

## Geohydraulische Berechnungen des Grundwasserzustroms zur Ise und ihrer Nebengewässer

Sitz der Gesellschaft:  
Grimmelallee 4  
99734 Nordhausen

Geschäftsführer:  
Dr. Volker Ermisch  
Ralf Trapphoff

Telefon 03631 657-0  
Telefax 03631 657400  
info@fugro-hgn.de  
www.fugro-hgn.de

Amtsgericht Jena  
HRB-Nr. 400576

Finanzamt Mühlhausen  
Steuernummer  
157 110 01511  
Ust-IdNr.: DE 150 375 679

Deutsche Bank AG  
Nordhausen  
Konto Nr. 2207 355  
BLZ 820 700 00

Commerzbank Nordhausen  
Konto Nr. 600 64 64  
BLZ 820 400 00

**Auftraggeber:** GERIES Ingenieure GmbH  
Kirchberg 12  
37130 Gleichen-Reinhausen

**Auftragnehmer:** FUGRO-HGN GmbH  
Büro Braunschweig  
Pillmannstraße 10  
38112 Braunschweig  
Tel.: 0531-23 17 03 00  
Fax: 0531-23 17 03 09  
e-mail: braunschweig@fugro-hgn.de

**Bearbeiter:** Dipl.-Geol. Andreas Ogroske  
Dipl.-Ing. Toralf Hilgert

**Kurztitel:** Ise, Strombahnlinien  
**Komm.-Nr.:** 1.18.003.9.4

FUGRO-HGN GmbH

**Bestätigt:** .....  
Dr. Rainer Gellermann  
Niederlassungsleiter

**Datum:** Braunschweig, 05.05.2009

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung .....	3
2	Bearbeitungskonzept .....	3
2.1	Modell und Randbedingungen .....	3
2.2	Herangehensweise der Bearbeitung .....	4
3	Auswertungen und Ergebnisse .....	5
4	Literatur- und Quellenverzeichnis .....	9

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Übersichtskarte Einzugsgebiet der Ise und Strömungsverhältnisse im GWL 1	M 1 : 150.000
Anlage 2:	Modellhafte Fließzeiten des Grundwassers bis zum nächsten Vorfluter (GWL 1 und 2)	M 1 : 150.000
Anlage 3:	Unterirdisches Einzugsgebiet Neudorf-Platendorf und Zustromgebiet aus dem GWL 1	M 1 : 100.000
Anlage 4:	Modellhafte Fließzeiten zur Ise innerhalb des GWL 1	M 1 : 100.000
Anlage 5:	Schnittdarstellungen der Strombahnen	

## 1 Veranlassung

Die GERIES Ingenieure GmbH untersucht Möglichkeiten zur Verminderung des Nährstoffeintrags in die Ise. Als Grundlagenbearbeitung und Zuarbeit hierfür soll eine geohydraulische Berechnung des Grundwasserzustroms zum Fließgewässer Ise und ihrer Nebengewässer auf Basis des durch HGN erstellten Grundwasserströmungsmodells für das Einzugsgebiet der Ise /1/ dienen. Ziel ist es, die für die Abflussbildung relevanten Eintragsflächen hinsichtlich ihrer Fließwege und Fließzeiten identifizieren zu können.

## 2 Bearbeitungskonzept

### 2.1 Modell und Randbedingungen

Mit dem im Jahr 2006 durch HGN mit dem Programmsystem MODFLOW /2/ erarbeiteten dreidimensionalen Grundwasserströmungsmodell Ise liegt eine Bearbeitungsgrundlage vor, mit dem über ergänzende Berechnungen Auswertungen der Fließzeiten und Fließwege im Grundwasser ermöglicht werden können.

Auf eine Dokumentation bzw. nähere Beschreibung des Modells soll an dieser Stelle verzichtet werden. Hierzu wird auf den Bericht /1/ verwiesen. Es erfolgen jedoch einige Hinweise zu den Modellansätzen, die für die Bewertung der vorliegenden Berechnungsergebnisse relevant sind bzw. sein können.

- Das Modellgebiet umfasst mit seiner Gesamtfläche von ca. 1.100 km<sup>2</sup> das oberirdische Einzugsgebiet der Ise sowie insbesondere auch östlich und westlich angrenzende Gebietsteile, um über hinreichend entfernte Modellränder das unterirdische Einzugsgebiet der Ise geohydraulisch zu erfassen. Zu beachten ist, dass das unterirdische Einzugsgebiet bereichsweise vom oberirdischen abweicht.
- Die Modelldiskretisierung erfolgte mit einem Orthogonalraster mit Elementgrößen von 100 m x 100 m.
- Der geologische Aufbau des Gebietes wurde vereinfacht als 3-Schichtmodell berücksichtigt, d.h. es wurden von oben nach unten im Modell realisiert:
  - Grundwasserleiter 1
  - Grundwasserstauer
  - Grundwasserleiter 2
- Die Vorfluter wurden in das Modell als innere Randbedingung 3. Art (DRAIN) in das Modell integriert. Da keine Gewässervermessungen vorlagen, wurden die Vorfluterhöhen auf der Basis von DGM-Geländehöhendaten abzüglich geschätzter Gewässertiefen simuliert.
- Als wesentliche Bilanzengangsgröße für das geohydraulische Modell fanden die vom damaligen NLFb (jetzt LBEG) bereitgestellten Daten der mittleren Grundwasserneubildung aus GROWA 05 Verwendung.
- Die mittleren Brunnenentnahmen des Zeitraumes 1997 bis 2003 gingen als Grundwassernutzungen in das Modell ein.

- Die stationäre Modellanpassung erfolgte anhand der mittleren an den GWMS des Gebietes gemessenen Grundwasserspiegel des Zeitraumes 1997 bis 2003.

Das Ise-Modell fand auftragsgemäß im Modellstand 2006 in der dortigen Auflösung ohne Verfeinerungen und Randbedingungskorrekturen Verwendung. Hieraus resultieren Unsicherheiten für Detailaussagen, so dass flächenscharfe Auswertungen von Fließzeiten nicht zulässig sind. Dieses ist bei der Auswertung der Ergebnisse entsprechend zu beachten.

Die Grundwasserneubildungsdaten nach GROWA 05 stellen bereits eine Korrektur der im Projekt Ise I /3/ verwendeten Werte aus GROWA 98 dar. Die Bilanzbetrachtungen in /1/ zeigen für das Pegelinzugsgebiet Neudorf-Platendorf eine plausible Wasserbilanz, so dass damit geeignete Basisdaten für die Bearbeitung Verwendung fanden.

Anlage 1 zeigt eine Übersicht über die oberirdischen Einzugsgebiete der Ise und des Pegels Neudorf-Platendorf sowie die im Ergebnis der Modellberechnung ermittelten hydrodynamischen Verhältnisse im oberen Grundwasserleiter.

## **2.2 Herangehensweise der Bearbeitung**

Zur großräumigen Berechnung der Grundwasserstrombahnen wurden jeweils in den Mittelpunkten der Modellelemente Startpunkte für eine Berechnung von Fließzeit und Fließweg gesetzt. Das Gebiet für die Startpunkte wurde mit dem Einzugsgebiet des Ise zzgl. eines Saumes von 2 km Breite festgelegt, um auch Teilflächen zu erfassen, die einen Grundwasserzustrom von außerhalb des oberirdischen Einzugsgebietes liefern.

Auf diese Weise wurde modellhaft ein Eintrag auf die GW-Oberfläche (ohne Berücksichtigung der Zeit für die Durchsickerung der ungesättigten Zone) simuliert und anschließend die Fließwege und Fließzeiten bis zur Exfiltration in die Vorfluter (Ise und Nebengewässer) berechnet. Als Abbruchkriterium für die Modellrechnung wurde eine Fließzeit von 10.000 Jahren festgelegt.

Die Auswertung der Fließzeiten erfolgte anschließend rückwärtsgerichtet ausgehend von den Vorflutern, um die Fließzeit bis zum jeweiligen Vorfluter darstellen zu können.

Da hinsichtlich eines Nährstoffeintrages in die Vorfluter neben der Fließzeit vor allem auch Abbau- und Rückhalteprozesse bei der Durchsickerung von bindigen Horizonten eine Rolle spielen, wurde in einer weitergehenden Ergebnisauswertung differenziert, ob ein direkter Abstrom des Grundwassers aus der Neubildung innerhalb des oberen Grundwasserleiters zum Vorfluter erfolgt oder eine Durchsickerung des Stauers mit Transfer im tieferen Grundwasserleiter und Entlastung nach oben in der Bachniederung erfolgt.

### **3 Auswertungen und Ergebnisse**

#### **3.1 Einzugsgebiete, Fließzeiten und grundwasserleiterbezogene Auswertungen**

Die Modellergebnisse wurden digital in einem GIS-Projekt (ArcView) aufbereitet und hinsichtlich der Fließzeiten und der durchströmten Grundwasserleiter ausgewertet.

In Anlage 2 werden die berechneten Fließzeiten im Grundwasser bis zur Infiltration in den nächstgelegenen Vorfluter dargestellt. Diese erste Betrachtung erfolgt unabhängig von den dabei durchströmten Grundwasserleitern, d.h. es sind auch die Gebiete erfasst, in denen die Grundwasserneubildung durch den Stauer in den tieferen Grundwasserleiter 2 erfolgt, sofern dieser im Niederungsbereich wieder in einen Vorfluter entlastet. Außerdem sind auch die Gebiete mit dargestellt, von denen das versickernde Grundwasser in Vorfluter außerhalb des Ise-Gewässersystems abströmt (insbesondere im Osten und Nordosten - siehe Anlage 2).

In der weiteren Auswertung wird in Anlage 3 das unterirdische Einzugsgebiet der Ise für den Pegel Neudorf-Platendorf identifiziert. Entsprechend sind nur die Teilflächen eingefärbt, die aus ihrer Versickerung einen unterirdischen Zustrom zu Vorfluter-Modellelementen im Pegel Einzugsgebiet liefern. Östlich und westlich zeigt sich, dass das unterirdische Einzugsgebiet größer als das oberirdische Einzugsgebiet ist.

Als Besonderheit fällt auf, dass im Nordteil erhebliche Teilflächen, insbesondere im Raum Wittingen, nicht in die dortigen Vorfluter entlasten. Hier wird die Wirkung der Grundwasserentnahme im Wasserwerk Wittingen deutlich. Aus diesen Gebieten erfolgt über die Grundwasserneubildung die Speisung des unteren Grundwasserleiters, aus dem die Brunnen des Wasserwerkes fördern. Da diese Gebiete keinen Abfluss im oberen Grundwasserleiter zu den Vorflutern liefern und die Zusickerungsmenge des unteren Grundwasserleiters im Wasserwerk gefasst wird, erscheinen die Teilflächen in Anlage 3 nicht als Einzugsgebiet des Vorfluters.

Ähnliche Effekte sind auch westlich Hankensbüttel erkennbar, wo die Wasserwerksbrunnen die Speisung des unteren Grundwasserleiters erfassen. Weitere Teilbereiche entlasten in den Elbe-Seitenkanal und entfallen daher aus dem Vorflutereinzugsgebiet.

Anders verhält es sich im Bereich des Wasserwerks Schönewörde. Aufgrund der Position in der Entlastungszone der Niederung wird hier zwar ebenfalls der Zustrom des unteren Grundwasserleiters in den Brunnen erfasst, aber oberflächennah fließt im oberen Grundwasserleiter das Wasser den dortigen Fließgewässern zu. Diese Differenzierung ist ebenfalls aus der Darstellung in Anlage 3 ersichtlich, in der die Flächen eingefärbt sind, die ausschließlich über den oberen Grundwasserleiter den Vorflutern zuströmen (ohne Zwischenpassagen über das tiefere Grundwasserstockwerk). Um die zeitliche Dimension der Grundwasserströmung zu visualisieren, wurde zusätzlich das Gebiet hervorgehoben, aus dem der Zustrom im oberen Grundwasserleiter mit Fließzeiten < 10 Jahre erfolgt.

In Anlage 4 erfolgt eine weitere Abstufung der Fließzeiten zu den Vorflutern. Hierbei wird eine Beschränkung auf den oberen Grundwasserleiter vorgenommen. Damit sind die Grundwasserneubildungsflächen

(Modellrasterelemente), die unmittelbar über den GWL 1 in die Ise und ihre Nebengewässer entlasten, ersichtlich. Mit der farblichen Abstufung werden die Fließzeiten verdeutlicht.

Generell ist darauf hinzuweisen, dass das großräumige Grundwasserströmungsmodell mit Unsicherheiten hinsichtlich punktgenauer Auswertungen verbunden ist. Das Modell gibt eine gute Orientierung über die Fließwege und Fließzeiten zu den Vorflutern, kann aber keine exakte Beziehung zwischen Eintragsfläche und Infiltrationspunkt in die Ise bzw. ihrer Nebengewässer liefern.

### 3.2 Wasserbilanzbetrachtungen

In einer ergänzenden GIS-gestützten Auswertung erfolgten einige Wasserbilanzbetrachtungen zu den Zustromverhältnissen. Es zeigt sich, dass der direkte Zustrom zu den Fließgewässern im Ise-Einzugsgebiet Neudorf-Platendorf ohne Transfer über tiefere Schichten aus ca. 200 km<sup>2</sup> und damit aus etwa 65 % des unterirdischen Einzugsgebietes erfolgt. Die Grundwasserneubildung auf dieser Fläche beträgt gemäß GROWA 05 ca. 25 Mio. m<sup>3</sup>/a (mittlere GWN: 124 mm/a)<sup>1</sup>. In Anbetracht der im gesamten unterirdischen Einzugsgebiet lt. dieser Auswertung abflusswirksamen Grundwasserbildung von ca. 42 Mio. m<sup>3</sup>/a<sup>2</sup> zeigt sich, dass der Basisabfluss am Pegel Neudorf-Platendorf mehr als zur Hälfte durch den Zustrom im oberen Grundwasserleiter gebildet wird.

Die mittleren Fließzeiten im oberen Grundwasserleiter bis zur Exfiltration in die Vorfluter betragen ca. 55 Jahre. Demgegenüber liegen die mittleren Fließzeiten bei Transfer über den unteren Grundwasserleiter im Mittel bei fast 1.000 Jahren. Für das Gesamteinzugsgebiet ergibt sich eine mittlere Verweilzeit im Grundwasser von ca. 370 Jahren (unabhängig von den durchströmten Grundwasserleitern).

Beschränkt man sich in der Betrachtung auf die kurzzeitig verweilenden Grundwässer mit Fließzeiten  $\leq 10$  Jahre, zeigt sich eine mittlere Grundwasserneubildung von ca. 10 Mio. m<sup>3</sup>/a auf einem Einzugsgebiet von ca. 100 km<sup>2</sup>. Dieses Einzugsgebiet befindet sich erwartungsgemäß im Nahbereich der Vorfluter, wobei dieses im Mittel von einem Streifen von ca. 500 m beiderseits der Vorfluter gebildet wird (siehe Anlage 3).

In Tabelle 3-1 sind die ausgewerteten Daten nochmals zusammengestellt, wobei darauf hinzuweisen ist, dass es sich bei den Bilanzbetrachtungen nur um orientierende Auswertungen und nicht um echte Modellbilanzen (wie in /1/) handelt.

---

1 In der Berechnung werden nur die Modellzellen erfasst, die einen Zustrom zum Vorfluter aufweisen. Sofern der berechnete Zustrom in Brunnen endet, werden diese nicht erfasst. Insofern stellt die resultierende Bilanzmenge bereits den entnahmekorrigierten Zufluss zum Vorfluter dar.

2 Modellzellen mit Fließzeiten > 10.000 Jahren und Brunnenzuflüsse (siehe Fußnote 1) werden nicht erfasst, daher reale abflusswirksame Neubildung höher.

Tabelle 3-1: Abflusswirksame Grundwasserneubildung für Teileinzugsgebiete lt. Modellberechnung

	<b>unterirdisches Einzugsgebiet Neudorf-Platendorf gesamt</b>	<b>unterirdisches Einzugsgebiet Neudorf-Platendorf GWL 1</b>	<b>unterirdisches Einzugsgebiet Neudorf-Platendorf GWL 1 ≤ 10 Jahre</b>
Zustromfläche lt. Modell	303,1 km <sup>2</sup> *	200,4 km <sup>2</sup> *	97,6 km <sup>2</sup> *
mittlere Grundwasserneubildung	139,8 mm/a	124,2 mm/a	103,2 mm/a
Summe abflusswirksame Grundwasserneubildung im EZG	42,37 Mio. m <sup>3</sup> /a (unsicher, vermutlich ca. 10 % höher /1/)	24,89 Mio. m <sup>3</sup> /a	10,07 Mio. m <sup>3</sup> /a
mittlere Fließzeit	370 a	54,8 a	

\* modellhafte Zustromgebiete zu den Vorflutern ≤ 10.000 Jahre

### 3.3 Wasserbilanzbetrachtungen

Zur Verdeutlichung der Strömungsverhältnisse wurden ergänzend vertikale Schnittdarstellungen unmittelbar aus den Modellberechnungen erstellt. Um die unterschiedlichen hydrogeologischen Standortssituationen abzubilden, wurden drei Schnitte ausgewählt, die die typischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes repräsentieren sollen. Da die Strombahnen nicht unmittelbar auf den Schnittpuren verlaufen, wurden diese aus dem dreidimensionalen Modell auf die Schnittebene projiziert. Die Darstellungen verdeutlichen ausschließlich die Strömungsrichtungen und geben keine mengenbezogene Aussagen zur Durchströmung.

Schnitt 1 schneidet die Ise in ihrem nördlichen Teil bei Stöcken nördlich Wittlingen. Hydrogeologisch befindet man sich hier in einem Speisungsgebiet, d.h. die Ise entlastet nur den oberflächennahen Grundwasserleiter und es überwiegt eine (langsame) Durchsickerung des mächtigen Stauerhorizontes zur Speisung des unteren Grundwasserleiters. Südlich der Ise wird im Schnitt 1 die Wirkung der Wasserwerksbrunnen Wittlingen deutlich, welches die Strombahnen im unteren Grundwasserleiter in südliche Richtung lenkt.

Schnitt 2 erfasst den Nordwestteil des Untersuchungsgebietes und stellt den Bereich zwischen dem Speisungsgebiet westlich Hankensbüttel und der Ise am Ostrand des Schnittes dar. Die Grundwasserneubildung der Hochfläche im Westen strömt einerseits im oberen Grundwasserleiter und andererseits nach Durchsickerung des Stauerhorizontes auch im unteren Grundwasserleiter nach Osten ab. Östlich Hankensbüttel nimmt der Emmer Bach einen Teilstrom des oberen Grundwasserleiters auf. Da das Grundwassergefälle nach Osten weiterführt, handelt es sich im Wesentlichen um einen einseitigen Zustrom von Westen. Die östlich gelegene Ise erhält demgegenüber einen beidseitigen Zustrom aus dem oberen Grundwasserleiter von Osten und Westen. Die Entlastungswirkung der Ise für den unteren Grundwasserleiter ist hier nur sehr untergeordnet ausgeprägt (Strombahn von unten nach oben).

Schnitt 3 im Südteil des Gebietes repräsentiert sehr deutlich den Wechsel zwischen Speisungs- und Entlastungsgebieten durch Stauerschichten hindurch. Im Osten und Westen erfolgt die Speisung des

unteren Grundwasserleiters über die Durchsickerung des Geschiebemergels, wobei im Ostteil ein Teil des Abstroms im oberen Grundwasserleiter durch die Riet als Vorfluter aufgenommen und abgeführt wird. Im zentralen Niederungsbereich der Ise bei Wahrenholz nimmt die Ise den Zustrom des oberen Grundwasserleiters von beiden Seiten auf. Die oberflächennahen Grundwasserspiegel liegen in der Niederung unterhalb des Druckpotenzials im unteren Grundwasserleiter, so dass durch den Geschiebemergel entsprechend der Durchlässigkeitsbeiwerte eine Wasserbewegung und damit Druckentlastung von unten nach oben erfolgt und Wasser in die Ise und ihre Nebengewässer abführt.

#### **4 Zusammenfassung**

Unter Verwendung des Grundwasserströmungsmodells für das Einzugsgebiet der Ise wurden Strombahnlinienberechnungen ausgeführt, mit denen der unterirdische Zustrom zum Gewässersystem der Ise abgebildet wurde. Die Fließzeiten im Grundwasser zwischen Grundwasserneubildung und Entlastung in die Vorfluter wurden aus der Modellberechnung überschlägig ermittelt.

Für die im Weiteren vorgesehene Untersuchung von Möglichkeiten zur Verminderung des Nährstoffeintrags in das Fließgewässersystem war es von besonderer Bedeutung, die Flächen zu identifizieren, die ausschließlich über den oberflächennahen Grundwasserleiter den Vorflutern ohne Passage des tieferen Grundwasserstockwerks zufließen. Über die zeitliche Auflösung der Fließbewegung im Grundwasser konnten die besonders relevanten Eintragsflächen des oberen Grundwasserleiters, die bereits nach kurzer Grundwasserpassage in die Fließgewässer infiltrieren, identifiziert werden.

Ergänzende Wasserbilanzbetrachtungen zeigen, dass der grundwasserbürtige Basisabfluss am Ise-Pegel Neudorf-Platendorf mehr als zur Hälfte durch den Zustrom des oberen Grundwasserleiters bei mittleren Fließzeiten um 50 Jahre gebildet wird. Der Zustrom mit Verweilzeiten im Grundwasser < 10 Jahre erfolgt im wesentlichen aus einem Streifen von ca. 500 m beiderseits der Vorfluter und umfasst ca. 25 % des Basisabflusses an der Pegelstation.

Insgesamt ist einzuschätzen, dass mit der Modellberechnung die hydrogeologischen Systemzusammenhänge gut verdeutlicht werden konnten. Für flächenscharfe Detailaussagen ist das Modell in der vorliegenden Auflösung jedoch nicht geeignet.

.....  
Dipl.-Geol. Andreas Ogroske  
Projektleiter

## 5 Literatur- und Quellenverzeichnis

- /1/ Geohydraulische Modellierung zur Untersuchung von Möglichkeiten zur schonenden Grundwasserbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Ise. - HGN Hydrogeologie GmbH, 11.12.2006
- /2/ MODFLOW - a modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model), U.S: Geological Survey, 1988 / Processing Modflow pro, Version 7.0.18, Integreted Environmental Services Inc., 2003
- /3/ Erforschung von Grundlagen zur schonenden Grundwasserbewirtschaftung im Einzugsgebiet der Ise. HGN Hydrogeologie GmbH, 11.04.2003