

**Vereinigte Mulde, rechts, östlicher  
Ringschlussdeich Gruna  
Grundwassermodellierung**

**2. Zwischenbericht:  
Erkundungsarbeiten und Modellprognosen**

Süptitzer Weg 28A  
04860 Torgau

Geschäftsführer:  
Ralf Trapphoff (Vorsitz)  
Dr. Uta Alisch  
Dr. Rolf Balthes  
Dr. Volker Ermisch  
Wolfgang Müller

Tel.: 0351 31880-0  
Fax: 0351 3188028  
fugro@fugro.de  
www.fugro.de

AG Berlin-Charlottenburg  
HRB 134082 B  
Ust.-IdNr.: DE 150 375 679

Deutsche Bank AG  
Konto-Nr. 960 300 2  
BLZ 100 700 00

IBAN: DE83 1007 0000 0960 3002 00  
SWIFT/BIC: DEUTDE33XXX

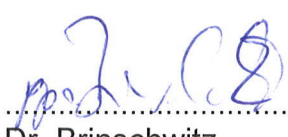
**Auftraggeber:** Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen  
Betrieb Elbaue / Mulde / Untere Weiße Elster  
Gartenstraße 34  
04571 Rötha

**Auftragnehmer:** Fugro Consult GmbH  
Süptitzer Weg 28A  
04860 Torgau

**Bearbeiter:** Dipl.-Geol. K. Brinschwitz  
Dipl.-Ing. H. Mrozik  
Dipl.-Geoph. F. Meier

**Kurztitel:** Gruna\_Ringdeich\_1.22.036.1.4

**KT-Nr.:** 1.22.036.1.4  
Fugro Consult GmbH

**Bestätigt:**   
Dr. Brinschwitz  
Geschäftsbereichsleiter Wasser

**Datum:** Torgau, den 28.03.2012

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung .....	5
2	Hydrologische und hydrogeologische Standortbedingungen .....	6
3	Erkundungsarbeiten .....	7
3.1	Geophysikalische Untersuchungen .....	7
3.1.1	Methodisches Konzept .....	7
3.1.2	Feldarbeiten .....	8
3.2	Rammkernsondierungen .....	9
3.3	Durchführung von Sieb-/Schlämmanalysen zur Bestimmung der Durchlässigkeiten .....	9
4	Auswertung der Feld- und Laborarbeiten .....	10
4.1	Generelle Beschreibung .....	10
4.2	Schlussfolgerungen für die Grundwassermodellierung .....	11
5	Geohydraulische Modellierung .....	11
5.1	Eingangsdaten für die Modellerstellung .....	11
5.2	Simulationsverfahren .....	11
5.3	Geometrischer und geologischer Modell Aufbau .....	12
5.4	Äußere und innere Randbedingungen .....	14
5.5	Grundwasserneubildung .....	14
5.6	Modellkalibrierung .....	15
6	Prognoserechnungen .....	17
6.1	Allgemeine Prognoseannahmen .....	17
6.2	Variantengestaltung .....	19
6.3	Berechnungsergebnisse .....	20
7	Aufbau Messnetz .....	21
7.1	Oberflächenwassermessstelle .....	21
7.2	Grundwassermessstellen .....	22
8	Zusammenfassung .....	22
9	Literatur- und Quellenverzeichnis .....	24

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Eingesetzte Technik .....	8
Tabelle 3-2: kf-Wert-Bestimmung aus den Kornverteilungskurven .....	9
Tabelle 5-1: Klimadaten Station Leipzig-Schkeuditz .....	15
Tabelle 5-2: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegelhöhen des Ausgangszustandes .....	17
Tabelle 6-1: Leakagkoeffizient für das Überschwemmungsgebiet .....	19

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messwerterfassung mit 75-Elektrodenarray in Gruna .....	8
Abbildung 2: Profilauslage .....	9
Abbildung 3: Korrelation spezifischer elektrischer Widerstand – Lithologie .....	10
Abbildung 4: Lage des Detailmodells im Großraummodell .....	13
Abbildung 5: Modellabweichung .....	16
Abbildung 6: Zeitliche Entwicklung der Wasserstände der Mulde im Bereich der Südseite des Ringdeiches .....	18
Abbildung 7: OWM in der Mulde .....	22

## Anlagenverzeichnis

1	Übersichtsplan	Maßstab 1 : 16.000
2	Digitales Geländemodell	Maßstab 1 : 16.000
3	kf-Wertverteilung	Maßstab 1 : 16.000
4	Quartärbasis	Maßstab 1 : 16.000
5	Maximale Grundwasserstände	
5.1	Maximale Grundwasserstände – ISTzustand 1a	Maßstab 1 : 3.300
5.2	Maximale Grundwasserstände – ISTzustand 1b	Maßstab 1 : 3.300
5.3	Maximale Grundwasserstände – Planzustand 1a	Maßstab 1 : 3.300
5.4	Maximale Grundwasserstände – Planzustand 1b	Maßstab 1 : 3.300
6	Minimaler Flurabstand	
6.1	Minimaler Flurabstand – ISTzustand 1a	Maßstab 1 : 3.300
6.2	Minimaler Flurabstand – ISTzustand 1b	Maßstab 1 : 3.300
6.3	Minimaler Flurabstand – Planzustand 1a	Maßstab 1 : 3.300
6.4	Minimaler Flurabstand – Planzustand 1b	Maßstab 1 : 3.300
7	Grundwasserstandsdifferenzenplan (Planzustand 1a minus Planzustand 1b)	Maßstab 1 : 3.300
8	Schichtenverzeichnisse der Rammkernsondierungen	
9	Ergebnisse der Siebanalysen	
10	Geophysikalische Erkundung	
10.1	Lageplan Messgebiet	Maßstab 1 : 10.000
10.2	Profilschnitte spezifischer elektrischer Widerstand - Profile 1, 2a, 2b	Maßstab 1 : 1.500
10.3	Profilschnitte spezifischer elektrischer Widerstand - Profile 3a, 3b, 4, 8	Maßstab 1 : 1.500
10.4	Profilschnitte spezifischer elektrischer Widerstand - 5, 6, 7a –c	Maßstab 1 : 1.500
10.5	Methodenbeschreibung Elektrische Widerstandstomographie (ERT)	
11	Lageplan der Neuaufschlüsse Messnetz Gruna	Maßstab 1 : 10.000
12	Schichtenverzeichnisse / Ausbaudokumentation der Grundwassermessstellen	
12.1	LTV-Gruna-GWMS 1	
12.2	LTV-Gruna-GWMS 2	
12.3	LTV-Gruna-GWMS 3	

## 1 Veranlassung

Die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Betrieb Elbaue/Mulde/Untere Weiße Elster, plant die Errichtung eines Ringdeiches um die Ortslage Gruna. Mit der Untersuchung der Auswirkungen der geplanten Hochwasserschutzmaßnahme auf die Grundwasserverhältnisse wurde die FUGRO Consult GmbH beauftragt.

Der Auftrag beinhaltet eine hydrogeologische Detailuntersuchung, mit der festgestellt werden soll, ob der geplante Ringdeich mit einem Binnenentwässerungssystem kombiniert werden muss, um die Ortslage Gruna vor hohen Grundwasserständen zu schützen. Eingebunden in die Untersuchung ist der Aufbau eines numerischen geohydraulischen Modells, mit dessen Hilfe die zeitliche Reaktion des Grundwasserleiters auf ein Hochwasserereignis der Mulde als auch der zu erwartende maximale Grundwasserstand im Bereich der Bebauung prognostiziert werden soll.

Im Rahmen des 1. Zwischenberichtes zum Vorhaben [1] wurde eine Defizitanalyse zur Klärung der vorhandenen Datenlage zur Modellerstellung durchgeführt. Zusätzlich wurde im Rahmen der Bestandserfassung ein Monitoringprogramm/ -messnetz vorgeschlagen, um die zeitlich variablen Strömungsbedingungen im potentiellen Modellgebiet ausreichend genau erfassen zu können.

Auf der Projektbesprechung am 25.11.2011 wurden die Ergebnisse des 1. Zwischenberichtes zur Erstellung des Grundwassermodells der LTV vorgestellt. Im Ergebnis der Beratung wurde folgendes Erkundungsprogramm zur Schließung vorhandener Kenntnislücken festgelegt:

- Geoelektrische Erkundung des Untersuchungsgebietes zur Ermittlung der Auelehmverbreitung
- Abteufen von Rammkernsondierungen zur Verifizierung der Geoelektrik
- Durchführung von Sieb-/Schlämmanalysen zur Bestimmung der Durchlässigkeiten des Auelehms
- Errichtung von 3 Grundwassermessstellen und Ausrüstung mit Datenloggern
- Errichtung einer Oberflächenwassermessstelle in der Mulde bei Gruna
- Grund- und Oberflächenwasserstandsmessungen (Stichtagsmessungen) im monatlichen Rhythmus, Überführung der Messergebnisse in eine Datenbank, Auswertung der Wasserstandsmessungen.

Der vorliegende 2. Zwischenbericht enthält die Dokumentation und Auswertung der Feld- und Laborarbeiten zur Ermittlung der Auelehmverbreitung sowie die Ergebnisse der geohydraulischen Modellierung.

## 2 Hydrologische und hydrogeologische Standortbedingungen

Das Untersuchungsgebiet liegt im Muldetal und wird von der Mulde und dem Ziegengraben entwässert. Im Grenzgebiet zwischen Muldetal und Hochfläche bildeten sich schützenswerte Vernässungsflächen (Naturschutzgebiet) heraus, die vorrangig von austretenden Grundwässern gespeist werden. Weiterhin sind im Untersuchungsgebiet Mulden-Altarme (Mäanderschlaufen) erkennbar, die vermutlich Vertorfungen und flurnahe bis flurgleiche Grundwasserstände aufweisen.

Das vorherrschende geologische Leitprofil ist durch quartäre Ablagerungen mit Mächtigkeiten von > 10 m gekennzeichnet. Darunter folgen die tertiären Schichten des Miozäns. Aus [2] lässt sich folgendes Aufschlussprofil vom Hangenden zum Liegenden ableiten:

1. Oberboden (Feinsand, schluffig, schwach humos, durchwurzelt)  $\approx 0,3$  m mächtig
2. Auelehm (sandige Schluffe, z.T. tonig) z.T. 1,0 bis 3,0 m mächtig
3. Fluviale und fluvioglaziale Sande (Fein- und Mittelsande, z.T. schwach schluffig) 0,0 bis 4,0 m mächtig
4. Muldekiese (weitgestufte sandige Kiese) bis 10 m mächtig

Das Gelände liegt bei ca. 92 bis 93 mNHN. Die Quartärbasis ist im Modellraum auf einem Niveau von ca. 82 mNHN zu erwarten. Eine Grundwasserstockwerkstrennung ist innerhalb der quartären Ablagerungen vermutlich nicht vorhanden. Im flussnahen Bereich treten unterhalb des Auelehms gespannte bis halbgespannte Grundwasserströmungsbedingungen auf.

Im Bereich der Ortschaft Gruna wird das Grundwasserströmungsregime vorrangig von der Mulde geprägt. Dabei ist zwischen influenten (Vorfluter speist den Grundwasserleiter) und effluenten (Aufnahme von Grundwasser durch den Vorfluter) Speisungsverhältnissen zu unterscheiden. Bei Mittelwasser, d.h. effluenten Speisungsverhältnissen, ist die Grundwasserfließrichtung streng zur Mulde gerichtet (West). Bei Hochwasser der Mulde ändert sich jedoch die Grundwasserfließrichtung gravierend - dann dringt ein verstärkter Uferfiltratanteil in den Grundwasserleiter ein und die Grundwasserströmung richtet sich nach Osten aus.

Bei einem extremen Hochwasserereignis wird der Ringdeich in Gruna vollständig von der Mulde umschlossen. Je nach Scheitelhöhe und Dauer des Hochwasserverlaufs bildet sich innerorts eine Grundwasserpotentialsenke heraus, die sich während des Hochwasserereignisses sukzessive mit Uferfiltrat auffüllt. Die „Auffüllgeschwindigkeit“ und die sich daraus ergebenden maximalen Grundwasserstände sind sowohl von der Hochwasserform (Scheitelhöhe, Dauer des Hochwasserverlaufs) und den geohydraulischen Parametern des Grundwasserleiters (kf-Wert, Speichergrößen) als auch von der hydraulischen Kommunikation zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser abhängig. Eine flächendeckende und mehrere Meter mächtige Auelehmschicht schränkt die hydraulische Kommunikation erheblich ein, so dass sich für die Bebauung u.U. unkritische maximale Grundwasserstandshöhen ergeben können. Weist die Auelehmschicht hingegen größere Fehlstellen auf bzw. ist sie sehr sandig ausgebildet, ist ein ungehinderter Uferfiltratzufluss in den Grundwasserleiter möglich. Die Folge sind sehr hohe Grundwasserstände innerhalb der Ortschaft. Der Schutz der Bebauung vor hohen Grundwasserständen muss dann durch eine ausreichend dimensionierte Binnenentwässerung gewährleistet werden.

### **3 Erkundungsarbeiten**

#### **3.1 Geophysikalische Untersuchungen**

Im Ergebnis der Defizitanalyse [1] wurde festgestellt, dass sich aus der räumlichen Verteilung der vorliegenden Bohrungsdaten nur eingeschränkt die Ausbildung einer schützenden Auelehmschicht im Bereich der Polderfläche und der Ortslage ableiten lässt. Von der Mächtigkeit und Verbreitung der Auelehmschicht hängt jedoch ab, ob bei einem extremen Hochwasserereignis der Mulde für die Ortslage Gruna eine Binnenentwässerung mit Pumpwerk erforderlich wird. Ist der Auelehm im Polderbereich mit größerer Mächtigkeit und geringer Durchlässigkeit flächenhaft verbreitet, vermindert sich die Infiltration in den Grundwasserleiter und die Grundwasserstände erreichen keine kritischen Höhen. Ist der Auelehm jedoch sehr sandig und mit größeren Fehlstellen ausgebildet, dringt während eines Hochwasserereignisses der Mulde ein hoher Anteil an Uferfiltrat in den Grundwasserleiter ein und lässt die Grundwasserstände in der Ortschaft innerhalb kürzester Zeit ansteigen.

Für eine belastbare Prognose als Planungsgrundlage wurde deshalb die Untersuchung der Verbreitung und Ausbildung des Auelehms mittels einer flächenhaften geophysikalischen Erkundung (Elektrische Widerstandstomographie) durchführt.

##### **3.1.1 Methodisches Konzept**

Es wurden geoelektrische Sondierungskartierungen mit anschließender tomographischer Inversion – sog. Widerstandstomographie – durchgeführt. Dabei werden entlang von Profillinien Multielektrodenaufstellungen realisiert. An jeweils zwei Elektroden (Stromelektroden) wird Strom in den Untergrund eingespeist, an zwei weiteren Elektroden (Potenzialelektroden) wird die sich aufbauende Spannung und somit der Ohmsche Widerstand gemessen. Durch die Verwendung von Multielektrodenanordnungen werden so viele 4-Elektrodenanordnungen wie möglich hintereinander gemessen. Durch Veränderung der Elektrodenabstände werden unterschiedliche Eindringtiefen realisiert. Auf diese Weise erhält man eine Vielzahl an Widerständen, bzw. unter Berücksichtigung des Geometriefaktors  $K$  an scheinbar spezifischen Widerständen. Durch tomographische Inversionsalgorithmen werden nun aus diesen scheinbaren spezifischen Widerständen „tatsächliche“ spezifische Widerstände berechnet, d.h. man erhält eine 2-dimensionale Verteilung des spezifischen Widerstandes entlang der Profillinien. Eine detailliertere und anschaulichere Beschreibung des Verfahrens enthält Anlage 10.5.

Der spezifische elektrische Widerstand ist eine materialspezifische Größe. Man kann aus der Verteilung selbiger unter Zuhilfenahme von tatsächlichen Aufschlüssen und der Kenntnis der regionalen Bedingungen die geologische Situation interpretieren. Dies genau ist der Grund für die geoelektrischen Untersuchungen. Ziel ist, aus diesen die Beschaffenheit des anstehenden Materials flächenhaft näher zu beschreiben und somit wichtige Ausgangsgrößen für die Grundwassermodellierung zu geben.

### 3.1.2 Feldarbeiten

Die Feldarbeiten wurden im Dezember 2011 und Januar 2012 realisiert. Dabei wurde die in Tabelle 3-1 aufgeführte Technik eingesetzt.

Tabelle 3-1: Eingesetzte Technik

	ERT	Vermessung
<b>Registrier-Apparatur:</b>	Geotom – Multielektrodenapparatur (Geolog GbR)	Trimble RTK 5800 (Trimble)
<b>Mess-System:</b>	4 x Multielektrodenkabel (je 25 Takeouts), 100 Erdspeie (Elektroden)	GPS-Empfänger zu RTK 5800 (Trimble)
<b>Mess-Software:</b>	Geotom2000 (Geolog GbR)	Geräteinterne Software
<b>Mess-Geometrie:</b>	Wenner, minimales Spacing 1m	-/-

Es wurde mit einem Elektroden-Array von 75 Elektroden und einem Elektrodenabstand von 1 m gearbeitet. Der Messfortschritt wurde nach dem „roll-along“-Prinzip erreicht. Dabei wird bereits während der Messung einer Auslage die vorhergehende abgebaut und die folgende aufgebaut, wobei mit einer Überlappung von jeweils 25 Elektroden gemessen wird. Abbildung 1 zeigt die Messwerterfassung bei einer 75-Elektrodenauslage, wie sie in Gruna realisiert wurde.

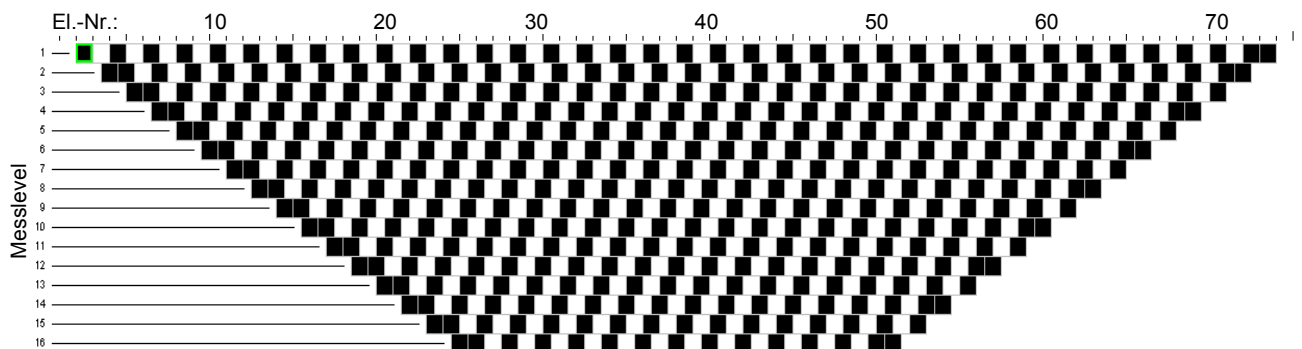


Abbildung 1: Messwerterfassung mit 75-Elektrodenarray in Gruna

Es wurden 16 Level gemessen. Das entspricht einem maximalen Abstand der Stromelektroden von  $AB = 48 \text{ m}$ , wodurch eine Eindringtiefe von ca. 8 m erreicht wurde. Dies diente der Erbringung sicherer Aussagen bis zu einer Erkundungstiefe von 6 m.

Insgesamt wurden 12 Geoelektrik-Profile mit einer Gesamtlänge von 5.500 m vermessen. Die Profile wurden so angelegt, dass eine möglichst gute Verteilung der Informationen über die Ortslage und die geplante Deichanlage erreicht wird. Dabei musste der aktuellen Bebauung und der Zugänglichkeit der einzelnen Teilflächen Rechnung getragen werden. Die Profilanlage ist in Anlage 10.1 dargestellt.



Die lagemäßige Erfassung erfolgte mit Trimble GPS im Koordinatensystem UTM Zone 33 bezogen auf das WGS84-Ellipsoid. Anschließend wurden die Koordinaten in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem (RD 83, 4. Streifen bezogen auf Bessel-Ellipsoid, Lagestatus 110) transferiert. Alle lagemäßigen Darstellungen wurden in diesem System realisiert.

Die Rohdatenqualität der Geoelektrikmessung war sehr gut (Standardabweichung < 1 %). Die Inversion der Daten wurde mit der Software RES2DINV<sup>®</sup> durchgeführt. Die Anpassungsfehler (RMS-Fehler) der Inversionsergebnisse betrugen zwischen 3 % und 5 %. Die Ergebnisse des Inversionsprozesses sind somit als gut einzustufen.



Abbildung 2: Profilauslage

### 3.2 Rammkernsondierungen

Zur Eichung der geophysikalischen Profile wurden zusätzlich 12 Rammkernsondierungen (RKS) mit einer Endteufe von jeweils 3 m abgeteuft und gleichzeitig gestörte Bodenproben zur Durchführung von Sieb-/Schlammanalysen entnommen. Die Ansatzpunkte der RKS sind der Anlage 10.1 zu entnehmen. Die Dokumentation der Schichtenverzeichnisse und Probenahmebereiche enthalten die Anlagen 8.1 – 8.12.

### 3.3 Durchführung von Sieb-/Schlammanalysen zur Bestimmung der Durchlässigkeiten

Zur Ermittlung der hydraulischen Durchlässigkeiten des Auelehms wurden an den gewonnenen Bodenproben Sieb-/Schlammanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anlage 9 dokumentiert.

Tabelle 3-2 enthält eine Übersicht zur kf-Wert-Bestimmung aus den Kornverteilungskurven.

Tabelle 3-2: kf-Wert-Bestimmung aus den Kornverteilungskurven

RKS	Lithologie	d <sub>w</sub>	d <sub>10</sub>	d <sub>30</sub>	d <sub>60</sub>	U	k <sub>f</sub> -Wert [m/s]
1	fS, u	0,259	--	0,081	0,324	--	7,78E-04
2	fS-U	0,032	0,009	0,026	0,120	14,02	1,19E-05
3	fS, u	0,074	0,062	0,083	0,161	2,58	6,35E-05
4	fS-U	0,030	0,005	0,035	0,137	28,27	1,04E-05
5	fS,u	0,039	0,005	0,055	0,131	25,63	1,76E-05
6	fS-U	0,020	--	0,015	0,092	--	4,64E-06
7	fS, u	0,050	0,021	0,065	0,135	6,31	2,90E-05
8	fS,gu,fu'	0,047	0,031	0,052	0,110	3,52	2,56E-05
9	fS, u	0,038	0,007	0,051	0,115	16,69	1,68E-05
10	fS, u	0,038	0,005	0,055	0,151	30,29	1,68E-05
11	S, u	0,057	0,017	0,118	0,189	11,05	3,77E-05
12	fS-U	0,030	0,004	0,029	0,133	37,84	1,04E-05

## 4 Auswertung der Feld- und Laborarbeiten

### 4.1 Generelle Beschreibung

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in den Anlagen 10.2 bis 10.4 dargestellt. Die ermittelten Widerstände reichen von ca. 30  $\Omega\text{m}$  bis zu mehreren 1000  $\Omega\text{m}$ . Dies sind insgesamt hohe Widerstände, die sich jedoch mit den geoelektrischen Untersuchungen der GGL [3] im Messgebiet decken. Gewöhnlich repräsentieren diese Widerstände in unseren mitteldeutschen quartären Ablagerungen schluffiges (30 – 100  $\Omega\text{m}$ ) bis sandiges (70 – 500  $\Omega\text{m}$ ) und dann schon kiesiges (>500  $\Omega\text{m}$ ) Material.

Im Messgebiet Gruna kann an Hand der abgeteufte Rammkernsondierungen (RKS), der geologischen Ansprache und der aus den Proben bestimmten Kornverteilungskurven (Anlage 9) folgende lithologische Gliederung mit der ermittelten Widerstandsverteilung korreliert werden.

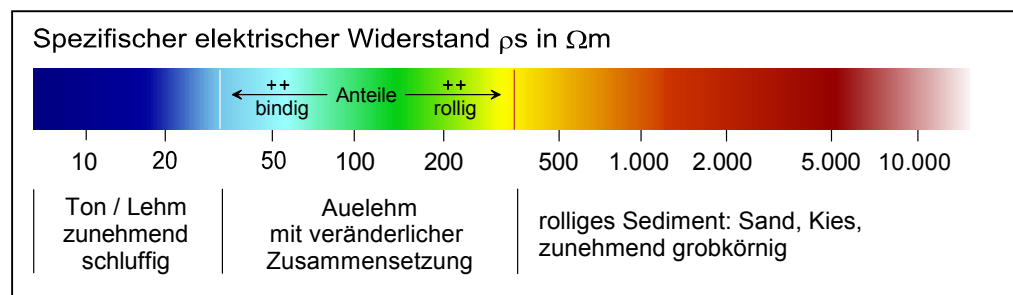


Abbildung 3: Korrelation spezifischer elektrischer Widerstand – Lithologie

Dabei ist zu beachten, dass der Begriff Auelehm keine lithologische sondern eine genetische Bezeichnung ist. Auelehm ist eine i.d.R. holozäne, fluviatile Ablagerung und wird aus einem Gemisch von Ton, Schluff und Sand gebildet. Je nach Ablagerungsbedingungen (z.B. die Transportkraft des Gewässers) kann die Zusammensetzung erheblich schwanken und können auch kiesige und humose Bestandteile enthalten sein. An Hand dieser Materialbeschreibung und der o.g. Korrelation ergibt sich als generelles Bild folgende Zweiteilung:

Schicht 1: Auelehm: hauptsächlich feinsandige, schluffige, teilweise lehmige, teilweise kiesige Flussablagerung. Sie ist in den Profildarstellungen von türkis über grün bis gelb dargestellt.

Schicht 2: Sand / Kies: mittelsandig bis kiesige Ablagerungen. Auch hier können noch geringfügig lehmige Bestandteile enthalten sein. In den Profildarstellungen gelb bis rot gekennzeichnet.

Auf Grund der Entstehungsbedingungen sind die Übergänge fließend, klare Trennlinien nicht ziehbar. Türkisfarbene bis grüne Bereiche sind als schluffig bis feinsandiger Auelehm einzustufen, darin befindliche leicht gelbliche Bereiche sind eher dem Auelehm als der sandig-kiesigen Schicht 2 zuzuordnen. Rot gefärbte Bereiche sind der Schicht 2 zuzuordnen, hier ist der gelbliche Rand als Übergangszone anzusehen.

Das Gesamtbild ist sehr heterogen. Prinzipiell handelt es sich bei Schicht 1 um Auelehmlagerungen, die durch sandig-kiesige Ablagerungen unterbrochen werden. Tonige Bereiche (dunkelblau) bzw. Bereiche mit hohem Tonanteil (Profil 2a – 300 bis 400m) treten nur marginal in Erscheinung und wenn, dann außer in Profil 2a, in Tiefen größer 6 m.

## **4.2 Schlussfolgerungen für die Grundwassermodellierung**

Die Positionierung der RKS wurde an Hand der Ergebnisse der Geoelektrik durchgeführt. Es wurden Ansatzpunkte festgelegt, bei denen niedrige Widerstände gemessen wurden, also Bereiche mit eher bindigem Material. Die Korngrößenanalysen aus den entnommenen Proben ergaben  $k_f$ -Werte von  $2,56 \cdot 10^{-7}$  m/s bis  $9,84 \cdot 10^{-6}$  m/s. Lediglich die Probe aus der RKS 6 hatte einen Wert von  $4,79 \cdot 10^{-8}$  m/s. Aufgrund der geoelektrischen Untersuchungen und der o.g. Korrelation ist davon auszugehen, dass keine niedrigeren  $k_f$ -Werte anzutreffen sind.

Vergleichsanalysen (Anlage 9; RKS 1, Proben 3 und 4) haben ergeben, dass die Durchlässigkeitsbeiwerte, insbesondere in den höher ohmigen, sandig-kiesigen Bereichen, aber auch in großen Teilen des Auelehms höher liegen. In den sandig-kiesigen Bereichen können  $k_f$ -Werte von  $10^{-5}$  bis  $10^{-3}$  m/s angenommen werden.

Schlussfolgernd haben die durchgeführten Untersuchungen ergeben, dass die oberflächennahen Ablagerungen im Untersuchungsgebiet keine flächenhaft verbreitete stauende Wirkung besitzen. Bestenfalls haben die Auelehmlagerungen eine hemmende, d.h. verzögernde Wirkung.

## **5 Geohydraulische Modellierung**

### **5.1 Eingangsdaten für die Modellerstellung**

Grundlage für den Aufbau des Grundwasserströmungsmodells sind insbesondere nachfolgende Daten/Informationen:

1. Aufschlüsse / Bohrungen zum Aufbau eines hydrogeologischen Strukturmodells
2. Randbedingungsinformationen der Vorfluter im Modellgebiet (insbesondere Sohlhöhen, Wasserspiegellagen und Überschwemmungsflächen)
3. Angaben zur Grundwasserneubildung
4. Messwerte von Grund- und Oberflächenwassermessstellen

### **5.2 Simulationsverfahren**

Die Simulation unterirdischer Strömungsvorgänge in einem betrachteten Raum basiert auf der Lösung der prozessbeschreibenden Differentialgleichungen mit ihren Anfangs- und Randbedingungen. In dem für diese Arbeit genutzten Programmsystem MODFLOW (modular 3-dimensional finite-difference ground-water model) wird die Strömungsdifferentialgleichung, welche aus den Gesetzmäßigkeiten der Massenerhaltung, den Zustandsgleichungen (Fluid, Gestein) sowie dem Darcy-Gesetz folgt, mit der finiten Differenzenmethode gelöst.

In der Praxis wird aus den gegebenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen eines zu modellierenden Raumes durch geeignete Schematisierung ein Simulationsmodell aufgebaut. Es erfolgt eine Aufteilung des Untersuchungsgebietes in Berechnungselemente (Diskretisierung), wobei ein schichtweiser vertikaler Aufbau eines Modells die Zuordnung der Elemente zu bestimmten Grundwasserleitern ermöglicht. Die richtige Wahl der Randbedingungen und die Anpassung bzw. Kalibrierung des Modells an Grundwasserströmungszustände (natürliche Dynamik, Pumpversuche) durch eine geeignete Variation der bestimmenden geohydraulischen Parameter ( $k_f$ -Wert, Grundwasserneubildung, Speicherkoeffizient) sind Voraussetzungen, ein prognosefähiges Simulationsmodell zu erhalten.

Zur Berechnung mit dem Programm MODFLOW werden die Parameter der geologischen Schichten (Durchlässigkeitsbeiwerte, GWL-Mächtigkeit über Eingabe der Bezugshöhen Unterkante und Oberkante des GWL, Grundwasserneubildung) erfasst.

Weiterhin gehen definierte Anfangs- und Randbedingungen in das Modell ein. Im Ergebnis kann eine räumliche und zeitliche Entwicklung der Grundwasserströmungsverhältnisse dokumentiert werden.

### 5.3 Geometrischer und geologischer Modellaufbau

Die Berechnung des Grundwasserströmungsregimes bei variablen Wasserständen der Mulde erfolgte auf der Basis eines zweidimensionalen instationären Grundwasserströmungsmodells.

Das für die Ortschaft Gruna aufgebaute Modell ist Teil eines 120 km<sup>2</sup> großen Großraummodells, das die großräumigen Grundwasserströmungsverhältnisse hinreichend genau abbildet (Abb. 4).

Das Modell „Gruna“ hingegen besitzt mit einer N-S- Ausdehnung von 3 km und eine E-W-Ausdehnung von 4 km eine Gesamtfläche von 12 km<sup>2</sup> und wird im Weiteren als „Detailmodell“ bezeichnet. Es liegt im Südwesten des Großraummodells und beinhaltet die komplette Überschwemmungsfläche eines HQ100-Hochwasserereignisses der Mulde (entspricht in erster Näherung der räumlichen Erstreckung der Flussaue).

Das Detailmodell besteht aus insgesamt 400 x 300 orthogonalen Elementen mit einer Elementgröße von 10 x 10 m. Die Ausrichtung des Modellnetzes erfolgte nach dem Gauss-Krüger-Koordinatensystem ohne Drehung. Die Koordinateneckpunkte des Modellrechteckes liegen bei

Obere linke Ecke: 4541600, 5711700

Untere rechte Ecke: 4545600, 5708700

Alle 120 000 Elemente sind strömungsaktiv, d.h. trockene bzw. inaktive Zellen sind nicht existent. Im Zentrum des Modells liegt die Ortslage Gruna mit dem Ringdeich als favorisierte Hochwasserschutzmaßnahme. Von Süd nach Nord wird es von der Mulde als Hauptvorfluter durchströmt.

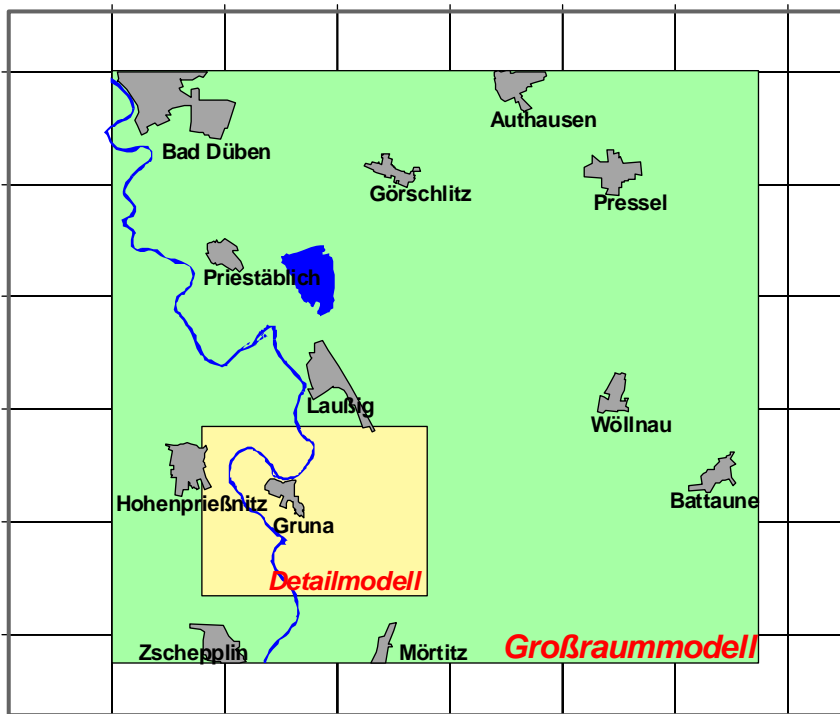


Abbildung 4: Lage des Detailmodells im Großraummodell

Die geologischen Standortverhältnisse werden in Form einer Modellschicht mit ortsvariablen Durchlässigkeiten hinreichend genau abgebildet. Die Elementoberkanten entsprechen den auf ein 10 m Raster interpolierten Höhen des digitalen Geländehöhenmodells DGM20. Die Modellbasis geht mit der Unterkante des aus Sanden und Kiesen bestehenden quartären Grundwasserleiters (Quartärbasis) konform.

Grundlage für die Ableitung der flächenhaften Anfangsverteilung der Durchlässigkeiten bildeten die im Modellraum dokumentierten petro- und stratigraphischen Schichtenansprachen der Bohrungen des UHYDRO- und HYRA-Datenspeichers sowie der Bohrungen aus der geotechnischen Untersuchung (Pkt. 3.2, Anlage 8). Allen dort angesprochenen Haupt und Nebenfraktionen wurden repräsentative  $k_f$ -Werte zugeordnet und mächtigkeitsgewichtet wie folgt gemittelt:

$$k_{f_{horizontal}} = \frac{\sum_i k_{f_i} \cdot M_i}{\sum_i M_i} \quad (1)$$

Für die Berechnung der nutzbaren Porosität wurde als erste Näherung der Ansatz nach HELMBOLD verwendet, der die speichernutzbare Porosität aus dem  $k_f$ -Wert wie folgt herleitete:

$$n_o = 1,33 \cdot k_f^{0,33} \quad (2)$$

Die Übertragung der punktgenauen Durchlässigkeiten (Bohrungen) auf die Fläche erfolgte durch Interpolation mit dem Kriging-Verfahren.

#### 5.4 Äußere und innere Randbedingungen

Die Wahl sinnvoller hydraulischer Begrenzungen ist entscheidend für die erfolgreiche Simulation der Grundwasserströmung eines gegebenen Gebietes. Der zu untersuchende Strömungsraum sollte soweit ausgedehnt sein, dass der Modellrand nicht vom Geschehen im Innern des Reservoirs beeinflusst werden kann. In der Regel folgen die äußeren Modellränder geologischen oder hydrogeologischen Gegebenheiten wie beispielsweise Vorflutern oder Festgesteinsrändern.

Das Detailmodell „Gruna“ hingegen ist Teil eines Großraummodells, so dass dieses nicht von äußeren Rändern begrenzt werden muss. Alle Ränder des Detailmodells sind „offen“, d.h. die hydraulische Kommunikation mit dem Großraummodell wird zu jeder Zeit und an allen Modellrändern gewährleistet.

Als innere Randbedingungen wirken im Modell die Mulde, der Ziegelgraben und der ortsinnere (namenlose) Graben. Diese gehen als Randbedingung 3. Art, RIVER (CAUCHY), mit

$$Q = L * A * (h_{OW} - h_{GW}) \quad [m^3/s]$$

Q:	Randvolumenstrom	[m³/s]
L :	Leakagefaktor	[1/s]
A :	wirksame Vorflutfläche , elementbezogen	[m²]
h <sub>OW</sub> :	Wasserstand der Vorflut	[mNHN]
h <sub>GW</sub> :	simulierter Grundwasserstand	[mNHN]

in das Modell ein.

Die ortsdiskreten Wasserspiegelhöhen und die Überschwemmungsflächen für ein HQ100-Hochwasserereignis der Mulde wurden mit einer zeitlichen Diskretisierung von 2 h aus der 2D-Wasserspiegel-lagenberechnung der Planungsgesellschaft Scholz und Lewis GmbH entnommen [4].

Die Wasserstände für den Ziegelgraben lieferte in erster Näherung das digitale Geländemodell in Verbindung mit Wasserspiegelhöhenangaben der TK10. Gewisse Ungenauigkeiten in den Wasserspiegelnhöhen des Grabens konnten hingenommen werden, da sich diese nicht signifikant auf das Modellergebnis auswirken. Während eines extremen Hochwassers der Mulde ist fast der gesamte Ziegelgraben überschwemmt und somit hydraulisch inaktiv.

#### 5.5 Grundwasserneubildung

Für den Wasserhaushalt des Untersuchungsraums sind die Klimagrößen der Station Leipzig-Schkeuditz relevant. Aus den für die letzten 30 Jahre (1981-2010) zur Verfügung stehenden Tageswerten wurde die Grasreferenzverdunstung (nach PENMAN-MONTEITH) und die Gewässerverdunstung (nach PENMAN) berechnet.

Tabelle 5-1: Klimadaten Station Leipzig-Schkeuditz

	<b>Station Leipzig-Schkeuditz</b> langjährige Mittelwerte 1981 – 2010
mittlere Jahresniederschlag (korrigiert) <sup>1)</sup>	587,7 mm/a
Sommerniederschlag (korrigiert) <sup>1)</sup>	345,9 mm/a
Grasreferenzverdunstung	660,5 mm/a
Gewässerverdunstung	742,5 mm/a
klimatestische Wasserbilanz (Pk-ET0)	-72,8 mm/a
mittlere Jahrestemperatur	9,5°C

<sup>1)</sup> Korrektur für Niederschlag in Bodennähe durch eine Erhöhung um 10 %

Die Ermittlung der Grundwasserneubildung erfolgte auf der Grundlage des Wasserhaushaltsverfahrens BAGLUVA. Dieses Verfahren basiert auf der BAGROV-GLUGLA-Beziehung und dient der Bestimmung des langjährigen Mittels der realen Verdunstung. Diese wird u.a. in Abhängigkeit von der Bodenart, der vorhandenen Nutzung und des Grundwasserflurabstandes aus den klimatischen Größen Jahres- und Sommerniederschlag sowie der Grasreferenzverdunstung (s. Tab. 5-1) berechnet. Das Verfahren nach BAGROV-GLUGLA wird in Ostdeutschland seit den 1970er Jahren erfolgreich zur Bestimmung der Grundwasserneubildung im Lockergesteinsbereich eingesetzt und kontinuierlich weiterentwickelt [siehe z.B. DVWK 238/1996]. Die aktuellste Version ist unter der Bezeichnung BAGLUVA im ATV-DVWK-Merkblatt M 504 dokumentiert.

Unter der Bedingung, dass kein Direktabfluss auftritt, kann die Grundwasserneubildung anschließend als Differenz aus Niederschlag und realer Verdunstung ermittelt werden. Sie beträgt auf dem Gebiet des Detailmodells je nach Landnutzung 2 bis 5 l/s\*km<sup>2</sup>.

## 5.6 Modellkalibrierung

Die Modellkalibrierung soll erreichen, ein prognosefähiges Simulationsmodell zu erhalten. Dazu müssen mit dem geohydraulischen Simulationsmodell die gemessenen Grundwasserstände so gut wie möglich nachsimuliert werden. Die Modelleichung des Großraummodells erfolgte stationär anhand der Stichtagsmessung von 05.07.2011. Die Grundwasserstände zum Messzeitpunkt lagen ca. 10 cm über den Mittelwasserverhältnissen, so dass die gemessenen Grundwasserstände auf Mittelwasser korrigiert werden mussten.

Die schrittweise Verbesserung der Modellgüte wurde durch Variation des Durchlässigkeitsbeiwertes und der hydraulischen Verbindung des Oberflächengewässers mit dem simulierten Grundwasserleiter (Leakage-Faktor) unter Zuhilfenahme numerischer Optimierungsmethoden des Programmsystems PEST (DOHERTY 2000) erreicht. Die im vorhergehenden Abschnitt angegebenen mittleren Grundwasserneubildungsraten wurden nicht geändert.

Für alle Modellelemente erfolgte eine räumliche Interpolation der  $k_f$ -Werte über 40 im Modellgebiet verteilte Stützstellen. Die 40 Stützstellen setzten sich aus 26 Grundwassermessstellen und 14 modellinternen Beobachtungspunkten zusammen, die vor allem in hydraulisch auffälligen Bereichen (Grundwasserscheiden etc.) positioniert wurden.

Die einzelnen  $k_f$ -Werte dieser Stützstellen waren Zielgrößen der Modellkalibrierung. Der dabei zugelassene Wertebereich der  $k_f$ -Werte für den Grundwasserleiter lag zwischen  $1,0E-05$  m/s und  $1,0E-03$  m/s.

Nach mehreren Kalibrierungsläufen konnte eine sehr gute Übereinstimmung von Mess- und Berechnungswerten mit einem relativen Modellfehler  $fr = 1,17\%$  ( $n = 26$ ) erzielt werden. Die folgende Abbildung zeigt dieses zufriedenstellende Kalibrierergebnis in Form des Scatter-Diagramms. In Tabelle 5-2 werden die berechneten und gemessenen Grundwasserstände aller hinzugezogenen Messstellen des Großraummodells aufgeführt.

Das Detailmodell kann vorerst noch nicht durch eine Modellkalibrierung an die realen Verhältnisse angepasst werden, da ein qualifiziertes Grundwassermessnetz in der Ortslage fehlt. Dieser Schritt kann erst nach dem Bau des Monitoringmessnetzes und des sich anschließenden Grundwassermonitorings nachgeholt werden.

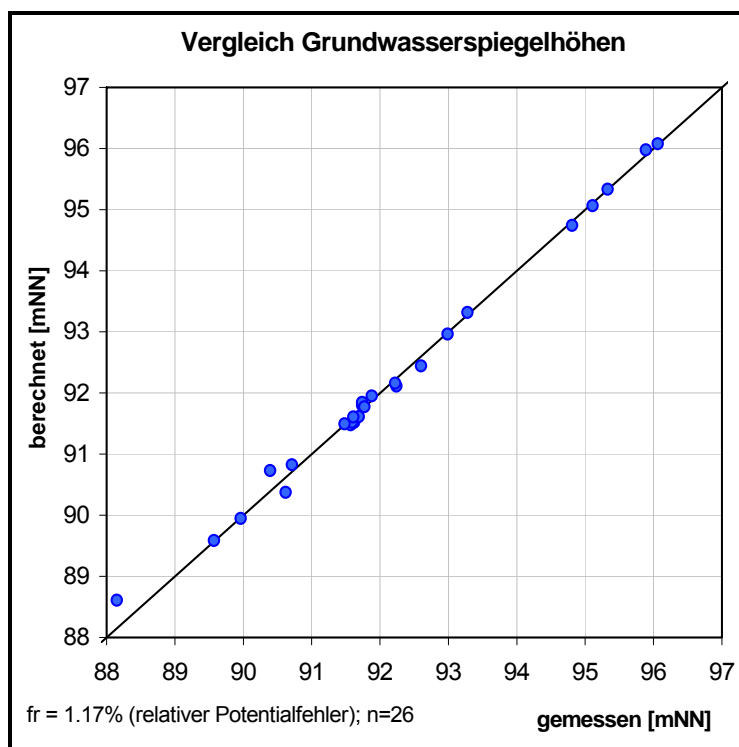


Abbildung 5: Modellabweichung



	Bezeichnung der Grundwassermessstelle	Rechtswert	Hochwert	Modellschicht	Grundwasserspiegel gemessen [mNN]	Grundwasserspiegel berechnet [mNN]	Abweichung [m]	Wichtung der GW-Messstelle [-]	gewichtete quadratische Abweichung [m <sup>2</sup> ]	quadratische Abweichung vom Mittelwert [m <sup>2</sup> ]	gewichteter Abweichungsbetrag [m]
Nr	NAME	RW	HW	LAYER	GEM xi	BER yi	xi-yi	w	w*(xi-yi) <sup>2</sup>	(xi-xm) <sup>2</sup>	w* xi-yi
1	Kiessee Laußig	4543545.0	5714440.0	1	91.57	91.48	0.09	1.00	0.01	0.37	0.09
2	44416510	4541840.0	5715250.0	1	90.62	90.37	0.25	1.00	0.06	2.43	0.25
3	01/2011	4542362.0	5715510.0	1	90.39	90.73	-0.34	1.00	0.12	3.20	0.34
4	02/2011	4543850.0	5715658.0	1	90.71	90.83	-0.12	1.00	0.01	2.15	0.12
5	2/94	4544500.3	5715473.2	1	91.88	91.95	-0.07	1.00	0.00	0.09	0.07
6	6/94 oP	4542916.0	5713490.0	1	88.15	88.61	-0.46	1.00	0.21	16.22	0.46
7	7/94	4543682.8	5713654.7	1	91.62	91.52	0.10	1.00	0.01	0.31	0.10
8	8/94	4543970.0	5713796.7	1	91.69	91.61	0.08	1.00	0.01	0.24	0.08
9	9/94	4544690.2	5714181.8	1	92.60	92.44	0.16	1.00	0.03	0.18	0.16
10	16/94	4543996.0	5714306.0	1	91.59	91.52	0.07	1.00	0.00	0.35	0.07
11	17/94	4544145.9	5714344.1	1	91.74	91.80	-0.06	1.00	0.00	0.19	0.06
12	19/94	4544135.0	5714963.0	1	91.74	91.85	-0.11	1.00	0.01	0.19	0.11
13	Hy Lßg 4/96	4545213.6	5711278.1	1	94.81	94.74	0.07	1.00	0.00	6.93	0.07
14	Hy 1/05	4542915.0	5714738.7	1	91.48	91.50	-0.02	1.00	0.00	0.49	0.02
15	02/2007	4544416.8	5714503.6	1	92.24	92.11	0.13	1.00	0.02	0.00	0.13
16	9751	4545210.0	5715660.0	1	92.22	92.16	0.06	1.00	0.00	0.00	0.06
17	9754	4547242.0	5711632.0	1	95.89	95.98	-0.09	1.00	0.01	13.78	0.09
18	9756	4548612.0	5711703.0	1	96.06	96.08	-0.02	1.00	0.00	15.07	0.02
19	9763	4543913.0	5714951.0	1	91.61	91.61	0.00	1.00	0.00	0.32	0.00
20	9779	4546467.0	5712689.0	1	95.11	95.07	0.04	1.00	0.00	8.60	0.04
21	9780	4546935.0	5712464.0	1	95.33	95.33	0.00	1.00	0.00	9.94	0.00
22	GP1 (Deponie)	4542800.0	5713900.0	1	89.57	89.59	-0.02	1.00	0.00	6.80	0.02
23	1/86 (Deponie Priestäblich)	4541454.0	5716133.0	1	89.96	89.95	0.01	1.00	0.00	4.92	0.01
24	03/2011	4545564.0	5713243.0	1	93.28	93.32	-0.04	1.00	0.00	1.22	0.04
25	04/2011	4544126.0	5712675.0	1	92.99	92.97	0.02	1.00	0.00	0.66	0.02
26	05/2011	4544362.0	5710972.0	1	91.77	91.77	0.00	1.00	0.00	0.17	0.00

Tabelle 5-2: Gemessene und berechnete Grundwasserspiegellhöhen des Ausgangszustandes

In der Anlage 1 ist das Grundwasserströmungsfeld des modellierten Ausgangszustandes in Form von Grundwassergleichen dokumentiert. Die durch die Modellkalibrierung identifizierte kf-Wert-Verteilung ist in der Anlage 3 dokumentiert. Der wirksame Leakage-Faktor für das Muldebett wurde mit  $L = 1,2 \cdot 10^{-5}$  1/s und für den Ziegelgraben mit  $L = 2,4 \cdot 10^{-5}$  1/s ermittelt.

## 6 Prognoserechnungen

### 6.1 Allgemeine Prognoseannahmen

Ziel der Prognoserechnungen war es, die maximalen Grundwasserstände bzw. minimalen Flurabstände innerhalb der Ortschaft Gruna auszuweisen um daraus die Notwendigkeit einer Binnenentwässerungsmaßnahme ableiten zu können. Die Berechnungen erfolgten mit Hilfe des geohydraulischen Simulationsmodells unter Verwendung eines Referenzhochwassers der Mulde.

Das verwendete Referenzhochwasser der Mulde basiert auf einer zweidimensionalen hydraulischen Wasserspiegellagenberechnung für ein HQ(100) des Planzustandes 1.

Den Planzustand bildet einen Bruch des Deiches an drei verschiedenen Stellen in der Nähe von Mörtitz nach. Dieser erfolgt unmittelbar nach der ersten Deichüberströmung, kurz vor dem Hochwasserscheitel. Das Referenzhochwasser geht von einem typischen sommerlichen **Scheitelhochwasser** mit einem sehr schnellen Wasserstandsanstieg und einem langsameren Abfall aus. Der Hochwasseranstieg und der -abfall orientiert sich an dem realen Hochwasserereignis vom August 2002. Ausgehend von einem bereits erhöhten Wasserstand der Mulde von ca. 92,8 mNHN im Bereich der Ortschaft Gruna erfolgt der Anstieg des Wasserspiegels mit einer mittleren Anstiegsgeschwindigkeit von ca. 130 cm/h. Nach Erreichen des Scheitels mit einer Scheitelhöhe von 96,25 mNHN erfolgt ein Wasserandrückgang mit einer Geschwindigkeit von ca. 5cm/h vor und ca. 2 cm/h hinter dem überfluteten Deich (siehe Abb. 6).

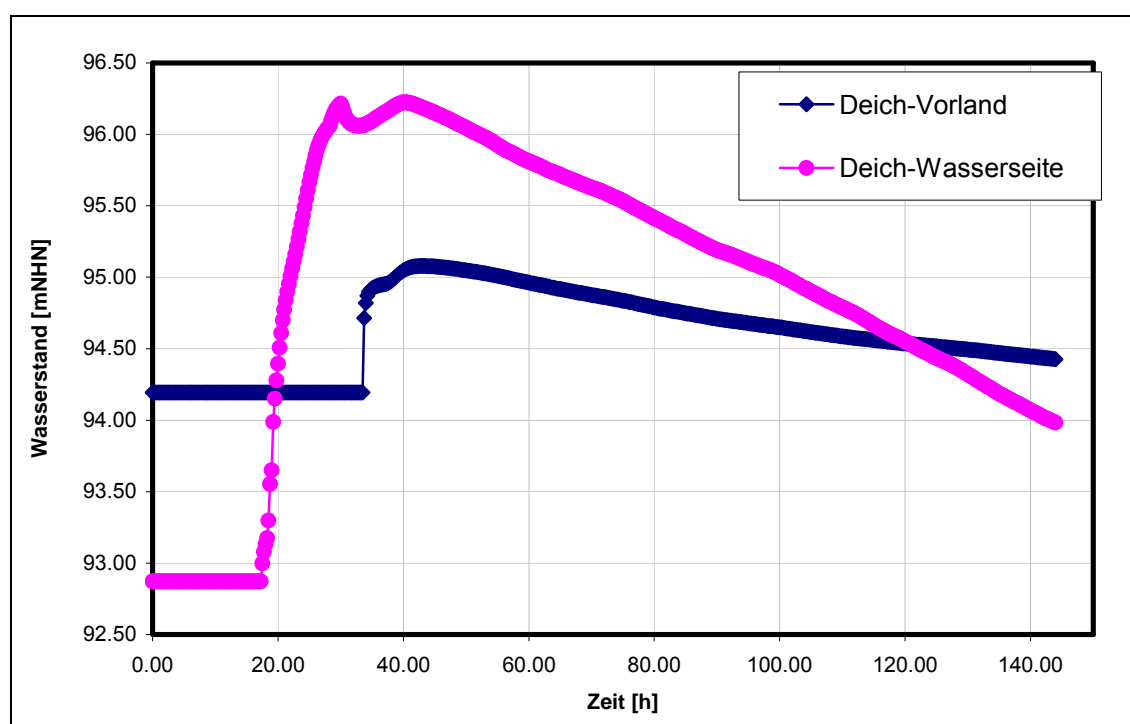


Abbildung 6: Zeitliche Entwicklung der Wasserstände der Mulde im Bereich der Südseite des Ringdeiches von Gruna (Referenzhochwasser)

Die modelltechnische Implementierung der zeitlich variablen Überschwemmungsflächen und Wasserspiegelhöhen wurde als Stufenfunktion mit einer zeitlichen Diskretisierung von 2 h approximiert. Für das angesetzte Scheitelhochwasser ergaben sich daraus 150 Zeitschritte bzw. Stressperioden.

Sowohl die maximalen Grundwasserstände als auch die Uferfiltratmenge, die während eines Hochwasserereignisses der Elbe in den Grundwasserleiter infiltriert, ist von den hydrogeologischen Parametern (Durchlässigkeit, Speicherkoeffizient, Sättigungsgrad des Bodens), von der Dauer des Hochwassers, von der Scheitelhöhe, von der Anstiegsgeschwindigkeit des Hochwassers, vom Ausgangsgrundwasserstand sowie vom Leakagefaktor abhängig.

Die Werte für die Leakagefaktoren, welche die Verbindung zwischen der Mulde und dem Grundwasserleiter charakterisieren, sind meist Zielgrößen einer instationären Modellkalibrierung.

Da jedoch auf Grund fehlender kontinuierlicher Grundwasserstandsmessungen eine instationäre Kalibrierung nicht möglich war, musste für die Berechnung des Leakagekoeffizienten vorerst von folgender Annahme ausgegangen werden:

$$k_{f_{\text{vertikal}}} = \frac{\sum_i M_i}{\sum_i \frac{M_i}{k_{f_i}}} \quad (3)$$

Tabelle 6-1: Leakagekoeffizient für das Überschwemmungsgebiet

Mi [m]	Kfi [m/s]	mi/kfi [s]
1.5	1.00E-05	1.50E+05
1.0	1.00E-04	1.00E+04
k <sub>f<sub>vertikal</sub></sub>	[m/s]	<b>1,56e-5</b>
DL	[m]	<b>2,5</b>
Leakagekoeffizient	[1/s]	<b>6,25e-4</b>

Mit der Anwendung der Formel 3 ergab sich für das Überschwemmungsgebiet ein Leakagekoeffizient von 6,25e-4 1/s.

## 6.2 Variantengestaltung

Die modelltechnischen Simulationen berücksichtigen zum einen den IST- wie auch den Planzustand in jeweils zwei Varianten.

Beim **ISTzustand 1a** verläuft die Deichlinie entlang des derzeitigen Bestandes. Der Wasserspiegel der Mulde steht bordvoll am Deich an. Eine Überströmung des Deiches und ein Deichbruch erfolgt nicht.

Der **ISTzustand 1b** geht ebenfalls von einem bordvollen Deich ohne Deichbruch aus. Der bestehende Deichverlauf wird mit dem geplanten Ringdeichverlauf kombiniert, so dass es im Süden der Ortschaft Gruna zu einer geringförmigen Abweichung des derzeitigen Deichverlaufes kommt.

Der **Planzustand 1a** berücksichtigt den Ringdeichverlauf gemäß Vorzugsvariante der Vorplanung [2]. Der bestehende Deich wird in Höhe Mörtitz überschwemmt und durchbrochen. Die Folge ist eine Überflutung des Hinterlandes. Die Ortschaft Gruna wird zum Zeitpunkt des Scheiteldurchganges nur durch den Ringdeich vor einer Überflutung geschützt (Insellage).

Beim **Planzustand 2b** wird der Verlauf des Ringdeiches aus der Vorplanung auf der östlichen Seite begradigt. Auch bei dieser Variante wird der Deich in Höhe Mörtitz überflutet und durchbrochen, so dass sich eine Insellage für die Ortschaft Gruna ergibt.

### **6.3 Berechnungsergebnisse**

Die Berechnungsergebnisse der jeweiligen IST- und Planzustände sind in den Anlagen 5 und 6 als maximaler Grundwasserstand sowie minimaler Flurabstand dargestellt. Die Anlage 7 zeigt die sich ergebenden Grundwasserstandsdifferenzen der beiden Planzustände.

Die ortsabhängigen maximalen Grundwasserstände bzw. minimalen Flurabstände treten während eines Hochwasserereignisses der Mulde nicht zeitgleich auf, sondern sind gegenüber der Wasserstandsganglinie der Mulde zeitlich phasenverschoben und gedämpft.

Je weiter die Grundwassermessstelle von der Uferlinie der Mulde entfernt ist, umso größer werden die Phasenverschiebungen und Scheiteldämpfungen zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser. Die in den Anlagen dargestellten Grundwasser- bzw. Flurabstände visualisieren demzufolge keine synchrone sondern asynchrone Höhen.

#### **ISTzustand 1a:**

Wenn der Wasserspiegel der Mulde bordvoll am bestehenden Deich ansteht, treten bei dem angesetzten Hochwasserereignis innerhalb der Ortslage Gruna Grundwasserstände von 91,0 bis 92,5 mNHN auf. Die geringsten Flurabstände stellen sich in einer Süd-Nord verlaufenden Geländesenke ein, in der sich auch der Dorfteich und der innerorts verlaufende Graben befindet.

Südlich des Dorfteiches führt bei Mittelwasserverhältnissen der Graben kein Wasser. Bei einem Hochwasser der Mulde füllt sich dieser trockene Grabenabschnitt jedoch ebenfalls mit Grundwasser.

Übertage austretende Grundwässer (Überschwemmungen in Geländesenken) sind vorrangig an der südlichen Bebauungsgrenze modelltechnisch nachweisbar.

#### **ISTzustand 1b:**

Gegenüber dem ISTzustand 1a wird beim ISTzustand 1b die Überschwemmungsfläche im Süden der Ortslage durch den Ringdeich geringfügig zurückgedrängt. Dies verhindert jedoch nicht, dass sich auch hinter dem Deich Vernässungsflächen infolge austretender Grundwässer ausbilden können.

#### **Planzustand 1a - Ringdeich Vorzugslösung aus Vorplanung:**

Wir der Ringdeich entlang der ausgewiesenen Vorzugslösung als reine Erdbaulösung ohne unterirdische Grundwasserabspernung ausgebaut, treten bei dem angesetzten Hochwasserereignis der Mulde (HQ100) innerhalb der Ortslage Gruna Grundwasserstände zwischen 91,5 und 93,5 auf. Die höchsten Grundwasserstände sind in der Ortslage am südwestlichen Ringdeich zu erwarten, da ein verzögertes Abfließen aus dem überschwemmten Hinterland angenommen wurde.

Aufgrund der sich ausbildenden Insellage der Ortschaft Gruna tritt relativ zentrumsnah eine Potenzialsenke mit den niedrigsten Grundwasserständen auf.

Übertage austretende Grundwässer (Überschwemmungen in Geländesenken) innerhalb der Ortslage können zwar nicht verhindert werden, jedoch treten diese überwiegend auf unbebauten Flächen in Erscheinung. Vernässungen sind vor allem im Süden und Südosten des Ringdeiches sowie in der S-N verlaufenden Geländesenke entlang des Grabens und im Bereich des Teiches feststellbar.

### **Planzustand 1b – veränderte Ringdeichlage:**

Im Gegensatz zum Planzustand 1a berücksichtigt diese Variante einen veränderten Deichverlauf auf der östlichen Ortslage. Als Hochwasserschutzmaßnahme wird wiederum der Ringdeich als reine Erdbaulösung ohne unterirdische Dichtelemente berücksichtigt.

Obwohl auch bei dieser Variante innerhalb des Ringdeiches maximale Grundwasserstände bis 93,5 mNHN auftreten, sind diese jedoch in einem größeren Abstand vom Gebäudebestand zu erwarten.

Die Verlegung der östlichen Ringdeichtrasse bewirkt im Bereich der Bebauung gegenüber dem Planzustand 1a eine großflächige Absenkung des maximalen Grundwasserstandes von 0,2 bis 0,3 m, stellenweise sogar von 0,7 m (siehe Anlage 7).

Größere Reduzierungen des maximalen Grundwasserstandes über 1 m stellen sich nur auf den Flächen ein, die beim Planzustand 1a bereits überschwemmt sind. Diese sind jedoch unbebaut.

Vernässungen innerorts können auch mit diesem Ringdeichverlauf nicht ausgeschlossen werden, jedoch kann die Fläche etwas reduziert werden. Es verbleibt die Vernässungsfläche entlang des Grabenverlaufes und der S-N-Geländesenke.

## **7 Aufbau Messnetz**

### **7.1 Oberflächenwassermessstelle**

Zur Charakterisierung des hydraulischen Regimes, insbesondere der Wechselwirkung zwischen dem Wasserstand der Mulde und dem Grundwasser sind zeitlich diskrete Messungen der Wasserstände erforderlich. Innerhalb der Ortschaft Gruna befindet sich am Fluttor des Deiches, nahe Fährhaus, ein Hochwasserpegel (Lattenpegel). Kontinuierliche Wasserstandsmessungen sind mit diesem Pegel nicht möglich.

Um den Einfluss der Mulde auf den Grundwasserleiter erfassen zu können, wurde in [1] die Errichtung einer Oberflächenwassermessstelle (OWM) in Nähe der Fähranlegestelle Gruna vorgeschlagen. Die Wasserstände der OWM sollen in der Messstelle mittels Datenlogger im täglichen Messrhythmus aufgezeichnet und im monatlichen Rhythmus ausgelesen werden.

Die Arbeiten zum Setzen der OWM wurden in der 11. KW 2012 realisiert (Abb. 7). Da der ursprünglich vorgesehene Standort der OWM an einem Baum unmittelbar neben der Fähranlegestelle baugrundbedingt nicht genutzt werden konnte, wurde die OWM ca. 30 m stromunterhalb der Fähranlegestelle Gruna installiert.

Die OWM besteht aus einem 2“-Filterrohr, das ca. 1,5 m in die Gewässersohle gerammt wurde sowie aus einem am Filterrohr befestigten Lattenpegel, der so angebracht wurde, dass er vom Ufer ablesbar ist. In das Filterrohr wurde ein Datenlogger eingesetzt und mit einer Pegelkappe versehen.



Abbildung 7: OWM in der Mulde

## 7.2 Grundwassermessstellen

Um die zeitliche Reaktion des Aquifers auf einen Hochwasserimpuls der Mulde in der Ortslage Gruna und im weiteren Untersuchungsgebiet messtechnisch erfassen zu können, wurde in [1] die Errichtung eines Grundwassermessnetzes konzipiert. Danach befinden sich die Bohrstandorte in etwa auf einer Achse in unterschiedlichen Abständen zur Mulde (siehe Anlage 11).

Die Realisierung der Bohr- und Ausbauarbeiten erfolgte im Zeitraum 19.03.-23.03.2012. Für das Grundwassermessnetz wurden insgesamt 3 neue Messstellen gesetzt. Die neuen Grundwassermessstellen wurden als Einfachmessstellen DN 100 mit Filterlängen von 3 m ausgebaut und mit Datenloggern bestückt (Messrhythmus: 1d).

Die geologische und technische Ausbaudokumentation ist den Anlagen 12.1 bis 12.3 zu entnehmen.

## 8 Zusammenfassung

Der vorliegende 2. Zwischenbericht enthält die Dokumentation und Auswertung der Feld- und Laborarbeiten zur Ermittlung der Auelehmverbreitung, die Dokumentation der Errichtung des Überwachungsmessnetzes für das Grund- und Oberflächenwasser im Untersuchungsgebiet sowie die ersten Ergebnisse der geohydraulischen Modellierung.

Für die Erkundung der Auelehmverbreitung wurde eine geophysikalische Erkundung in Verbindung mit 12 Rammkernsondierungen und Sieb-/Schlämmanalysen zur Bestimmung der Durchlässigkeiten des Auelehms durchgeführt. Des weiteren wurden insgesamt drei Grundwassermessstellen errichtet.



Die Messstellen wurden mit Datenloggern ausgerüstet, um die zeitliche Reaktion des Grundwasserleiters auf ein Hochwasserereignis der Mulde feststellen zu können.

Für die kontinuierliche messtechnische Erfassung der Wasserstände der Mulde wurde in Nähe des Fähre in Gruna eine Oberflächenwassermessstelle eingerichtet und ebenfalls mit einem Datenlogger ausgestattet.

Zur Berechnung des Grundwasserströmungsregimes wurde ein zweidimensionales Grundwasserströmungsmodell aufgebaut. Das Detailmodell konnte vorerst noch nicht durch eine Modellkalibrierung an die realen Verhältnisse angepasst werden, da bisher ein qualifiziertes Grundwassermessnetz in der Ortslage fehlte.

Der nächste Bearbeitungsschritt beinhaltet folgende Leistungen:


(1) Grund- und Oberflächenwassermonitoring

- Einbau der Datenloggern für 1 Jahr zur kontinuierlichen Erfassung des Grundwasserstandes
- regelmäßige Auslesung der erfassten Daten, Funktionskontrolle und Wartung der Datenlogger (2-monatlicher Rhythmus)
- Überführung der Messwerte in eine Datenbank und Auswertung der Messergebnisse in Form von Ganglinien und Hydroisohypsenplänen

(2) Modellkalibrierung / Berechnung Modellvarianten

- Durchführung einer instationären Kalibrierung des Modells auf der Grundlage der gewonnenen Monitoringdaten
- Berechnung von insgesamt 4 Varianten ( 1 Ist-Variante, 3 Prognosevarianten)

(3) Zusammenfassender Abschlussbericht.

  
Dipl.-Geol. K. Brinschwitz  
Projektleiterin

## **9      Literatur- und Quellenverzeichnis**

- [1]    Erstellung Grundwassermodell „Ringdeich Gruna“; Datenrecherche/ Defizitanalyse/Monitoringkonzept; 1. Zwischenbericht. Fugro Consult GmbH, November 2011
- [2]    Vereinigte Mulde Deich Laußig – Mörtitz Deich-km 1+700 bis 3+200 Ortslage Gruna, Vorplanung. Ingenieurgemeinschaft WTU GmbH, April 2010
- [3]    FK 1 – Vereinigte Mulde, rechts, Grundhafte Instandsetzung HWD Laußig – Mörtitz östlicher Ring-schlussdeich Gruna VG-Nr. 785/2009/60. GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
- [4]    Wasserspiegellagenberechnung, Planungsgesellschaft Scholz- und Lewis GmbH, download FTP-Server 30.01.2012