erhöht, d.h. es wird "überschüssiges" Wasser im Grundwassersystem gespeichert und später in den Sommermonaten verzögert in die *Wulbeck* wieder abgegeben. Eine – zu den 'Grundwasser'-Varianten analoge - Simulation mit dem stationären Grundwassermodell ist wegen des hier erforderlichen Speicherterms nicht möglich.

Ergebnisse

Die sich ergebenden (kumulativen) Basis-Abflüsse für die Simulationsvarianten und den Vergleichszustand sind in Anlage 10 dargestellt. Die zugehörigen Wasserspiegel-

lagen wurden mit dem hydrodynamischen Abflussmodell berechnet und sind im Kap. 2 dargestellt und bewertet.

I. Sohlabdichtung

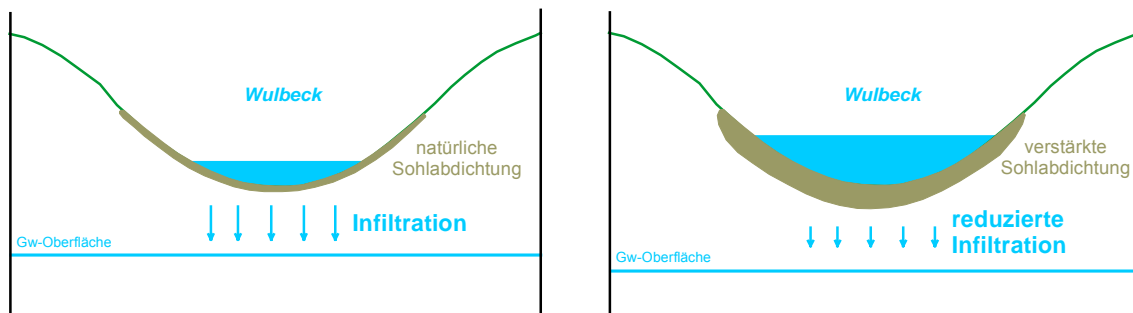


Abb. 7: Prinzipskizze zur Einzel-Maßnahme 'Sohlabdichtung'

Diese Einzel-Maßnahme führt zu einer geringen Reduktion des grundwasserbürtigen Abflusses in einem Bereich vor Beginn der Sohlabdichtung und einer deutlichen Zunahme im Bereich mit Abdichtung. Durch die Sohlabdichtung wird weniger Wasser an das Grundwassersystem abgegeben, so dass sich der Absenkungstrichter infolge Grundwasser-Entnahme des Wasserwerkes 'Fuhrberg' vergrößert und damit den Infiltrationsbereich erweitert. Eine Abdichtung der *Wulbeck*-Sohle im Oberlauf der *Wulbeck* hätte prinzipiell den gleichen Effekt, würde sich aber deutlich weniger auswirken, da die *Wulbeck* hier noch zu wenig Wasser führt, das gehalten werden könnte.

II. Grundwasserneubildungs-Erhöhung

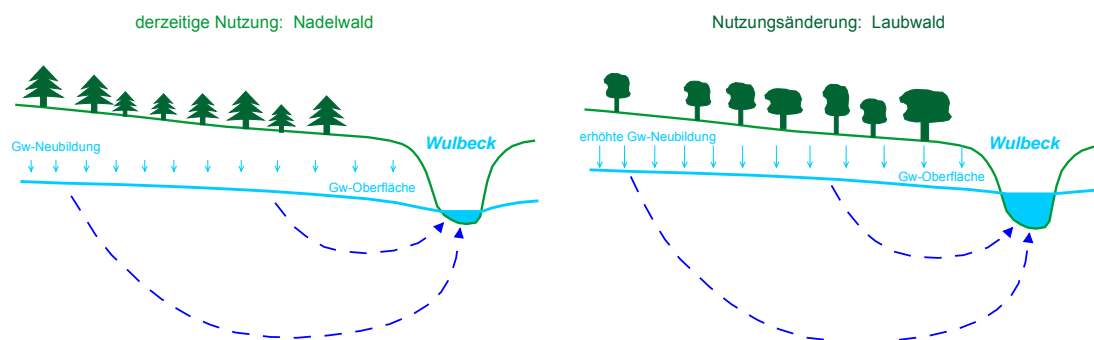


Abb. 8: Prinzipskizze zur Einzel-Maßnahme 'GWN-Erhöhung'

Die Grundwasserneubildungs-Erhöhung durch Waldumbau erzeugt eine bedeutende Erhöhung des Basisabflusses auf der gesamten Strecke der *Wulbeck* bei der Maximalvariante II.2, also Umbau im Bereich aller potentiell zur Verfügung stehender Flächen. Auch die schon durchgeführten Umbau-Maßnahmen ergeben eine geringe Verbesserung, die aber noch nicht signifikant ist (Bei der Simulation wird zudem vorausgesetzt, dass die vollständige Ausbildung des Laub- / Mischwaldes bereits abgeschlossen ist).

III. Entnahme-Verlagerung

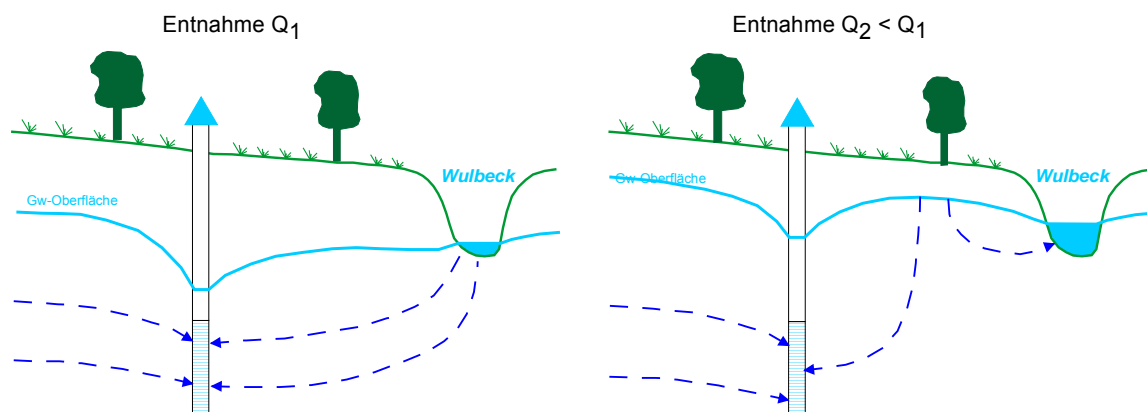


Abb. 9: Prinzipskizze zur Einzel-Maßnahme 'Entnahme-Verlagerung'

Die Entnahme-Verlagerungsvarianten 'Fuhrberg' (III.1 und III.2) zeigen eine deutliche Verbesserung der Niedrigwasserführung in der *Wulbeck*. Allerdings ist ein Trockenfallen der *Wulbeck* bei Umsetzung dieser Einzelmaßnahme weiterhin – auf kürzerer Strecke – wahrscheinlich. Die Ergebnisse aller anderen Varianten dieser Einzel-Maßnahme zeigen nur sehr geringe bzw. keine signifikante Erhöhung des Basisabflusses (Das Ergebnis der Variante III.3.2 'Wettmar' ist gar nicht dargestellt, da die entsprechende Linie deckungsgleich mit der des Vergleichszustandes wäre).

IV. Aufstau der Wulbeck

Zur Einschätzung, ob diese Variante überhaupt Erfolgsaussichten hat, wurde mit dem Grundwassermodell das in den Wintermonaten erreichbare Speichervolumen durch alle untersuchten Aufstau- und Rückstau-Maßnahmen (s. Kap. 3) der *Wulbeck* abgeschätzt. Dazu musste eine Vergleichsvariante, die Wintermonate repräsentiert, berechnet werden. Das Wasservolumen zwischen diesem Vergleichszustand und einem Zustand mit Aufstau (Differenz der entsprechenden Grundwasserspiegelflächen) be-

trägt größenordnungsmäßig 1 Mio. m³. Dies entspricht einem Abfluss in Höhe von 75 l/s für 5 Monate (Mai bis September) bei einer "linear gleichmäßigen" Abgabe an die *Wulbeck*, was eine deutliche Verbesserung bedeuten würde. In der Realität wird aber der Speicher zunächst schnell, dann langsamer entleert. Dieser Prozess kann nur mit instationären Modellen nachgebildet werden.

Bewertung der Ergebnisse

Die Bewertung der Maßnahme-Varianten darf nicht nur die Effizienz bezogen auf die *Wulbeck* berücksichtigen, sondern es muss die Auswirkung auf das gesamte Ökosystem des Grundwasserkörpers betrachtet werden.

Bei der Einzel-Maßnahme Verlagerung von Fördermengen auf andere Brunnen oder Fassungen wurden Auswirkungen in für den Naturschutz sensiblen Gebieten nicht weiter untersucht. So liegen z.B. in den Absenkbereichen der Fassung 'Elze' das Feuchtwaldgebiet *Hellern* (FFH 300) und dem der Fassung 'Berkhof' die Naturschutzgebiete *Blankes Flath* (NSG LÜ 178) sowie Hochmoore bei Wiekenberg (NSG LÜ 177). Auch die Auswirkungen auf den Wasserwerksbetrieb (z.B. Veränderung der Hydrochemie des Rohwassers, Kapazität von Einzelbrunnen oder Rohwasserleitungen) wurden nicht geprüft.

Große Erfolgsaussichten mit gleichzeitig positivem Effekt für den Naturhaushalt hat die Einzel-Maßnahme 'Grundwasserneubildungs-Erhöhung durch Waldumbau'. Nachteil ist die Dauer bis sich der Erfolg einstellt. Bei einer jährlichen Umbauleistung von rd. 200 ha wäre der Umbau bei einer potentiell noch zur Verfügung stehenden Fläche von rd. 4.200 ha (innerhalb der hydrografischen Grenzen der *Wulbeck*, gemäß CORINE LAND COVER 2000) erst in rd. 21 Jahren abgeschlossen. Dazu kommt noch die Zeit bis zur vollständigen Ausbildung der neuen Laub- bzw. Mischwaldbestände.

Ebenfalls guten Erfolg verspricht die Einzel-Maßnahme 'Sohlabdichtung', bei der das schon exfiltrierte Grundwasser in der *Wulbeck* gehalten wird. Hier sind als Nachteile die zusätzlichen Absenkungen im Bereich von Grundwasser-Entnahmen (Ausgleichsreaktion durch das Fehlen des vorher infiltrierten Wassers) und der Eingriff in das Gewässer selbst (Einlegen von Geotextilien, Betonfertigteilen o.ä.) zu nennen.

Auch Aufstaumaßnahmen in der *Wulbeck* sind als aussichtsreich einzustufen, da potentiell im Winter genügend Wasservolumen für die Sommermonate gespeichert werden könnte. Offen bleibt allerdings die Frage, ob dieser Speicher auch ausreichend lange zur Verfügung steht.

Eine zusammenfassende Bewertung der Einzel-Maßnahmen 'Grundwasser' enthält Anlage 11.

Da alle Einzel-Maßnahmen Vor- und Nachteile bieten, liegen die größten Erfolgsaussichten in einer Kombination aus mehreren Einzel-Maßnahmen (s. Kap. 4).

Verwendete Unterlagen und Literatur

- AGWA (2003a): Gewässerentwicklungsplan für die Wulbeck (Region Hannover / Landkreis Celle) – Bestandsaufnahme, Teil 1. Ingenieurgesellschaft agwa GmbH, Hannover, Jan. 2003. Im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG, Hannover.
- AGWA (2003b): Gewässerentwicklungsplan für die Wulbeck (Region Hannover / Landkreis Celle) – Teil 2: Ziel- und Maßnahmenkonzept. Ingenieurgesellschaft agwa GmbH, Hannover, Aug. 2003. Im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG, Hannover.
- AGWA (2005): Einzugsgebiet Wietze – Wasserwirtschaftliche Bestandsanalyse zum Niedrigwasserabfluss (1. Sachstandsbericht). Ingenieurgesellschaft agwa GmbH, Hannover, Dez. 2005. Im Auftrag der Stadtwerke Hannover AG, Hannover.
- BezReg BS (2005): Bestandsaufnahme zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie – Oberflächengewässer, Bearbeitungsgebiet Fuhse/Wietze (C-Bericht). Stand: 22.11.2004). Aufgestellt: Bezirksregierung Braunschweig, Mitarbeit NLWK Betriebsstelle Süd, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- CORINE LAND COVER (2000): Daten zur Bodenbedeckung Deutschland. Umweltbundesamt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum. Ausgabe 2004.
- DÖRHÖFER, G.; JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. – Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 27, Hannover.
- DVGW (DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES e.V.) (2004): Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten. Technische Regel, Arbeitsblatt W 107. Bonn.
- DVWK (1982): Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebots, DVWK Fachausschuß "Grundwassernutzung". – DVWK Schriften, H 58, 2 Teilbände, Berlin – Hamburg (Parey).
- DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU) (1985): Voraussetzungen und Einschränkungen bei der Modellierung der Grundwasserströmung. - Merkblätter Nr. 206, Verlag Paul Parey, Hamburg.
- HARBAUGH & McDONALD (1996): Programmer's documentation for MODFLOW-96, an update to the U.S. Geological Survey modular finite-difference ground-water flow model, USGS Open-File Report 96-486.
- HÖLTING, B. ; COLDEWEY, W.-G. (2005): Hydrogeologie. - Elsevier - Spektrum Akademischer Verlag, München.
- HOFFMANN, B.; MEYER, H.-H. et al. (1980): Untersuchung zur Bestimmung der Auswirkung geplanter Förder- und Anreicherungsmaßnahmen der Stadtwerke Hannover auf die Grundwasserspiegelverhältnisse im Raum Fuhrberger Feld. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau – Universität Hannover. Juli 1980.

- HWW (2006a): Lagepläne, Grundwasser-, Niederschlags-, Entnahme-, Abflussdaten u.ä. – Harzwasserwerke GmbH, Hildesheim.
- HWW (2006b): Grundwassermodell 'Ramlingen/Wettmar', Modellstand 2006. – Harzwasserwerke GmbH, Hildesheim.
- KOSCHEL, H.; LILLICH, W. (1975): Berechnung und Kartendarstellung der Ergiebigkeit von Typbrunnen zur Kennzeichnung des Entnahmepotentials von Lockergesteinsaquifern. - Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Jg. 19, H. 6.
- LANGGUTH, H.-R.; VOIGT, R. (2004): Hydrogeologische Methoden. 2. Auflage. Springer-Verlag.
- LGN (Hannover): Digitales Geländehöhenmodell des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems. Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen, Hannover.
- MAROTZ, G. (1968): Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund. – Schriftenreihe des KWK, H. 18. Hamburg (Wasser und Boden).
- MÜLLER, J. (1996): Beziehungen zwischen Vegetationsstrukturen und Wasserhaushalt in Kiefern- und Buchenökosystemen. – In: Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Nr. 185. Hamburg, Okt. 1996.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland, Zeitraum 1961-1990, 431 S., Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach/Main.
- NLÖ (1998): Hydrologische Landschaften im Raum Niedersachsen, Oberirdische Gewässer 6/98. - Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- NLÖ (2000): Waldbewirtschaftung im Zeichen des Trinkwasserschutzes – Empfehlungen zum Waldbau. - Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim und enercity (Stadtwerke Hannover AG).
- NEUSS, M.; DÖRHÖFER, G. (2000): Hinweise zur Anwendung numerischer Modelle bei der Beurteilung hydrogeologischer Sachverhalte und Prognosen in Niedersachsen. - GeoFakten 8, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- NIEDERSÄCHSISCHER UMWELTMINISTER (1987): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan 'Untere Leine'. - Hannover 1983/1987 (Entwurf).
- NLfB, HANNOVER (1975): Geologische Karte von Niedersachsen (1 : 25.000), Blatt Großburgwedel Nr. 3525. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- NLfB, HANNOVER (1984): Grundwasserneubildungskarte (1 : 200.000), Blatt CC3918 Hannover. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.
- NLfB, HANNOVER (1995): Quartärgeologische Übersichtskarte von Niedersachsen und Bremen 1 : 500 000. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

- NLFb, HANNOVER (2005): Ergebnisse der Bestandsaufnahme zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Betrachtungsraum NI07 – Obere Aller. Bericht 2005 Grundwasser (Stand: 15.07.2004). Aufgestellt: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover und Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- NLWK (2003): Gewässergütebericht Fuhse-Wietze 2003. – Schriftenreihe Band 9. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz, Betriebsstelle Süd.
- RASPER, M. et al. (1991): Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen (25/2). Das Niedersächsische Fließgewässerschutzsystem – Einzugsgebiete von Oker, Aller und Leine. Herausgeber: Niedersächsisches Landesverwaltungsamt – Fachbehörde für Naturschutz.
- REGION HANNOVER (2006): Entnahmedaten der Beregnungsverbände. – Region Hannover, Team 36.09 Gewässerschutz – zentrale Aufgaben.
- SPITZ, K, MORENO, J. (1996): A Practical Guide to Groundwater and Solute Transport Modeling. John Wiley & Sons. Inc., New York.
- STAWA Hildesheim (1997): Wasserbilanz Wulbeck – Eine EDV-unterstützte Vorgehensweise zur Ermittlung einer Wasserbilanz am Beispiel des Einzugsgebietes der Wulbeck. Aufgestellt: StAWA Hildesheim am 18.06.1997.
- STOLBERG, K. (1996): Prüfung von Ansätzen zur Bestimmung einer Bezugsbasis für Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen bei Grundwasserentnahmen. Diplomarbeit. Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau – Universität Hannover.
- SWH (2006a): Lagepläne, Grundwasser-, Niederschlags-, Entnahme-, Abfluss-, Nutzungsdaten u.ä. – Stadtwerke Hannover AG, Hannover.
- SWH (2006b): Grundwassermodell 'Fuhrberger Feld', Modellstand Januar 2006. – Stadtwerke Hannover AG, Hannover.
- WEIßMANN, I. (1995): Ein Konzept zur Renaturierung der Wulbeck unter besonderer Berücksichtigung der Umsetzungschancen – Diplomarbeit. Institut für Landschaftspflege und Naturschutz des Fachbereiches Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung der Universität Hannover.
- WUNDT, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen. – Forsch. Dt. Landeskd. Jg. 104, S. 47-54
- WVHN (2006a): Lagepläne, Grundwasser- und Entnahmedaten. – Wasserverband Nordhannover, Burgwedel.
- WVHN (2006b): Grundwassermodell 'Ramlingen/Wettmar', Modellstand 2006. – Wasserverband Nordhannover, Burgwedel.

Operatives Monitoring und Integrative Mengenbewirtschaftung für den Grundwasserkörper Fuhse-Wietze

Teilprojekt Wulbeck

Kapitel 3

- Grundwasser -

Anlagen

Auftraggeber:

Wasserverband Peine

Horst 6, 31226 Peine

Hemmingen, Juni 2006