

Ergebnisbericht

**Umverlegung der Laucha im Rahmen der
Stilllegung der Hochhalde Schkopau
Modelltechnische Untersuchungen im Rahmen
der Lauchaumverlegung (Fachgutachten)
Ergänzende Modellierungen der neuen Vorzugsvariante
des Trassenverlaufs der umverlegten Laucha**

Band B13

Vorhabenträger/ Antragsteller:

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft
Sachsen-Anhalt (LHW)
Otto-von-Guericke-Straße 5
39104 Magdeburg



Auftraggeber/ Projektträger:

MDSE Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH
Ortsteil Wolfen
Greppiner Straße 25
06766 Bitterfeld-Wolfen



Auftragnehmer/ Verfasser:

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro-
und Umweltgeologie mbH
Niederlassung Halle-Merseburg
Passendorfer Weg 1
06128 Halle (Saale)



IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH	
<i>Beratung • Planung • Projektsteuerung • Gutachten • Forschung</i>	
Büro Nordhausen am Harz Am Sportplatz 1 D-99 734 Nordhausen Telefon: (0 36 31) 89 06 -0 Telefax: (0 36 31) 89 06 29	Büro Halle-Merseburg Passendorfer Weg 1 D-06 128 Halle/Saale Telefon: (03 45) 5 20 88 -0 Telefax: (03 45) 5 20 88 21
Büro Dresden Reichenbachstraße 55 D-01 069 Dresden Telefon: (03 51) 4 48 85 -0 Telefax: (03 51) 4 48 85 15	
Ergebnisbericht	
Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Modelltechnische Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung (Fachgutachten)	
Land:	Sachsen-Anhalt
Landkreis(e):	Saalekreis
Projekt/Vorhaben (Kurztitel):	Modelltechnische Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung
Projektnummer:	20180063
Projektart:	Altlastuntersuchung, Grundwassermodellierung
Berichtsdatum:	30. 08. 2019
IHU-Projektleiter:	Dr. A. Schroeter
Auftraggeber:	MDSE Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH
Ansprechpartner:	Herr Basmer (Abteilungsleiter Altlasten MDSE) Frau Meinck (Projektleiterin Altlasten MDSE)
IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH	
 Dr. A. Schroeter Geschäftsführer	
Nordhausen, 30. 08. 2019	
Verteiler: 6 x MDSE, 1 x IHU	

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	11
2	Veranlassung, Vorbemerkungen	16
3	Eingesetzte Software	19
3.1	Modell der Grundwasserströmung (MODFLOW)	19
3.2	Modell des Stofftransports im Grundwasser (MT3D-FL)	20
3.3	Prä- und Postprozessor (CADSHELL)	20
4	Überarbeitung des mathematischen Modells	21
4.1	Übernahme der Daten aus den Baugrunduntersuchungen 2009/2010 und weiterer aktueller Ergebnisse	21
4.2	Diskretisierung des Strömungsfeldes	23
4.2.1	Vertikale Diskretisierung	23
4.2.2	Horizontale Diskretisierung	25
4.3	Schichtgeometrie, geohydraulische Parameter und Randbedingungen Gesamtmodell	27
4.4	Randbedingungen im Umfeld der Hochhalde Schkopau	27
4.5	Grundwasserneubildung	30
4.6	Grundwasserdynamik	31
4.7	Modellkalibrierung	32
4.7.1	Grundlagen	32
4.7.2	Ergebnisse der Kalibrierung	33
4.8	Bilanzbetrachtungen zum Ausgangszustand	36
5	Prognoseberechnungen	39
5.1	Vorbemerkungen	39
5.2	Schutzziele	40
5.2.1	Oberflächenwasser	40
5.2.2	Grundwasser	41
5.3	Charakterisierung der betrachteten Prognosevarianten	42

5.4	Hydraulische Randbedingungen Prognosevarianten	44
5.5	Angaben zur Modellierung des Stofftransports im Grundwasser	47
5.5.1	Ausgangsgrößen für die Modellierung des Stofftransports	47
5.5.2	Parameter des Stofftransports	48
5.5.3	Art und Weise sowie Positionen des Schadstoffeintrags ins Grundwasser	49
5.6	Ergebnisse der Modellierung der Prognosevarianten	52
5.6.1	Auswirkungen auf die Grundwasserstände	52
5.6.2	Konzentrationsverteilung im Grundwasser	53
5.6.3	Bilanzbetrachtungen zu den Prognosezuständen	56
6	Bewertung der vom Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH ausgehenden Grundwasserkontaminationen	65
7	Auswertung und Schlussfolgerungen	68
7.1	Schadstoffausbreitung und -einträge in Oberflächengewässer	68
7.2	Wirkung des Randgraben- bzw. Drainagesystems	70
7.3	Beeinflussung der Grundwasserstände	72
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Untersuchungsergebnisse der Baugrunderkundungen (GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3)	22
Tabelle 2: Übersicht Modellschichten nach IHU2007B	24
Tabelle 3: Ergebnisse der Abflussmessungen an der Laucha nach C & E, 2004	29
Tabelle 4: Hydrologische Hauptzahlen der Laucha (Pegel Schkopau)	29
Tabelle 5: Statistische Angaben zur Modellkalibrierung	33
Tabelle 6: Kalibrierung GWM nach GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3	35
Tabelle 7: Volumenstrombilanzen der Gewässer- und Entwässerungselemente im Umfeld der Hochhalde Schkopau, Ausgangs- bzw. Istzustand	37
Tabelle 8: Prüf- und Maßnahmeschwellenwerte nach LAWA 1994	41
Tabelle 9: Infiltrationsraten Haldenkörper Hochhalde Schkopau, Minimalvariante	45
Tabelle 10: Infiltrationsraten Haldenkörper Hochhalde Schkopau, Oberflächenabdichtung nach GSO 3.1	46
Tabelle 11: Parameter der Stofftransportmodellierung	49
Tabelle 12: Beschreibung der Bilanzbereiche	56
Tabelle 13: GWM mit Quecksilberanalytik im relevanten Abstrombereich	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Qualität der Modellanpassung (Scatterplot)	34
Abbildung 2: Zusammenfassung der Volumenstrombilanzen	57
Abbildung 3: Zusammenfassung der Massestrombilanzen für Quecksilber	59
Abbildung 4: Zusammenfassung der Massestrombilanzen für CKW	60
Abbildung 5: Berechnete Quecksilberkonzentrationen in der Laucha	61
Abbildung 6: Berechnete CKW-Konzentrationen in der Laucha	62
Abbildung 7: Jährliche Aufnahme von Grundwasser durch das Randgraben- bzw. Drainagesystem	71

Anlagenverzeichnis

- B13 Anl1: Grundlagen des mathematischen Modells
- Blatt 1: Übersichtskarte zur Deponie Schkopau und zum Bereich der Lauchaverlegung
- Blatt 2: Grundgitter des mathematischen Modells im Bereich der Hochhalde Schkopau
- Blatt 3: Lage der Randbedingungen im Bereich der Hochhalde Schkopau, Istzustand (Haldenrandgräben und Laucha)
- Blatt 4: Lage der Erkundungsbohrungen bzw. GWM nach GGU 2010 und BuG 2014
-
- B13 Anl2: Berechnungsergebnisse Istzustand
- Blatt 1: Berechneter Hydroisohypsenplan, Istzustand MGWL 1
- Blatt 2: Berechneter Hydroisohypsenplan, Istzustand MGWL 2
- Blatt 3: Berechneter Hydroisohypsenplan, Istzustand MGWL 3
- Blatt 4: Berechneter Hydroisohypsenplan, Istzustand MGWL 4
- Blatt 5: Vergleich gemessene-berechnete Grundwasserstände stationäre Anpassung, tabellarische Zusammenstellung
-
- B13 Anl3: Grundlagen der Prognoseberechnungen
- Blatt 1: Sickerwasserströme aus dem Haldenkörper für die Minimalvariante nach C & E, 2005 A
- Blatt 2: Sickerwasserströme aus dem Haldenkörper für die GSO 3.1 nach C & E, 2005 A
- Blatt 3: Lage der Randbedingungen im Bereich der Hochhalde Schkopau, Prognosevarianten mit optimalem Drainagesystem (geplante Haldenrandgräben und verlegte Laucha)
- Blatt 4: Quecksilberkonzentrationen im Haldensickerwasser für die Minimalvariante nach C & E, 2005 A
- Blatt 5: Quecksilberkonzentrationen im Haldensickerwasser für die GSO 3.1 nach C & E, 2005 A
- Blatt 6: Grundlagen der Abschätzung der CKW-Konzentration im Sickerwasser der Hochhalde Schkopau
- Blatt 7: CKW-Konzentrationen im Haldensickerwasser für die Variantenuntersuchungen
- Blatt 8: Lage von Grundwassernutzungen im Umfeld der Hochhalde Schkopau (nach Angaben der Unteren Wasserbehörde Saalekreis)
- Blatt 9: Bilanzbereiche der Volumenstrom- und Massenbilanzierung Nullvariante, Variante 1 und 2
- Blatt 10: Bilanzbereiche der Volumenstrom- und Massenbilanzierung, Variante 3 und 4

- B13 Anl4: Berechnungsergebnisse der Prognosevarianten, Schadstoff Quecksilber
- Blatt 1: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Nullvariante)
- Blatt 2: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 2 (Nullvariante)
- Blatt 3: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 3 (Nullvariante)
- Blatt 4: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 1)
- Blatt 5: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 2 (Variante 1)
- Blatt 6: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 3 (Variante 1)
- Blatt 7: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 2)
- Blatt 8: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 2 (Variante 2)
- Blatt 9: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 3 (Variante 2)
- Blatt 10: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 3)
- Blatt 11: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 2 (Variante 3)
- Blatt 12: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 3 (Variante 3)
- Blatt 13: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 4)
- Blatt 14: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 2 (Variante 4)
- Blatt 15: Hydroisohypsen und Verteilung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser, MGWL 3 (Variante 4)
-
- B13 Anl5: Berechnungsergebnisse der Prognosevarianten, Schadstoff CKW
- Blatt 1: Hydroisohypsen und Verteilung der CKW-Konzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Nullvariante)
- Blatt 2: Hydroisohypsen und Verteilung der CKW-Konzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 1)

- Blatt 3: Hydroisohypsen und Verteilung der CKW-konzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 2)
- Blatt 4: Hydroisohypsen und Verteilung der CKW-konzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 3)
- Blatt 5: Hydroisohypsen und Verteilung der CKW-konzentration im Grundwasser, MGWL 1 (Variante 4)
-
- B13 Anl6: Berechnungsergebnisse der Prognosevarianten Wasserstandsdifferenzen
- Blatt 1: Grundwasserstandsdifferenzen Istzustand-Variante 3, MGWL 1
- Blatt 2: Grundwasserstandsdifferenzen Istzustand-Variante 3, MGWL 2
- Blatt 3: Grundwasserstandsdifferenzen Istzustand-Variante 3, MGWL 3
- Blatt 4: Grundwasserstandsdifferenzen Istzustand-Variante 4, MGWL 1
- Blatt 5: Grundwasserstandsdifferenzen Istzustand-Variante 4, MGWL 2
- Blatt 6: Grundwasserstandsdifferenzen Istzustand-Variante 4, MGWL 3
-
- B13 Anl7: Grundlagen der Bewertung der vom Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH ausgehenden Kontaminationen
-
- B13 Anl8: Modellgrundlagen – Auszug aus der Dokumentation des Jahresberichtes 2006 zum 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodell 2006 des ÖGP Buna (IHU2007B)
- Blatt 1: Lage des Grundgitters des mathematischen Modells (Anlage 1, IHU2007B)
- Blatt 2: Verteilung der Grundwasserneubildungsraten im Modell (Anlage 6, IHU2007B)
- Blatt 3: Verteilung der Durchlässigkeitsbeiwerte Modellschicht 1 (Anlage 12, IHU2007B)
- Blatt 4: Verteilung der Transmissivitäten Modellschicht 2 (Anlage 13, IHU2007B)
- Blatt 5: Verteilung der Transmissivitäten Modellschicht 4 (Anlage 14, IHU2007B)
- Blatt 6: Verteilung der Transmissivitäten Modellschicht 5 (Anlage 15, IHU2007B)

Abkürzungsverzeichnis

AOX	Adsorbierbare organische Halogenverbindungen
B	Tertiär
BTEX	Summenparameter Aromaten (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol)
C	Konzentration
C _{NQ}	Konzentration bei niedrigstem Niedrigwasserabfluss
C _{MNQ}	Konzentration bei mittlerem Niedrigwasserabfluss
C _{MQ}	Konzentration bei Mittelwasserabfluss
CKW	Chlorierte Kohlenwasserstoffe
ET	Endteufe
FOK	Filteroberkante
FUK	Filterunterkante
GLD	Gewässerkundlicher Landesdienst
GSO	Gesamtsanierungsoption
GOK	Geländeoberkante
GW	Grundwasser
GWL	Grundwasserleiter
GWS	Grundwasserstauer
GWM	Grundwassermessstelle
H _{berech}	Berechnete Grundwasserspiegelhöhe (auf Grundlage des Grundwasserströmungsmodells)
Hg	Quecksilber
HHS	Hochhalde Schkopau
H _{mess}	Gemessene Grundwasserspiegelhöhe
HQ	Höchster Abfluss aus einer hydrologischen Reihe
JD	Jahresdurchschnittswert
K _f -Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
M	Massestrom
MGWL	Modellgrundwasserleiter
MQ	Mittelwasserabfluss aus einer hydrologischen Reihe
MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluss aus einer hydrologischen Reihe
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss aus einer hydrologischen Reihe
n _e	Effektive Porosität

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

NQ	Niedrigster Abfluss aus einer hydrologischen Reihe
ÖGP	ökologisches Großprojekt
PV	Pumpversuch
Q	Quartär, Volumenstrom
R_d	Retardationskoeffizient
smH	Hardeggen-Folge
smD	Detfurth-Folge
smV	Volpriehausen-Folge
T-Wert	Transmissivität, Profildurchlässigkeit
UQN	Umweltqualitätsnorm
V	Grundwasservolumenstrom
Wsp	Wasserspiegel
δ_L	longitudinale Dispersivität
λ	Zerfallskonstante

1 Zusammenfassung

Die MDSE Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH (MDSE) betreibt im Landkreis Saalekreis mehrere Altdeponien auf der Hochhalde Schkopau zur Ablagerung und Verwertung von Abfällen. Die Hochhalde Schkopau ist eine genehmigte Abfallentsorgungsanlage mit acht eigenständigen Altdeponien. Alle Altdeponien befinden sich seit dem 01.01.2013 in der Stilllegungsphase, wobei die Altdeponie 1 zwischenzeitlich durch Umlagerung auf die Altdeponie 2 in Vorbereitung der Umverlegung der Laucha vollständig rückgebaut wurde. Als zweites wesentliches Vorhaben plant die MDSE im Rahmen der Sanierung der Hochhalde Schkopau die Umverlegung der Laucha aus dem eigentlichen Haldenbereich heraus. Ziel der Gewässerumverlegung ist die Minimierung des Eintrages kontaminierter Sickerwässer aus der Hochhalde Schkopau in die Laucha. Im Rahmen der Planungen wurden modelltechnische Untersuchungen mit folgenden Arbeitsschwerpunkten durchgeführt:

- Variantenuntersuchungen bzgl. der Auswirkungen der Lauchaumverlegung auf die Grundwasserdynamik
- Variantenuntersuchungen bzgl. der Auswirkungen der Lauchaumverlegung auf die Schadstoffausbreitung im Grundwasser aller betroffenen Grundwasserleiter
- Bewertung der Modellergebnisse und Ableitung der Vorzugsvariante der Lauchaumverlegung

In den Jahren 2009/2010 und 2014 wurden im Rahmen der Erkundung der Trasse der geplanten Umverlegung der Laucha umfangreiche Untersuchungen zur Erkundung des Baugrundes durchgeführt. Die Ergebnisse stellen eine wichtige Grundlage zur Verbesserung des Kenntnisstandes zur Qualifizierung des mathematischen Modells der Grundwasserströmung im engeren Untersuchungsgebiet dar und wurden entsprechend im Rahmen der Modellierungsarbeiten berücksichtigt.

Die Modellierung der Grundwasserströmung wurde mit dem Programmsystem MODFLOW (MC DONALD & HARBAUGH 1988), die Berechnung zum Stofftransport im Grundwasser unter Berücksichtigung der Dispersion, von hydrochemischen Wechselwirkungen und Abbau/Zerfall mit dem Programm MT3D-FL (ZHENG 1993; BOY & HAEFNER 1998) durchgeführt.

Die hinreichend detaillierte Erfassung der Strukturen bzw. der Aufstandsfläche des Haldenkörpers der Hochhalde Schkopau, über welche die Kommunikation mit dem MGWL 1 erfolgt, sowie der hydraulischen Randbedingungen im unmittelbar umliegenden Grundwasserströmungsfeld bestimmen die Anforderungen an die horizontale Diskretisierung. Das Elementeraster wurde auf Maschenweiten von 50 x 50 m bis 20 x 20 m verfeinert, wobei bei gezielter Anpassung der Elementstruktur an Randbedingungsverläufe (Laucha, geplante Lauchatrasse, Randgräben, Drainagesystem) die kleinsten Elementeabmessungen vorliegen. Damit können der bestehende und die geplanten Verläufe der Laucha sowie der hydraulischen Sicherungselemente (Haldenrandgräben bzw. Drainagen) mit der notwendigen Lagegenauigkeit modelltechnisch abgebildet werden.

Hinsichtlich der vertikalen Diskretisierung wurden unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur

Zusammenfassung verschiedener Grundwasserleiter und der Prüfung der Relevanz der einzelnen Horizonte im mathematischen Modell folgende fünf Schichten ausgehalten:

- Modellschicht 1 (Grundwasserleiter) – MGWL 1 - Auffüllung, quartäres und tertiäres Lockergestein, Q/B
- Modellschicht 2 (Grundwasserleiter) – MGWL 2 - Hardeggen-Folge, smH
- Modellschicht 3 (Grundwasserstauer) – Detfurth-Ton (smDT)
- Modellschicht 4 (Grundwasserleiter) – MGWL 3 - Detfurth-Wechselagerung/-Sandstein, smDW+smDS
- Modellschicht 5 (Grundwasserleiter) – MGWL 4 - Aviculaschichten/Rotweiße Wechselfolge (oberer, sandiger Teil), smVA+smVW

Im Zuge der Modellkalibrierung konnten für die einzelnen MGWL Modellfehler von 1,46 % bis 2,77 % erreicht werden. Damit unterschreiten diese den angestrebten Wert des Modellfehlers von max. 5 % deutlich und belegen eine belastbare Modellkalibrierung entsprechend dem vorhandenen Kenntnisstand zur Grundwasserdynamik.

Die ausgewiesene Modellbilanz bzw. die Grundwasserzuströme zur Laucha und den weiteren Randbedingungen liegen in der Größenordnung der Untersuchungsergebnisse des TSRK (C & E 2004, 2005 A). Insgesamt ist die ausgewiesene Wasserbilanz plausibel, womit ein wesentliches Kriterium für die gute Abbildung der realen Strömungsverhältnisse im Modell erfüllt ist.

Maßgeblich in Hinblick auf die Ableitung von Schutzziele ist die Oberflächengewässerverordnung (OGewV Anlage 8, Tabelle 2: Umweltqualitätsnormen (UQN) für prioritäre Stoffe). Es gelten derzeit folgende Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustandes von Oberflächengewässern:

Quecksilber und seine Verbindungen – 0,07 µg/l Maximalkonzentration/ZHK-UQN

Für die chlorierten Kohlenwasserstoffe gelten gemäß OGewV, Anlage 8, Tabelle 2 (Umweltqualitätsnormen für bestimmte andere Schadstoffe) folgende Werte:

- Tetrachlorethylen 10 µg/l JD-UQN
- Trichlorethylen 10 µg/l JD-UQN

Bezüglich CKW wurde vorgeschlagen, anstelle von Umweltqualitätsnormen für Einzelsubstanzen für den Summenparameter CKW, gesamt 10 µg/l (JD-UQN) anzusetzen.

Als zutreffende Vorschrift in Hinblick auf die Festlegung der Schutzziele für das Grundwasser ist die Grundwasserverordnung (GrwV) maßgebend. In B13 Anl2 (Schwellenwerte) der Grundwasserverordnung werden für Quecksilber 0,2 µg/l und für die Summe aus Tri- und Tetrachlorethylen 10 µg/l als Schwellenwerte angegeben.

Die modellgestützte Untersuchung der Prognosevarianten basiert auf dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell des Ausgangs- bzw. Istzustandes. Sie umfasst sowohl Änderungen hinsichtlich der Grundwasserströmungsverhältnisse durch geänderte hydraulische

Randbedingungen (Umverlegung der Laucha, Haldenrandgräben, Gestaltung der Deponieoberfläche) als auch die Berechnung der Schadstoffausbreitung im Grundwasser für die betrachteten Szenarios. Die Prognosevarianten umfassen folgende fünf Szenarios:

- Nullvariante** keine Veränderungen gegenüber dem Istzustand, aber Leerlaufen des Deponiekörpers abgeschlossen
- Variante 1** **Lauchaverlegung deponiefern**, Haldenrandgräben im Istzustand, Abdeckung entsprechend Minimalvariante nach TSRK
- Variante 2** **Lauchaverlegung deponienah**, Haldenrandgräben im Istzustand, Abdeckung entsprechend Minimalvariante nach TSRK
- Variante 3** **Lauchaverlegung deponiefern**, optimiertes hydraulisches Sicherungssystem, Abdeckung entsprechend GSO 3.1 nach TSRK
- Variante 4** **Lauchaverlegung deponienah**, optimiertes hydraulisches Sicherungssystem, Abdeckung entsprechend GSO 3.1 nach TSRK

Die Angaben zur Umverlegung der Laucha, zur Optimierung des Graben- bzw. Drainagesystems und zur Oberflächenabdeckung entsprechen dem aktuellen Planungsstand (Planungen zur Umverlegung der Laucha und Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau).

Im Ergebnis der Modellberechnungen wurde die Entwicklung der Grundwasserstände prognostiziert. Die Veränderungen des Grundwasserstandes (Differenzen Istzustand – Prognosevariante) resultieren zum einen aus der geplanten Umverlegung der Laucha und der damit verbundenen, drainierenden Wirkung des verlegten Flussbettes auf die jeweils betroffenen MGWL in einer gegenüber dem gegenwärtigen Zustand veränderten räumlichen Position. Sie betreffen vorrangig die Druckwasserspiegel der Festgesteinsgrundwasserleiter MGWL 2 und 3. Hier kommt es in der Nähe der Trassenverläufe auf Grund der tief eingeschnittenen Lage des umverlegten Lauchabettes zu einer deutlichen Druckverringerung in den MGWL 2 und 3. Im MGWL 1, welcher häufig ungespanntes Grundwasser führt, ist der Einfluss wesentlich geringer. Meist liegen die Absenkungsbeträge unter 0,5 m und nur in unmittelbarer Nähe der Trassen bei bis zu 1,5 m. Die höchsten Grundwasserabsenkungen sind in der Variante 3 östlich von Bündorf und nördlich von Knapendorf zu verzeichnen. In der Variante 4 treten die stärksten Absenkungen des Grundwasserstandes nördlich Knapendorf auf. Zum anderen hat die geplante Gestaltung der Hochhalde Schkopau im Endzustand einen starken Einfluss auf die Grundwasserstände im Liegenden der Hochhalde Schkopau und in den unmittelbar angrenzenden Bereichen. Dieser Einfluss resultiert sowohl aus der Abdeckung der Haldenoberfläche mit einer Dichtungsschicht, verbunden mit einem starken Rückgang der in den jeweils obersten MGWL übertretenden Sickerwasserströme, als auch aus der Optimierung des Randgraben- bzw. Drainagesystems. Hier kommt es für die Varianten 3 und 4 zu einer Absenkung der Grundwasserstände im nördlichen Bereich der Hochhalde von bis zu 6 m im MGWL 1 und 1 m bis 5 m im MGWL 2. Im MGWL 3 zeigt sich eine flächenhafte Absenkung von ca. 0,5 m bis 3 m.

Im Ergebnis der Modelluntersuchungen liegt die räumliche Konzentrationsverteilung im Grundwasser für Quecksilber und CKW für alle Prognosevarianten vor. Es ist eine deutlich höhere

Relevanz des Quecksilbers zu konstatieren. Die Quecksilberfahne erfährt im MGWL 1 in allen untersuchten Varianten eine geringe horizontale Ausbreitung. Die berechneten Quecksilberkonzentrationen erreichen, sowohl in der Nullvariante als auch in den Prognosevarianten, nur in der Modellschicht 1 Werte von 50 µg/l bis 60 µg/l in lokal eng begrenzten Bereichen im Liegenden der Hochhalde (Altdeponie 5). In den Festgesteins-MGWL sind die Quecksilberkonzentrationen deutlich geringer und deren Ausdehnung ebenfalls eng begrenzt.

Für die hydraulischen Randbedingungen, welche in den Prognosevarianten Berücksichtigung fanden, wurden sowohl die Volumenströme (durch Oberflächengewässer und Entwässerungselemente wie Randgräben und Drainagen aufgenommene Grundwassermengen) als auch die mit diesen eingetragenen Masseströme (Stofffrachten) für Quecksilber und für CKW bilanziert. Während die CKW-Konzentrationen bereits in der Nullvariante nur sehr geringe Masseströme zur Randbedingung Laucha hervorriefen und die Zielwerte der CKW-Konzentration im Lauchawasser deutlich unterschritten wurden, sind die Masseströme an Quecksilber erheblich und führen in mehreren Varianten zu deutlichen Grenzwertüberschreitungen.

Die Prognosevarianten 1 und 2, welche die Verlegung der Laucha ohne die begleitenden Maßnahmen zur Neugestaltung des Haldenrandgraben- bzw. Drainagesystems untersuchen, zeigen im Ergebnis eine Verbesserung der Situation gegenüber dem Istzustand, die vorgegebenen Zielwerte werden aber nicht eingehalten. Dies trifft für beide Varianten auf die UQN der Quecksilberkonzentration im Lauchawasser (0,07 µg/l) zu. Der angestrebte Zielwert wird im Fall der Variante 1 an allen und für die Variante 2 an 363, also nahezu allen Tagen im Jahr überschritten.

Nach Umsetzung der Maßnahmen zur Lauchaverlegung, begleitet von einer Neugestaltung des Haldenrandgraben- bzw. Drainagesystems entsprechend den aktuellen Planungen, werden sowohl in der Prognosevariante 3 (deponieferne Lauchaverlegung) als auch in der Prognosevariante 4 (deponienahe Lauchaverlegung) die UQN für den Massenstrom an Quecksilber in die Laucha eingehalten. Die angestrebte UQN für die Quecksilberkonzentrationen von 0,07 µg/l im Lauchawasser wird im Fall der Variante 3 bei NQ an drei Tagen im Jahr, also sehr selten, überschritten. Für MNQ wird er immer eingehalten. Bei Umsetzung der Variante 4 wird die UQN auch für geringe Durchflüsse (bis NQ) der Laucha immer eingehalten. Im Ergebnis des Variantenvergleichs weisen die Quecksilberkonzentrationen im Lauchawasser für die Variante 4 (deponienahe Umverlegung) günstigere Werte auf als für die Variante 3 (deponieferne Verlegung). Die Einhaltung des Grenzwertes der Quecksilberkonzentrationen im Lauchawasser ist nur bei Umsetzung der Variante 4 in vollem Umfang gewährleistet. Damit wird die Variante 4 als Vorzugsvariante zur Umsetzung empfohlen.

Die Schadstoffausbreitung im Grundwasser kann, insbesondere bei einer deponiefernem Verlegung der Laucha, nicht vollständig auf den Bereich der Deponieaufstandsfläche begrenzt werden. Bei einer Umsetzung der Maßnahmen der GSO 3.1 nach C & E, 2005 A bzw. der darauf aufbauenden aktuellen Planungen ist die Vorgabe aber annähernd erreichbar. Der aus der Hochhalde Schkopau ausgetretene Massestrom wird soweit begrenzt, dass es nicht zu Konzentrationen im Oberflächengewässer Laucha kommt, welche die angestrebten UQN für

Quecksilber und auch CKW überschreiten.

Die den Drainagen zuströmenden Grundwassermengen sind nach einer Umverlegung der Laucha größer als im gegenwärtigen Zustand. In den Varianten 3 und 4 kommt es zu einem weiteren, deutlichen Anstieg der Drainagewassermenge gegenüber der Nullvariante und auch den Varianten 1 und 2. Dieser Anstieg ist auf die Wirkung des neugestalteten und optimierten Randgraben-/Drainagesystems zurückzuführen. Diese Erhöhung ist aber erforderlich, um die Zielsetzungen hinsichtlich der Sicherung/Sanierung der Hochhalde Schkopau (u. a. Reduzierung des Abstroms von durch Sickerwässer kontaminiertem Grundwasser) zu erfüllen.

2 Veranlassung, Vorbemerkungen

Die MDSE Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH (MDSE) betreibt im Landkreis Saalekreis mehrere Altdeponien auf der Hochhalde Schkopau zur Ablagerung und Verwertung von Abfällen. Die Hochhalde Schkopau ist eine genehmigte Abfallentsorgungsanlage mit acht eigenständigen Altdeponien. Alle Altdeponien befinden sich seit dem 01.01.2013 in der Stilllegungsphase, wobei die Altdeponie 1 zwischenzeitlich durch Umlagerung auf die Altdeponie 2 in Vorbereitung der Umverlegung der Laucha vollständig rückgebaut wurde. Die Profilierungsplanung für die Altdeponien 3, 5, 6, 7 und 8 wurde durchgeführt. Die Profilierungsplanungen für die Altdeponie 2 und den DA 4.4 wurden durch das LVwA mit Bescheid vom 08.07.2009 bestätigt. Ebenfalls genehmigt sind mit Bescheid vom 08.07.2009 ein alternatives Oberflächenabdichtungssystem für die Altdeponien 2, 3, 5 bis 8 und den DA 4.4. Z. Z. laufen die Planungsarbeiten im Rahmen der Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau sowie die Ausführungsplanungen für die Rekultivierungsmaßnahmen einzelner Altdeponien sowie deren deponiekonkrete Umsetzung.

Als zweites wesentliches Vorhaben plant die MDSE im Rahmen der Sanierung der Hochhalde Schkopau die Umverlegung der Laucha aus dem eigentlichen Haldenbereich heraus. Ziel der Gewässerumverlegung ist die Minimierung des Eintrages kontaminierter Sickerwässer aus der Hochhalde Schkopau in das Gewässer. Nach aktueller Rechtsprechung handelt es sich bei der geplanten Gewässerumverlegung um den Ausbau eines Gewässers gemäß § 67 Abs. 2 Satz 1 WHG. Dieses bedarf gemäß § 68 Abs. 1 WHG eines wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahrens i. S. d. § 1 Abs. 1 Satz 1 VwVfG LSA i. V. m. §§ 72ff. VwVfG einschließlich einer Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) gemäß Anhang 1 Nr. 13.18.1 UVPg i.V.m § 7 Abs. 1 UVPg. Für die Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) werden diverse Fachgutachten erarbeitet. Ein Teil der UVS ist die Erarbeitung eines hydrogeologischen Gutachtens, das vergleichende Untersuchungen für die deponieferne und die deponienahe Variante enthält und unter hydrogeologischen Gesichtspunkten eine Vorzugsvariante ableitet.

Im Zeitraum 2007/2008 wurden bereits umfangreiche modellgestützte Untersuchungen zu den hydrogeologischen Auswirkungen der Umverlegung der Laucha vorgenommen (IHU GmbH, 2008). Im Mittelpunkt dieser Untersuchungen standen zwei Varianten der geplanten Verlegung der Laucha:

- deponieferne Umverlegung
- deponienahe Umverlegung

Für beide Varianten befanden sich die Planungen seinerzeit in einem frühen Stadium, so dass die Angaben zum Trassenverlauf und vor allem zur Ausbildung des Gewässerprofils und zur Lage der perspektivischen Gewässersohle noch keine abschließenden Lösungen darstellten. Die zu beachtenden hydraulischen Randbedingungen, insbesondere das perspektivische hydraulische Sicherungssystem der Hochhalde Schkopau (Randgräben, Drainagen, etc.), befanden sich ebenfalls noch in einem sehr frühen Planungsstadium. Zum damaligen Zeitpunkt (2008) war das der Stand des TSRK (C&E 2005 A, B).

Zwischenzeitlich schritten zum einen die Planungen zur Umverlegung der Laucha voran, zum anderen begann die Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau. Im Rahmen der Generalplanung werden insbesondere das Oberflächenabdeckungssystem einschließlich der Böschungsgestaltung, die Fassung und Ableitung des Grundwassers sowie die Fassung, Aufbereitung und Ableitung des aus dem Haldenbereich abströmenden kontaminierten Grundwassers planerisch weiterentwickelt.

Infolge des unterschiedlichen zeitlichen Voranschreitens der verschiedenen Planungsvorhaben kam es z. T. zu Veränderungen in den einzelnen Planungen, die wiederum gegenseitig Randbedingung für die parallel laufende Planung waren. Dies führte dazu, dass auch das sowohl im Rahmen der Planungen zur Umverlegung der Laucha als auch der Generalplanung zur Hochhalde Schkopau eingesetzte Grundwassermodell teilweise nicht den aktuellen Planungsstand beider Vorhaben enthielt.

Da die Umverlegung der Laucha in unmittelbarem Zusammenhang mit der Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau steht und sich beide Vorhaben durch ihre jeweiligen Auswirkungen gegenseitig beeinflussen, ist es unbedingt erforderlich, dass beide Planungen von den gleichen Grundlagen ausgehen. Dies trifft sowohl auf die Grundlagen der Modellierung der Grundwasserströmung und des Stofftransports im Grundwasser zu, als auch auf die aus der Modellierung resultierenden Ergebnisse, die wiederum in den Planungen zur Umverlegung der Laucha und zur Generalplanung Berücksichtigung finden.

Diese Situation war der Ausgangspunkt für die jetzige Modellüberarbeitung bzw. Präzisierung. Mit dieser sollte ein einheitlicher Stand des mathematischen Modells der Grundwasserströmung und des Stofftransports erreicht werden, welcher den aktuellen Stand beider Planungsvorhaben umfasst. Damit wird gewährleistet, dass in beiden Planungsvorhaben von einer einheitlichen Basis bzgl. der Modelleingangsdaten und letztlich auch der Modellergebnisse ausgegangen werden kann.

Grundlage der Bearbeitung ist das kalibrierte Grundwasserströmungsmodell (Stand 12/2008, Bearbeitung zur Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau gemäß § 36 KrW-/AbfG, modelltechnische Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung, IHU 2008), welches das unterirdische Einzugsgebiet der Hochhalde Schkopau umfasst. Da im Jahr 2010 weitere Untersuchungen, es wurden mehrere GWM südlich der Hochhalde Schkopau errichtet, im Rahmen der Planungen zur Umverlegung der Laucha durchgeführt wurden, und damit auch hydrogeologische Erkundungsergebnisse vorlagen, wurde das Grundwasserströmungsmodell für den Schwerpunktbereich der Untersuchung (Umfeld der Verlegungstrasse der Laucha) seinerzeit nachkalibriert.

Im Jahr 2014 erfolgten auf Grund der Änderung des Trassenverlaufs der deponienahen Variante der Lauchaumverlegung erneut Baugrunderkundungen in diesem Bereich. Es wurden eine Reihe von Bohrungen abgeteuft, welche teilweise zu Grundwassermessstellen ausgebaut wurden. Neben der Berücksichtigung des neuen Trassenverlaufs der deponienahen Variante sollten in der erneuten Grundwassermodellierung auch die Ergebnisse dieser neuen Aufschlüsse gewürdigt werden.

Mit dem Schreiben vom 02.12.2013 beauftragte die MDSE die IHU GmbH mit der Ausführung der Leistungen.

Der vorliegende Ergebnisbericht dokumentiert die Arbeiten zur Grundwassermodellierung für die Leistungsschwerpunkte:

- Modellaktualisierung und –präzisierung anhand der neuen Erkundungsergebnisse
- Variantenuntersuchungen bzgl. der Auswirkungen der Lauchaumverlegung auf die Grundwasserdynamik
- Variantenuntersuchungen bzgl. der Auswirkungen der Lauchaumverlegung auf die Schadstoffausbreitung im Grundwasser aller betroffenen Grundwasserleiter.
- Bewertung der Modellergebnisse und Ableitung der Vorzugsvariante der Lauchaumverlegung

3 Eingesetzte Software

3.1 Modell der Grundwasserströmung (MODFLOW)

Die Auswahl der Modellierungssoftware wird in erster Linie durch die Anforderungen bestimmt, die sich aus dem konzeptionellen Modellansatz und aus der Zielstellung der Modelluntersuchungen ergeben. Aber auch Kriterien wie Zuverlässigkeit der Programme und der Grad ihrer Verifizierung und ihrer Verbreitung sind relevant. Die Modellierung der Grundwasserströmung wird mit dem Programmsystem MODFLOW (MC DONALD & HARBAUGH 1988) durchgeführt.

MODFLOW ist ein leistungsfähiges Programm zur Simulation der 3D-Grundwasserströmung. Es basiert auf der Finite-Differenzen-Methode zur räumlichen Diskretisierung der systembeschreibenden Differentialgleichung. In das Programmsystem sind eine Vielzahl von Randbedingungen implementiert, die u. a. eine vertiefende Betrachtung von Oberflächengewässern (Fließgewässer – STREAM-FLOW-ROUTING-Package, grundwassergefüllten Seen - LAKE-AVC-Package), von Dichtwänden (HORIZONTAL-BARRIER-Package) u. a. ermöglichen.

MODFLOW ist insbesondere durch die folgenden Leistungsmerkmale gekennzeichnet:

- Das Programm ist zur Simulation der Grundwasserströmung für zwei- und dreidimensionale Probleme unter Berücksichtigung einer Ortsdiskreten Verteilung der Schichtgeometrie und der geohydraulischen Parameter geeignet.
- Das Grundwasser in den Aquiferen kann gespannt, ungespannt oder teils gespannt, teils ungespannt sein, verschiedene Schichten innerhalb eines Modells können durch verschiedene Strömungszustände charakterisiert sein. Ein Wechsel zwischen gespanntem und ungespanntem Grundwasser innerhalb eines Elementes im Laufe der zeitlichen Veränderung des Wasserstandes ist möglich.
- Stationäre (zeitunabhängige) und instationäre (zeitabhängige) Strömungen und Randbedingungen können simuliert werden.
- Es bestehen vielfältige Möglichkeiten der Realisierung unterschiedlicher Randbedingungen, z. B. Grundwasserentnahmen bzw. -einspeisungen, Grundwasserneubildung, Evapotranspiration, Drainagen, Dichtwände, Oberflächengewässer (Fließgewässer, Seen).

Zur Berücksichtigung von Oberflächengewässern, die ausschließlich mit Grundwasser gefüllt sind (z. B. Restseen des Braunkohlenbergbaus), wurde durch die IHU GmbH ein spezielles Programmmodul (Seerandbedingung, LAKE-AVC-PACKAGE) entwickelt und implementiert (REMBE und WENSKE 1997). Diese Randbedingung erlaubt eine optimale Umsetzung solcher Randbedingungen durch Vorgabe einer Volumen-Flächen-Kennlinie.

Das Programmsystem MODFLOW wurde in den Jahren 2004 bis 2014 durch die IHU GmbH grundlegend erweitert. Es ist nunmehr möglich, lokale Gitterverfeinerungen durchzuführen, also Lupenbereiche in horizontaler und vertikaler Richtung zu definieren. Damit erhöht sich die Leistungsfähigkeit der Software nochmals erheblich. Des Weiteren wurde die Kopplung mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell ArcEGMO realisiert. Damit kann die zeitabhängige Grundwasserneubildung detailliert und phänomenologisch exakt modelltechnisch abgebildet werden.

MODFLOW ist das bei weitem am häufigsten eingesetzte Programmsystem zur Simulation der Grundwasserströmung weltweit und weist einen entsprechend hohen Grad der Verifizierung auf.

3.2 Modell des Stofftransports im Grundwasser (MT3D-FL)

Für die Berechnungen zum Stofftransport im Grundwasser zur Ermittlung der räumlich-zeitlichen Verbreitung der Schadstoffkonzentration im Grundwasser kommt das Programmsystem MT3D-FL (ZHENG 1993; BOY & HAEFNER 1998) zum Einsatz. MT3D bzw. MT3D-FL ist ein sehr häufig eingesetzter Programmcode zur Simulation von 3D-Stofftransportprozessen im Grundwasser. Berücksichtigt werden die folgenden, grundlegenden Phänomene:

- Advektion
- Dispersion/Diffusion
- Physikochemische Wechselwirkungen (Isothermenkonzepte: Linear, FREUNDLICH, LANGMUIR)
- Abbau, (radioaktiver) Zerfall als Zerfall 1. Ordnung

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Tiefbohrtechnik und Fluidbergbau wurde zur Lösung des Transportproblems ein Algorithmus implementiert, der die Leistungsfähigkeit des Programms erheblich steigert (Umbenennung in MT3D-FL). Dieser Front-Limitation-Algorithmus (BOY, & HAEFNER 1998) behebt insbesondere die Probleme der numerischen Dispersion und der Beeinflussung der Problemlösung durch Gitterorientierungseffekte. MT3D-FL setzt auf die Berechnungsergebnisse von MODFLOW auf, d. h., es nutzt die von MODFLOW berechneten Grundwasservolumenströme als Grundlage der Simulation des Stofftransports. MT3D-FL arbeitet analog zu MODFLOW mit der Technik der lokalen Gitterverfeinerung.

3.3 Prä- und Postprozessor (CADSHELL)

Als Prä-/Postprozessing-System kommt das Programm CADSHELL zum Einsatz (DACHSELT et al. 1995, KNAB et al. 1998 bis 2007). CADSHELL ist vollständig grafisch implementiert und verfügt als AutoCAD-Applikation über umfangreiche grafische bzw. CAD-Features. CADSHELL ist eine Entwicklung der IHU GmbH und wird ständig an die aktuellen Entwicklungen von MODFLOW bzw. MODPATH und MT3D-FL angepasst.

Der grafische Prä-/Postprozessor unterstützt die in MODFLOW eingeführte Technik der lokalen Gitterverfeinerung vollständig, so dass alle Hilfs- und Anzeigefunktionen (Eingabe und Editieren der Daten, Modellkalibrierung, Bilanzierung der Volumenströme u. a.) auch in der Lupenversion zur Verfügung stehen. Das gesamte Softwarepaket wird durch die IHU GmbH kommerziell vertrieben.

4 Überarbeitung des mathematischen Modells

4.1 Übernahme der Daten aus den Baugrunduntersuchungen 2009/2010 und weiterer aktueller Ergebnisse

In den Jahren 2009/2010 und 2014 wurden im Rahmen der Erkundung der Trasse der geplanten Umverlegung der Laucha umfangreiche Untersuchungen zur Erkundung des Baugrundes durchgeführt (KLEIN 2010; GGU 2010 und BuG 2014). Neben einer Reihe von Aufschlüssen zur Gewinnung von Bodenproben wurden auch mehrere GWM (GGU 2010, BuG 2014) errichtet. An diesen GWM erfolgten geohydraulische Testarbeiten (Pumpversuche) und Messungen des Grundwasserstandes. Die Ergebnisse stellen eine wichtige Grundlage zur Verbesserung des Kenntnisstandes i. A. und insbesondere zur Qualifizierung des mathematischen Modells der Grundwasserströmung im engeren Untersuchungsgebiet dar.

Die in KLEIN, 2010 dokumentierten Ergebnisse resultieren aus Baugrundaufschlüssen, die nicht gezielt auf die Erkundung der Grundwasserströmungsverhältnisse ausgerichtet waren. Insofern bestätigen die Ansprachen der angetroffenen Bodenschichten die Vorstellungen zur Ausbildung des oberflächennahen Untergrundes. Die Erkenntnisse zur Grundwasserströmung sind aber von untergeordneter Bedeutung.

Eine wesentliche Verbesserung des Kenntnisstandes zu den Grundwasserströmungsverhältnissen im engeren Untersuchungsgebiet (südlich der Hochhalde Schkopau) brachten dagegen die Untersuchungsergebnisse nach GGU, 2010 und BuG, 2014. Die nachfolgenden Ausführungen konzentrieren sich entsprechend auf die ebenda dokumentierten Untersuchungen und Ergebnisse. Im Rahmen der 2009/2010 ausgeführten Baugrunduntersuchungen wurden 22 Sondierungen und Bohrungen abgeteuft. Neun Bohrungen wurden zu GWM ausgebaut, geohydraulisch getestet und zu Messungen des Grundwasserstandes genutzt. Damit liegen für die neun GWM die ermittelten Transmissivitäten bzw. k_f -Werte vor. Desgleichen standen im Ergebnis der Grundwasserstandsmessungen im Mai/Juni 2009 die Wasserspiegel zur Verfügung. Die ermittelten geohydraulischen Parameter wurden im Rahmen der Präzisierung des geohydraulischen Modells für das engere Untersuchungsgebiet (Bereich südlich der Hochhalde Schkopau) genutzt.

Im Zeitraum Mai bis Juni 2014 wurden nochmals 18 Bohrungen und vier Rammkernsondierungen abgeteuft, fünf schwere Rammsondierungen durchgeführt und drei Bohrungen zu GWM ausgebaut. An letzteren wurden Pumpversuche durchgeführt und im Juni 2014 Messungen der Grundwasserstände vorgenommen. Weitere Ausführungen zu den o. g. Baugrunduntersuchungen sind dem Band B8 und seinen Anlagen zu entnehmen.

Tabelle 1 fasst die Angaben zu den verwendeten GWM zusammen, B13 Anl1, Blatt 4 zeigt die Lage der GWM. Ausführungen zur Umsetzung der vorliegenden Erkundungsergebnisse im Rahmen des mathematischen Modells und zur Widerspiegelung der gemessenen Grundwasserstände durch das Grundwasserströmungsmodell im Rahmen der Kalibrierung folgen unter Punkt 4.7.

Tabelle 1: Untersuchungsergebnisse der Baugrunderkundungen (GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3)

Bezeichnung der Bohrung bzw. GWM	Rechtswert	Hochwert	Höhe	MGWL	kr-Wert PV	T-Wert PV	kr-Wert Modell	T-Wert Modell	Wsp. in m NHN
	in m	in m	in m		in m/s	in m ² /s	in m/s	in m ² /s	
BK/GWM 46	4494160,91	5693653,73	92,88	1	3,00E-08		1,00E-05		92,46
BK/GWM 47	4496217,93	5694465,47	98,09	2	4,00E-05	1,60E-05		4,00E-06	97,46
BK/GWM 48	4496225,33	5694464,23	98,06	2	1,00E-05	7,00E-06		4,00E-06	97,21
BK/GWM 49	4496887,00	5694343,15	97,12	3	4,00E-05	2,92E-04		8,00E-04	94,81
BK/GWM 50	4496888,71	5694345,74	96,93	3	8,00E-05	6,32E-04		8,00E-04	94,81
BK/GWM 51	4497129,60	5694349,97	96,71	3	7,00E-05	5,39E-04		8,00E-04	94,35
BK/GWM 52	4497140,78	5694352,92	96,86	3	3,00E-05	2,25E-04		8,00E-04	94,38
BK/GWM 55	4497114,99	5694763,60	96,12	3	7,00E-07	4,13E-06		2,00E-05	89,97
BK/GWM 56	4496575,49	5694905,52	98,27	1	1,00E-05		5,00E-06		92,89
BK/GWM 2/13	4496999,00	5694451,00	98,16	3	7,40E-07	1,50E-05		1,00E-04	92,85
BK/GWM 5/13	4497097,00	5694575,00	98,06	3	2,80E-06	2,80E-05		1,00E-04	92,57
BK/GWM 20/13	4497363,00	5694947,00	92,53	1	1,10E-06	5,20E-06	3,00E-06		87,01

Die Änderungen in der Planung zur Umverlegung der Laucha bezogen sich auf die deponienahe Variante. Hier wurden sowohl der Verlauf der geplanten Trasse (Bereich östlich der ehemalige Altdeponie 1 und des östlichen Abschnittes der Altdeponie 2) als auch die Höhenlage der Sohle des geplanten Gewässerbettes verändert. Abbildung 1 veranschaulicht das Sohlgefälle des geplanten Gewässers.

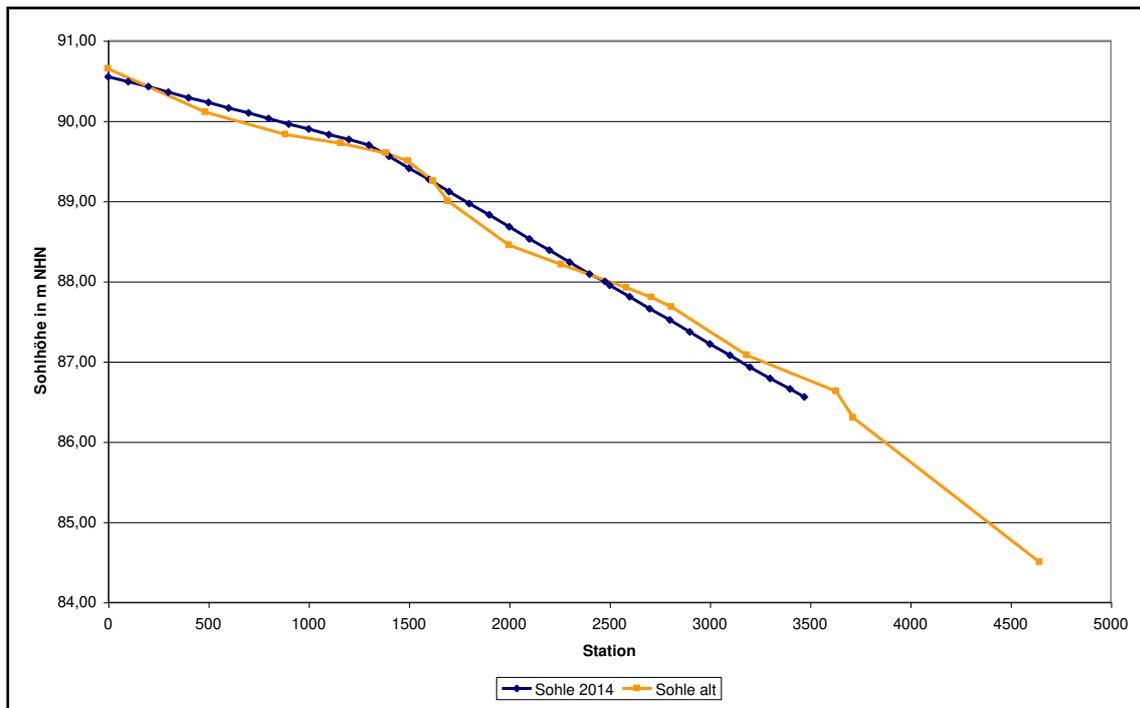


Abbildung 1: Gradiente der geplanten Laucha (deponienaehe Variante)

Diese wurden in Hinblick auf den Verlauf und die Höhenlage der Laucha in das Grundwasserströmungsmodell integriert.

4.2 Diskretisierung des Strömungsfeldes

4.2.1 Vertikale Diskretisierung

Das mathematische Modell der Grundwasserströmung auf dem Stand des Jahresberichtes zum Grundwassermonitoring (IHU 2007B) stellt die Basis des aktuellen Modells dar. Im Rahmen der weiteren Bearbeitung (IHU 2008) wurde u. a. die horizontale Diskretisierung den speziellen Erfordernissen der Varianten zur Lauchaverlegung angepasst. Die vertikale Diskretisierung blieb unverändert. Die folgenden Ausführungen stellen eine verkürzte Darstellung der in IHU, 2007B und IHU, 2008 enthaltenen Erläuterungen dar. Bezüglich der kartografischen Darstellungen zur Parameterverteilung und zur Schichtgeometrie wird auf IHU, 2007B sowie B13 Anl8 Blatt 2 bis Blatt 6 verwiesen.

Um der örtlich variierenden Geometrie der Grundwasserleiter und –stauer, der Randbedingungen sowie der Verteilung der Parameter, insbesondere der Durchlässigkeitsbeiwerte, Transmissivitäten und Leakage-Faktoren Rechnung tragen zu können, muss das Untersuchungsgebiet in vertikaler und horizontaler Richtung in Schichten bzw. Planungselemente (diskrete Elemente) unterteilt werden. Diese Unterteilung des Strömungsfeldes wird als räumliche Diskretisierung bezeichnet. Die modelltechnische Erfassung des vertikalen Aufbaus der Grundwasserlagerstätte macht eine entsprechende Umsetzung der Grundwasserleiter-/Grundwasserstauerabfolge erforderlich.

Unter Berücksichtigung der Möglichkeiten zur Zusammenfassung verschiedener Grundwasserleiter und der Prüfung der Relevanz der einzelnen Horizonte wurden im mathematischen Modell fünf Schichten ausgehalten:

Tabelle 2: Übersicht Modellschichten nach IHU2007B

Modellschicht	Stratigrafische Gliederung		GWL/ GWSt	Modell-Grundwasserleiter (MGWL)	Mächtigkeit, minimal [m]	Mächtigkeit, maximal [m]
1	Quartär/ Tertiär	ungegliedert, Auffüllung, quartäres und tertiäres Lockergestein	GWL	MGWL 1	2,8	74,49
2	Mittlerer Bunt- sand- stein	Hardeggen-Folge (smH)	GWL	MGWL 2	1,65	141,79
3		Detfurth-Ton (smDT)	GWSt		0	116,35
4		Detfurth-Wechselagerung/ -Sandstein (smDW+smDS)	GWL	MGWL 3	2	37,36
5		Aviculaschichten/ Rotweiße Wechselfolge, oberer sandiger Teil (smVA+smVW)	GWL	MGWL 4	2,28	107,81

Der Detfurth-Ton als regional verbreiteter Grundwasserstauer wird als separate Modellschicht mit sehr geringer horizontaler Durchlässigkeit behandelt. Die Trennung der weiteren Schichten bzw. Modellgrundwasserleiter erfolgt durch Leakage-Faktoren, die es ermöglichen, eine von der horizontalen Durchlässigkeit abweichende vertikale Durchlässigkeit, welche die Kommunikation der Grundwasserleiter steuert, wenn erforderlich auch nur in bestimmten Bereichen, zu berücksichtigen.

Eine eindeutige Differenzierung der z. T. nur kleinräumig verbreiteten einzelnen Lockergesteinsgrundwasserleiter ist nicht möglich. Es kommt darüber hinaus i. A. zum Druckausgleich zwischen den Lockergesteinsgrundwasserleitern und damit zu einem einheitlichen Grundwasserstand. Die unter der Hochhalde Schkopau und im westlichen Teil des Standortes der Dow Olefinverbund GmbH anstehenden quartären Schichten sind von den tertiären Sedimenten nicht durch einen Liegendstauer, der über größere Bereiche auszuhalten ist, getrennt. Des Weiteren ist im Bereich des Übergangs Werksplanum - Saaleaue die natürliche Schichtung durch anthropogene Eingriffe gestört. Aus den genannten Gründen wurde der gesamte Lockergesteinsbereich in der Modellschicht 1 (MGWL 1) erfasst. Der Ablagerungskörper der Hochhalde Schkopau wird im Grundwasserströmungsmodell nicht betrachtet. Für diesen Bereich erfolgt eine Berücksichtigung der vertikalen Zusickerung über modifizierte Grundwasserneubildungs- bzw. Sickerwasserraten. Die Ermittlung der Sickerwasserraten war Gegenstand der bei C&E, 2005A dokumentierten, separaten Modellierung des Haldenkörpers mit einem speziellen numerischen Modell. Auf Basis dieses Modells wurden für die Nullvariante und für Prognosevarianten die in den MGWL 1 übertretenden Sickerwasserraten bestimmt. Gemäß den inhaltlichen Abstimmungen wurde die Sanierungsoption „minimale Abdeckung“ und die Gesamt-sanierungsoption (GSO) 3.1 nach C&E, 2005A den weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt. Weitere

Ausführungen zu dieser Problematik erfolgen unter Punkt 5.3 und 5.4.

Im MGWL 1 wurde vom Vorhandensein ungespannten Grundwassers bzw. von einem Wechsel zwischen gespanntem und ungespanntem Grundwasser ausgegangen. Entsprechend erfolgt die Berechnung der Grundwasserspiegelhöhen auf der Basis von Durchlässigkeitsbeiwerten, Grundwasserleitersohl- und -deckschichthöhen.

Die Hardeggen-Folge (MGWL 2) ist im überwiegenden Teil des Untersuchungsgebietes verbreitet und stellt einen wichtigen Grundwasserleiter dar. Als oberster Festgesteins-GWL ist sie durch Schadstoffeinträge insbesondere bedroht. Südlich der Hochhalde Schkopau steht die Hardeggen-Folge oberflächlich an und kommuniziert über große Bereiche, sowohl mit dem Wertsgraben als auch perspektivisch mit der verlegten Laucha. Das Grundwasser in der Hardeggen-Folge ist gespannt, so dass die Berechnungen auf der Basis von Transmissivitäten erfolgen.

Der durch die Modellschicht 3 repräsentierte Detfurth-Ton, als wichtigster regionaler Grundwasserstauer, beeinflusst in bedeutendem Maße den Stofftransport im Grundwasser in vertikaler Richtung. Dies ist für große Teile des Betrachtungsgebietes einschließlich des gesamten Bereiches der Hochhalde Schkopau von Bedeutung. Es wird vom Vorhandensein gespannten Grundwassers ausgegangen, so dass als Durchlässigkeitsgrößen Transmissivitäten vorgegeben werden.

Auf Grund der unterschiedlichen hydrostratigrafischen Ausbildung und der Unterschiede im Druckniveau zwischen dem Komplex Detfurth-Wechselagerung/Detfurth-Sandstein (MGWL 3) und den Aviculaschichten/Rotweiße-Wechselfolge (oberer, sandiger Teil) – MGWL 4 wurden diese beiden Horizonte als getrennte Modellschichten ausgehalten. Das Grundwasser ist in beiden Modellschichten gespannt, so dass die Berechnungen für beide Schichten unter Berücksichtigung von Transmissivitäten erfolgten. Den Komplex Detfurth-Wechselagerung/Detfurth-Sandstein repräsentiert die Modellschicht 4, die Aviculaschichten/ Rotweiße-Wechselfolge (oberer, sandiger Teil) die Modellschicht 5.

Die im GW-Strömungsmodell IHU2007B verifizierten Durchlässigkeiten und Transmissivitäten sind in B13 Anl8, Blatt 3 bis 7 dargestellt.

4.2.2 Horizontale Diskretisierung

Die horizontale Diskretisierung hat eine nach fachlichen Kriterien (Erfassung von Rändern des Strömungsraumes, von Randbedingungen und Strukturelementen, numerische Stabilität, etc.) sowie nach Rechenzeitkriterien optimale Unterteilung des Strömungsfeldes in Planungselemente zum Ziel. Den diskreten Elementen werden die jeweils gültigen Angaben zur Schichtgeometrie, Parametersätze bzw. Randbedingungen zugeordnet. Da die durch die vertikale Diskretisierung ausgehaltenen Modellschichten unterschiedliche horizontale Verbreitungen haben, entstehen im Zuge der horizontalen Diskretisierung fünf unterschiedliche Elementeraster. Allerdings ist das Modellgitter in vertikaler Richtung konsistent, d. h., dass Lage und Abmessungen vertikal übereinander liegender Rasterelemente gleich sind. Gebiete, die von besonderem Interesse sind

(Fassungsstandorte, Randbedingungen, Abgrenzung der einzelnen Altdeponien und Deponieabschnitte der Hochhalde Schkopau, etc.), müssen feiner (kleinere Planungselemente) als randliche Bereiche des Strömungsfeldes diskretisiert werden, um die Diskretisierungsfehler möglichst gering zu halten.

Durch die nunmehr eingesetzte MODFLOW-Programmversion, in der die Technik der lokalen Gitterverfeinerung implementiert ist, kann diesen Belangen sehr gut Rechnung getragen werden. Änderungen der Diskretisierung im Lupenbereich haben keine Auswirkungen auf die Randbereiche des Modells und damit auf die dort befindlichen Randbedingungen sowie die Geometrie der Modellelemente.

Eine wesentliche Anforderung an die Präzisierung des als Basis dienenden mathematischen Modells (IHU 2007B) war die hinreichend detaillierte Erfassung der Strukturen bzw. der Aufstandsfläche des Haldenkörpers der Hochhalde Schkopau, über die die Kommunikation mit dem MGWL 1 erfolgt, sowie der hydraulischen Randbedingungen im unmittelbar umliegenden Grundwasserströmungsfeld. Das Elementeraster des bestehenden Modells wies im Bereich der Hochhalde Schkopau i. A. Maschenweiten von 100 x 100 m auf. Eine genügend kleine Auflösung der relevanten Strukturelemente (Abgrenzung der einzelnen Altdeponien und Deponieabschnitte, Haldenrandgräben, Laucha) war auf dieser Basis nicht möglich. Aus diesem Grund erfolgte die Verfeinerung des Elementerasters auf Maschenweiten von 50 x 50 m bis 20 x 20 m, wobei bei gezielter Anpassung der Elementestruktur an Randbedingungsverläufe (Laucha, geplante Lauchatrassen, Randgräben, Drainagesystem) die kleinsten Elementeabmessungen gewählt wurden. Damit können der bestehende und die geplanten Verläufe der Laucha sowie der hydraulischen Sicherungselemente (Haldenrandgräben bzw. Drainagen) mit der notwendigen Lagegenauigkeit modelltechnisch abgebildet werden.

Um den mit wachsender Elementanzahl steigenden Bedarf an Rechenzeit in einer vertretbaren Größenordnung zu halten, sind die Elementeabmessungen in den Randbereichen, insbesondere im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes (Bereich Bad Lauchstädt – Schafstädt), erheblich größer gewählt, als in den Schwerpunktbereichen der Untersuchung. Sie betragen hier ca. 250 m x 250 m bis 500 m x 250 m. Das Basisgitter des Modells (ohne Berücksichtigung der Modelllupen) hat 127 Elemente in x-Richtung und 112 Elemente in y-Richtung. Auf Grund der unterschiedlichen horizontalen Ausbreitung der Modellschichten und der Modelllupen variiert deren Elementanzahl. Für das Gesamtmodell mit den fünf Modellschichten einschließlich der Lupenbereiche ergibt sich eine Gesamtanzahl von ca. 99.500 aktiven Rasterelementen (vergl. B13 Anl8, Blatt 1). Die Fläche des Modellgebietes beläuft sich auf ca. 106 km², die des Lupenbereiches Hochhalde Schkopau auf ca. 11,2 km². Die Lage des Elementerasters im Lupenbereich der Hochhalde Schkopau sowie die Größe der Rasterelemente gehen aus den Karten in B13 Anl1, Blatt 1 und 2 hervor.

Zusammenfassend wird eingeschätzt, dass die Feinheit der Diskretisierung zum einen dem vorhandenen Kenntnisstand entspricht und zum anderen die Erfüllung der Aufgaben- bzw. Zielstellung der Modellierungsarbeiten gewährleistet.

4.3 Schichtgeometrie, geohydraulische Parameter und Randbedingungen Gesamtmodell

Die Angaben zu den Ober- und Unterkanten der Modellschichten, den Durchlässigkeitsbeiwerten bzw. Transmissivitäten, den Grundwasserneubildungsraten und den Zu- bzw. Abflüssen wurden aus dem Basismodell übernommen und wenn erforderlich aktualisiert. Der hydraulische Kontakt zwischen MGWL 1 und 2 wurde mit Hilfe von Leakagefaktoren, im Bereich $1E-5$ bis $1E-12$, realisiert. Insbesondere wurden die Grundwasserentnahmen und -infiltrationen an den Sanierungs- und Abwehrbrunnen der Maßnahmen M 02 und M 05 des ÖGP Buna dem bei IHU 2007A, B dokumentierten Bearbeitungsstand angepasst bzw. für die den aktuellen Zeitraum entsprechend den Angaben in IHU, 2010 fortgeschrieben. Die Brunnen befinden sich im zentralen bis nordöstlichen Teil des Standortes Schkopau der Dow Olefinverbund GMBH und somit außerhalb des Lupenbereiches der Hochhalde Schkopau. Obwohl sie in deutlichem Abstand von der Hochhalde Schkopau liegen, haben sie einen gewissen Einfluss auf die Hydrodynamik in Teilen des östlichen Modellgebietes.

Der Einfluss der Maßnahmen M 02 und M 05 auf den unmittelbaren Untersuchungsbereich der geplanten Lauchaumverlegung ist zwar für die MGWL 1 und 2 als nicht gravierend einzuschätzen, die Auswirkungen werden dennoch durch das Grundwasserströmungsmodell sowohl für den Ausgangszustand als auch für die Prognosevarianten entsprechend dem vorliegenden Kenntnisstand abgebildet.

4.4 Randbedingungen im Umfeld der Hochhalde Schkopau

Für die konkrete Widerspiegelung der Wasserbilanz gegenüber dem Modellstand nach IHU, 2007 A, B im Umfeld der Hochhalde Schkopau war es erforderlich, neben der Aktualisierung der Randbedingungen des Gesamtmodells eine Reihe von Randbedingungen zusätzlich bzw. verfeinert in das mathematische Modell aufzunehmen. Hier sind zu nennen:

- Haldenrandgraben, nördlicher Abschnitt
- Haldenrandgraben, südlicher Abschnitt
- offene Wasserflächen bzw. Teiche im Nordwesten der Hochhalde Schkopau
- Laucha im Abschnitt Bündorf bis zum Austritt aus der Hochhalde Schkopau.
- Wertsgraben

Im Wesentlichen erfolgten die erforderlichen Präzisierungen der Randbedingungen im Grundwasserströmungsmodell bereits in IHU, 2008. Da zwischenzeitlich weitere neue Vermessungsergebnisse vorlagen, wurden weitere Präzisierungen, insbesondere der Höhenlage der Randbedingungen, vorgenommen. B13 Anl1, Blatt 3 gibt einen Überblick über die Lage der Randbedingungen.

Der Kenntnisstand zum nördlichen Haldenrandgraben und den Gewässern im Nordwesten der Hochhalde Schkopau ist nach wie vor gering. Da der Grundwasserstand im MGWL 1 im

Liegenden der Hochhalde Schkopau auf mittlerweile ca. 102 m NHN gesunken ist, ist bei der Höhenlage dieser Randbedingungen nur noch von einer sehr geringen bis vernachlässigbaren entwässernden Wirkung für das Grundwasser auszugehen. Der Rückgang der Grundwasserstände in diesem Bereich ist auf den Effekt des Leerlaufens des bis Mitte der 1990er Jahre bespülten und damit seinerzeit nahezu vollständig wassergesättigten Haldenkörpers zurückzuführen. Unabhängig von den meteorologischen Bedingungen gingen die Grundwasserstände seit dem Ende der Nutzung der Spüldeponie in ihrem Trend zurück. Die im Bereich des nördlichen Haldenrandgrabens temporär anfallenden Wassermengen dürften auf direkte Sickerwasseraustritte aus dem Deponiekörper und zufließendes Oberflächenwasser zurückzuführen sein. Die Gewässer bzw. der Randgrabenabschnitt nördlich der Hochhalde Schkopau wurden als Randbedingungen 3. Art (Drainagen) im Modell umgesetzt. D. h., die Randbedingungen wirken nur, wenn sich Grundwasserstände in entsprechender Höhe einstellen. Im Fall des südlichen Haldenrandgrabens erfolgt die modelltechnische Widerspiegelung ebenfalls als Randbedingung 3. Art (Drainagerandbedingung). Die Angaben zum südlichen Haldenrandgraben konnten anhand vorliegender aktueller Vermessungsergebnisse präzisiert werden.

Die Laucha wurde als Flussrandbedingung erfasst. Die Angaben hierfür wurden anhand der 2010 durchgeführten Bestandsvermessung ebenfalls präzisiert. Die Modelldiskretisierung wurde im Bereich südlich der Hochhalde Schkopau, wo Haldenrandgraben und Laucha sehr dicht beieinander liegen, so verfeinert, dass eine getrennte Betrachtung und Bilanzierung der beiden Randbedingungen möglich ist.

Nach der durchgeführten Gitterverfeinerung wurden die Randbedingungelemente für die Laucha, den Wertsgraben und für die Haldenrandgräben entsprechend den Verläufen neu erstellt und mit den zugehörigen Angaben (Gewässersohlhöhen und –wasserstände bzw. Drainagehöhen) unter Berücksichtigung der aktuellen Vermessungsergebnisse belegt.

Anhand der bei C & E, 2004 dokumentierten Untersuchungsergebnisse existieren für die Laucha im Abschnitt Bündorf bis Austritt aus der Hochhalde Schkopau Durchflussmessungen und darauf basierende Angaben zur aufgenommenen Wassermenge (Tabelle 3). Diese beträgt zwischen 720 m³/d (Juni 2003) und 1.440 m³/d (April 2003). Für den Haldenrandgraben lagen keine derartigen Angaben vor. Die für die Laucha ermittelten Differenzwassermengen können als Grundlage der Bewertung der Modellkalibrierung über eine Bilanzierung verwendet werden. Für die Bilanzierung, die auf Grund des Umfangs der vorliegenden Messergebnisse nur den Charakter einer Abschätzung tragen kann, ist der länger zurückliegende Messzeitpunkt von geringerer Bedeutung.

Tabelle 3: Ergebnisse der Abflussmessungen an der Laucha nach C & E, 2004

Durchflussmessstelle	Durchfluss in m ³ /d		
	Apr 03	Mai 03	Jun 03
LAU 1 (Bündorf)	14.400,0	17.280,0	12.672,0
LAU 5 (Austritt aus Hochhalde Schkopau)	15.840,0	18.576,0	13.392,0
Differenz	1.440,0	1.296,0	720,0

Neben den in Tabelle 3 aufgeführten Angaben zum Durchfluss der Laucha liegen deren hydrologische Hauptzahlen am Pegel Schkopau aus der Datenreihe 1998 bis 2016 (Angaben des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt) vor. In Tabelle 4 sind die Werte zusammengestellt.

Tabelle 4: Hydrologische Hauptzahlen der Laucha (Pegel Schkopau)

	Durchfluss in m ³ /s
NQ	0,005
MNQ	0,027
MQ	0,110
MHQ	0,748
HQ	1,400

4.5 Grundwasserneubildung

Zur Ermittlung der Grundwasserneubildungsraten für das Basismodell wurden im Rahmen der Modellbearbeitung 2003 (ARGE GFE/IHU 2004) neben der Berücksichtigung von Werten aus vorhandenen Gutachten umfassende Neuberechnungen auf der Basis der Programme NEUBIBER (WENSKE 1997), ABIMO (GLUGLA u. FÜRTIG 1997) und HELP (SCHROEDER et. al. 1992) durchgeführt. Damit konnten die Ergebnisse weiter zurückliegender Untersuchungen (SCHWEBKE u. VÖLKE 1989, HUTH 1969) validiert und eine differenzierte Verteilung der Grundwasserneubildungsraten über das Modellgebiet erreicht werden. Dies trifft u. a. für den Bereich des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH zu. Die im Zuge der großflächigen Rückbaumaßnahmen der vergangenen Jahre entstandenen Freiflächen bieten bessere Voraussetzungen für die Versickerung von Niederschlagswässern, als das bis Mitte der neunziger Jahre bei vorhandener Bebauung und Versiegelung der Fall war oder aber auch bei einer weitgehend natürlichen Flächennutzung (Ackerland) der Fall wäre. Hieraus resultieren neben einer Erhöhung der Grundwasserstände, vor allem im MGWL 1, erhöhte Grundwasserneubildungsraten gegenüber natürlichen Verhältnissen.

Die nunmehr angesetzten Grundwasserneubildungsraten basieren für den betrachteten Ausgangszustand des Grundwasserströmungsmodells auf den Werten nach IHU, 2007 A, B, d. h. die Werte wurden aus dem Basismodell für den ÖGP-Standort Buna übernommen (vergl. B13 Anl8, Blatt 2). Die Grundwasserneubildungsraten wurden im Zuge der Kalibrierung dieses Modell identifiziert. Für den Bereich der Hochhalde Schkopau enthalten die Grundwasserneubildungsraten des Basismodells den Effekt einer erhöhten Zusickerung infolge des noch nicht vollständig abgeschlossenen Leerlaufens des bis Mitte der 1990er Jahre weitestgehend wassergesättigten Haldenkörpers. Angaben zum Leerlaufen des Haldenkörpers existieren nicht. Auf Grund des asymptotischen Charakters des Prozesses ist aber von einer Zeitdauer deutlich größer als 20 Jahre auszugehen. Die Grundwasserneubildungsraten variieren räumlich sowohl im gesamten Modellgebiet als auch über die Gesamtfläche der Hochhalde Schkopau. Die bei C & E, 2005 A dokumentierten Werte, die auf einer HELP-Modellierung basieren, berücksichtigen den Effekt der erhöhten Zusickerung nicht, gehen somit von einer Durchsickerung ausschließlich durch Niederschlagswasser aus. Infolgedessen liegt die Gesamtmenge des auf der Fläche der Hochhalde Schkopau neugebildeten Grundwassers im Modellausgangszustand mit 700 m³/d um ca. 50 % über der Menge, welche für die Prognosevarianten mit einer Abdeckung ohne Abdichtung der Haldenoberfläche (Minimalvariante nach C&E 2005 A, B) mit 369 m³/d berücksichtigt wird. Bei Realisierung einer Abdeckung mit Oberflächenabdichtung entsprechend der GSO 3.1 nach C&E, 2005 A, B wird sich die Grundwasserneubildungsrate weiter verringern und die Gesamtmenge im Endzustand nur noch 88 m³/d betragen. Vertiefende Ausführungen zur Grundwasserneubildung bzw. zum Sickerwasseranfall für die Prognosevarianten erfolgen unter Punkt 5.4.

Wie für die Angaben zur Schichtgeometrie und zu den geohydraulischen Parametern wurden auch die Grundwasserneubildungsraten auf die verfeinerte Modellstruktur unter Wahrung der Bilanztreue übertragen.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde die verwendete Grundwasserneubildung auf der Grundlage von ABIMO überprüft und als plausibel bewertet. Diese bildet die im Modellbereich vorherrschenden hydraulischen Bedingungen sehr gut ab und ist geeignet um die Prognosen auf Basis des vorliegenden Modells zu treffen.

4.6 Grundwasserdynamik

Die Grundwasserdynamik ist durch die Hydroisohypsenpläne der einzelnen MGWL belegt, die anhand der bei der Stichtagsmessung im Oktober 2007 sowie im April und Oktober 2009 gemessenen Grundwasserstände konstruiert wurden (FUGRO 2008, 2010). Die Stützstellendichte zur Belegung der Hydrodynamik und letztlich auch für den Vergleich der berechneten Werte mit Messwerten des Grundwasserstandes schwankt für verschiedene Bereiche des Untersuchungsgebietes teilweise stark. Die Grundwasserdynamik im engeren Bereich des Standortes Schkopau der Dow Olefinverbund GmbH ist durch die zahlreichen Neuaufschlüsse überwiegend gut bis sehr gut belegt. Dies traf nicht für das Umfeld der Hochhalde Schkopau und insbesondere die südlich gelegenen Bereiche, in denen die Lauchaverlegung erfolgen soll, zu. Die Aufschlussdichte war hier bisher gering, so dass die Grundwasserdynamik nicht detailliert beschrieben werden konnte. Durch die Ergebnisse der in den Jahren 2008 bis 2010 und 2014 durchgeführten Erkundungsarbeiten (Erweiterung des Grundwassermessnetzes des Monitorings ÖGP Buna und Baugrunduntersuchungen an der Trasse der geplanten Umverlegung der Laucha, GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3) hat sich die Situation deutlich verbessert. Dennoch ist die Grundwasserdynamik (und damit auch die Grundlage der Modellanpassung) für diesen Bereich weniger gut belegt als für die sehr intensiv erkundeten Bereiche des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH. Der Kenntnisstand zur Hydrodynamik ist aber ausreichend, um die im Rahmen der Untersuchungen zur Generalplanung (Modellierung des Zuflusses zum hydraulischen Sicherungssystem der Hochhalde Schkopau) erforderlichen Aussagen zu treffen. Weniger detailliert sind die Kenntnisse desgleichen für das Liegende des zentralen Bereiches der Hochhalde Schkopau, da nur eine funktionstüchtige Messstellengruppe die Grundwasserstände in diesem Bereich erfasst.

Der Modellkalibrierung liegen letztlich die messstellenbezogenen Grundwasserstände bzw. die daraus abgeleiteten Hydroisohypsenpläne nach FUGRO, 2008 und 2010 sowie die Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen nach GGU, 2010 und BuG, 2014 zugrunde. Im Rahmen der Gutachten zum Grundwassermonitoring für das ÖGP Buna (FUGRO 2008 und 2010) erfolgt auch eine ausführliche Diskussion zur Problematik der Aufschlussdichte und Genauigkeit der dargestellten Hydroisohypsenpläne.

4.7 Modellkalibrierung

4.7.1 Grundlagen

Basierend auf den gemessenen Grundwasserständen nach FUGRO, 2008 und 2010 sowie unter besonderer Beachtung der Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen im Rahmen der Baugrunduntersuchungen (GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3) erfolgte eine Anpassung des Modells an die natürlichen Verhältnisse (Modellkalibrierung). Ziel ist die Minimierung des Fehlers zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen. Wenn dieser Fehler ein Minimum erreicht hat oder, praktisch, einen bestimmten Betrag unterschreitet, so betrachtet man den zugehörigen Parametersatz als repräsentativ. Er spiegelt die natürlichen Verhältnisse entsprechend dem vorliegenden Kenntnisstand wider. Als Ergebnis der Modellanpassung liegt die identifizierte Verteilung der geohydraulischen Parameter (in erster Linie T-Werte bzw. Durchlässigkeitsbeiwerte) vor.

Als Verfahren zur Modellkalibrierung kam die Trial-and-Error-Methode zum Einsatz. D. h., nach einer durchgeführten Modelländerung (i. a. Variation der k_f - bzw. T-Werte, bei instationärer Berechnung auch Speicherkoeffizienten) wird überprüft, ob dies zu einer Verringerung des Modellfehlers führte. Anhand des Ergebnisses wird entschieden, ob die Änderung beibehalten oder aber verworfen wird. Der Modellfehler wird über das Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt und in numerischer Form sowie als Scatterplot dargestellt.

Der Kalibrierungsprozess wird unter dem Prä-/Postprozessor CADSHELL durch eine Reihe von numerischen und grafischen Tools unterstützt. Diese umfassen u. a. die automatische Berechnung und Anzeige des Modellfehlers sowie der Abweichungen für alle Kalibrierungstützstellen (GWM), die automatische Anzeige der Abweichung in einem Scatterplot-Diagramm sowie die grundwasserleiter- und elementebezogene kartographische Darstellung der Differenz gemessene – berechnete Grundwasserspiegelhöhen.

Die Vergleichsdaten (gemessene Grundwasserstände) zur Modellkalibrierung wurden den Stichtagsmessungen für den Zeitraum Oktober 2007, Oktober 2009 und April 2014 entnommen. Die Grundwasserstände der Messungen im Oktober 2009 und April 2014 wurden genutzt, um einen Abgleich mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2007 durchzuführen. Die Unterschiede zwischen den Messungen erwiesen sich als sehr gering. Damit konnten auch die Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen im Rahmen der Baugrunduntersuchungen (GGU 2010 und BuG 2014) problemlos in die Kalibrierung des Modells einbezogen werden. Die Modellkalibrierung konzentrierte sich auf das Umfeld der Hochhalde Schkopau. Insgesamt wurden 444 Wasserstandsmessungen, die vier verschiedenen Grundwasserleitern zugeordnet sind, verwendet.

4.7.2 Ergebnisse der Kalibrierung

Die Qualität der Anpassung des mathematischen Modells an die natürlichen Verhältnisse wird in erster Linie durch den Grad der Übereinstimmung der gemessenen mit den berechneten Standrohrspiegelhöhen charakterisiert. Dieser kann, wie bereits unter Punkt 4.7.1 erläutert, über den numerischen Modellfehler dargestellt werden. Es werden der absolute und der relative Modellfehler berechnet. Der absolute Modellfehler errechnet sich als arithmetischer Mittelwert der Beträge der Abweichungen in den Messpunkten. Um den relativen Modellfehler zu erhalten, setzt man den absoluten Modellfehler zum Gesamtgefälle des Grundwasserspiegels, ermittelt aus dem höchsten und dem niedrigsten im Modellgebiet gemessenen Grundwasserstand, ins Verhältnis. Die mittlere Modellabweichung stellt den Mittelwert der vorzeichenbehafteten Differenz zwischen gemessenen und berechneten Wasserständen dar. Der relative Modellfehler für die Standrohrspiegelhöhen bzw. Grundwasserstände sollte im Allgemeinen nicht über 5 % liegen. Bei Unterschreitung dieses Wertes ist eine hinreichend genaue Kalibrierung des Modells erreicht. Dies gilt unter Beachtung einer plausiblen Bilanz der Wasservolumenströme.

Die berechneten und gemessenen Standrohrspiegelhöhen der berücksichtigten Messstellen für den untersuchten Istzustand (beschreibt die gegenwärtige Situation) sind in B13 Anl2, Blatt 5 tabellarisch gegenübergestellt. Gleichfalls enthält die Tabelle die auftretenden Abweichungen. Die ermittelten Fehlergrößen bzw. die Ergebnisse des Modellvergleichs zum Kalibrierungszeitpunkt sind in Tabelle 5 für alle Modellgrundwasserleiter zusammengefasst. In B13 Anl2 Blatt 1 bis Blatt 4 sind die aus den mit dem mathematischen Modell berechneten Standrohrspiegelhöhen konstruierten Hydroisohypsenpläne für den Kalibrierungszustand dokumentiert. Der Kalibrierung liegen generell die Ergebnisse der Grundwasserstandsmessungen aus dem Jahr 2007 zugrunde. Diese wurden durch die aktuellen Angaben aus den Grundwasserstandsmessungen im April 2009 (FUGRO 2010), im Frühjahr 2010 (insbesondere Baugrunduntersuchungen GGU, 2010/B8 Anl1.2.1) und Sommer 2014 (BuG 2014/B8 Anl1.3) ergänzt und präzisiert.

Tabelle 5: Statistische Angaben zur Modellkalibrierung

Modellgrundwasserleiter	1	2	3	4	gesamt
Anzahl der Messungen	188	62	83	111	444
minimaler Messwert in mNN	78,21	67,13	54,18	77,58	54,18
maximaler Messwert in mNN	103,00	105,44	105,21	105,51	105,51
Gesamtgefälle	24,79	38,31	51,03	27,93	51,33
5% - Fehlertoleranz in m	1,24	1,92	2,55	1,40	2,57
maximale Abweichung (Betrag) in m	-1,34	1,82	2,33	2,25	2,33
mittlere Modellabweichung in m	-0,037	0,32	0,49	0,44	0,23
absoluter Modellfehler in m	0,402	0,657	0,744	0,773	0,59
relativer Modellfehler in %	1,62	1,72	1,46	2,77	1,16

Die berechneten Modellfehler für die einzelnen MGWL entsprechend Tabelle 5 von 1,46 % bis 2,77 % unterschreiten den angestrebten Wert des Modellfehlers von 5 % deutlich und belegen damit eine belastbare Modellkalibrierung entsprechend dem vorhandenen Kenntnisstand zur Grundwasserdynamik.

Dieser Vergleich wird durch den Scatterplot in Abbildung 1 zusätzlich illustriert. Jeder Punkt im Diagramm verkörpert eine Messstelle mit dem zugehörigen gemessenen und berechneten Wasserstand. Der Abstand zur Ideallinie steht für den jeweiligen relativen Modellfehler. Die blaue Linie markiert einen Fehler von 5 %, die rote Linie zeigt den bei der Modellkalibrierung erreichten Fehler, der für das Gesamtmodell (alle Modellschichten) bei 1,16 % (absoluter Fehler 0,59 m) liegt.

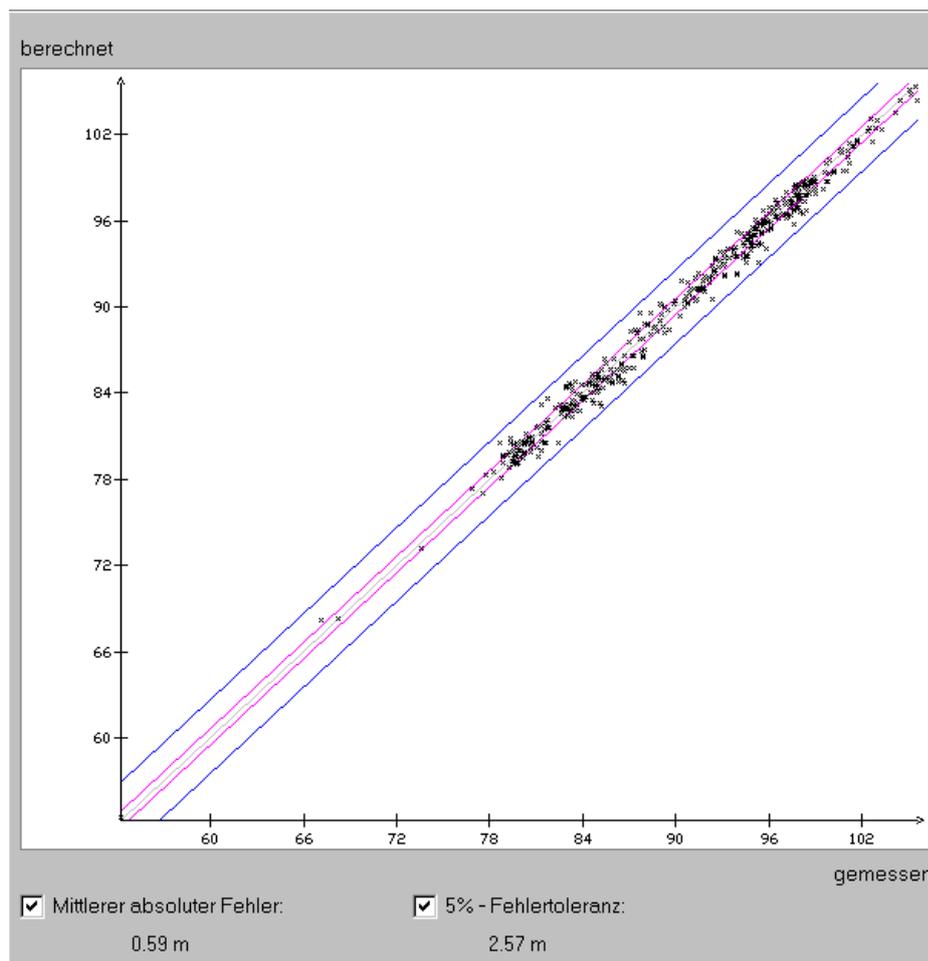


Abbildung 1: Qualität der Modellanpassung (Scatterplot)

Wichtig ist für die Bewertung der Ergebnisse der Modellkalibrierung, dass, obwohl an einzelnen Punkten höhere Abweichungen von den gemessenen Werten auftraten, die aus den Messwerten abgeleitete Grundwasserdynamik in ihren Strömungsrichtungen und -gradienten mit guter Näherung abgebildet werden konnte. Insbesondere das Grundwasserströmungsbild im unmittelbaren Bereich der Hochhalde Schkopau, in deren Umfeld und im südlich gelegenen Gebiet, welches die Verläufe der geplanten Lauchaumverlegungen umfasst, konnte durch das Grundwasserströmungsmodell mit guter Genauigkeit und plausibel in Hinblick auf die Wirkung

der Randbedingungen abgebildet werden. Dies wird zusätzlich durch die Auswertung der Grundwasserstandsdaten aus den durchgeführten Baugrunderkundungen (GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3) belegt. Tabelle 6 zeigt die Gegenüberstellung der Grundwasserstände aus den Baugrunduntersuchungen (Messung im Juni 2010 bzw. Juli 2014) mit den Ergebnissen der Modellberechnungen für den Ausgangs- bzw. Istzustand. In Hinblick auf die Messergebnisse nach GGU 2010/B8 Anl1.2.1 wurden nicht alle neun gemessenen Grundwasserstände in den Kalibrierungsprozess einbezogen, da die GWM teilweise am gleichen Standort errichtet aber in verschiedenen Teufenbereichen verfiltert wurden. In diesen Fällen konnte nur ein Grundwasserstand je Standort berücksichtigt werden. Hier wurde generell der Wasserstand der tieferen GWM verwendet. Die Grundwasserstände der im Jahr 2014 neu errichteten GWM (BuG 2014/B8 Anl1.3) wurden in die Modellkalibrierung vollständig einbezogen.

Tabelle 6: Kalibrierung GWM nach GGU 2010/B8 Anl1.2.1 und BuG 2014/B8 Anl1.3

GWM	Rechtswert	Hochwert	MGWL	H _{mess} in m NHN	H _{berech} in m NHN	Differenz in m
BK_GWM_46	4494138,85	5693064,61	1	92,46	92,28	0,18
BK_GWM_47	4496194,48	5693876,86	2	97,46	97,15	0,31
BK_GWM_49	4496866,31	5693755,03	3	94,81	94,46	0,35
BK_GWM_51	4497108,27	5693759,79	3	94,35	93,59	0,76
BK_GWM_55	4497093,40	5694174,09	3	89,97	90,37	-0,40
BK_GWM_56	4496556,17	5694319,03	1	92,89	93,05	-0,16
BK/GWM 2/2013	4496999,00	5694451,00	3	92,85	93,73	-0,88
BK/GWM 5/2013	4497097,00	5694575,00	3	92,57	92,26	0,31
BK/GWM 20/2013	4497363,00	5694947,00	1	87,01	87,48	-0,47

Die berechneten Grundwasserstände weichen von den Messwerten nur in geringem Maß ab. Mit Ausnahme der GWM BK_GWM_51 und BK/GWM 2/2013 liegen die Abweichungen an allen Messstellen, meist deutlich, unter den mittleren absoluten Modellfehlern gemäß Tabelle 5. Im Zuge der Kalibrierung waren für das Umfeld der einzelnen GWM geringfügige Änderungen der geohydraulischen Parameter erforderlich.

- BK_GWM_56 (MGWL 1): leichte Verringerung des Fluss-Leakagewertes der Laucha
- BK_GWM_47 (MGWL 2): Verringerung des k_f -Wertes im Umfeld der Bohrung und des vertikalen Leakage zum Liegenden
- BK_GWM_51 und 56 (MGWL 3): Verringerung des k_f -Wertes im Abstrom der GWM
- BK_GWM_55 (MGWL 3): leichte Erhöhung des vertikalen Leakage zum Hangenden

An den GWM BK_GWM_46 und BK/GWM 2/2013 (MGWL 1) sowie BK/GWM 5/2013 und BK/GWM 20/2013 (MGWL 3) waren keine Veränderungen der Modellparameter erforderlich. Die gemessenen Grundwasserstände fügten sich in diesen Fällen in die gemessene Grundwasserdynamik hinreichend gut ein.

Teilweise weichen die Ergebnisse der PV-Auswertung (ermittelte T- bzw. k_f -Werte, vergl. Tabelle 1) von den im Grundwasserströmungsmodell letztlich lokal berücksichtigten geohydraulischen Parametern ab. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass die errichteten GWM die Festgesteins-MGWL nicht vollständig erfassen, sondern meist nur den jeweils oberen Bereich aufschließen. Damit können die Ergebnisse der geohydraulischen Tests nur die Größenordnung der tatsächlich vorliegenden Durchlässigkeitsparameter erfassen, Abweichungen zu den Modellparametern ergeben sich zwangsläufig.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass in Hinblick auf die teilweise mit Unsicherheiten behafteten Messwerte des Grundwasserstandes und die sehr komplexe Modellstruktur die Genauigkeit des mathematischen Modells für die Durchführung weiterer Modellsimulationen bzw. Prognoseberechnungen als gut einzustufen ist.

4.8 Bilanzbetrachtungen zum Ausgangszustand

Neben dem unter Punkt 4.7 erläuterten Vergleich der berechneten mit den gemessenen Grundwasserständen geben auch die Bilanzen der dem Modell zu- bzw. abströmenden Wassermengen Hinweise auf die Qualität der Abbildung der natürlichen Strömungsverhältnisse. Insbesondere ist dies möglich, wenn auf Messwerten basierende Angaben, z. B. zu durch Oberflächengewässer aufgenommene bzw. abgegebene Wassermengen vorliegen. Dies ist für die Laucha im Abschnitt Bündorf bis zum Austritt aus der Hochhalde Schkopau (vergl. Punkt 4.4) der Fall, so dass hier die Plausibilität der berechneten Volumenströme geprüft werden konnte. Wie bereits erläutert, resultieren die Messwerte aus den bei C & E, 2004 durchgeführten Untersuchungen.

Generell ist zu bemerken, dass für die Modellbegrenzung des Gesamtmodells keine Randbedingungen gewählt wurden, die einen Grundwasserzustrom von außerhalb des Bilanzgebietes abbilden. Das Gebiet des Gesamtmodells umfasst das gesamte unterirdische Einzugsgebiet, welches im wesentlichen vom Teutschenthaler Sattel im Norden, vom Merseburger Sattel im Süden und von der einsetzenden Muschelkalkbedeckung im Westen begrenzt wird und generell nach Osten, in Richtung Saale bzw. Saaleaue, entwässert (IHU 2007A, B). Die entscheidende Zuflussgröße für den Festgesteinsbereich stellt die Grundwasserneubildung dar. Das neu gebildete Grundwasser entlastet zum großen Teil direkt oder aber indirekt über die tertiären und quartären Sedimente der Talniederungen in die entwässernden Vorfluter. Nur im Bereich der Saaleaue (WW Beesen) kommt es infolge der Aktivierung von Uferfiltrat (Saale, Weiße Elster, Gerwische) zu größeren Zuströmen zum Modell, die über Randbedingungen 3. Art realisiert wurden. Diese Effekte haben für das engere Untersuchungsgebiet (Umfeld der Hochhalde Schkopau) keine Bedeutung.

Die Bilanz umfasst im Wesentlichen die folgenden Komponenten:

- Zu- und Abflüsse über Randbedingungen 2. Art (Grundwasserneubildung, Brunnen)
- Zu- und Abflüsse über Randbedingungen 3. Art (Fluss, Drainage, 3. Art allgemein, See)

Für wichtige hydrogeologische Elemente, die als Randbedingungen des Modells im Bereich der

Hochhalde Schkopau bzw. der Lauchaumverlegung fungieren, erfolgt eine detaillierte Bilanzierung (z. B. Flussabschnitte der Laucha, Abschnitte des Haldenrandgrabens, Wertsgraben). Das Strömungsmodell weist für den Ist- bzw. Ausgangszustand die in Tabelle 7 zusammengestellte Grundwasserbilanz an den relevanten Randbedingungen aus. Die Grundwasserneubildung auf der Haldenaufstandsfläche der Hochhalde Schkopau wurde, wie unter Punkt 4.4 dargestellt, vom Ausgangsmodell übernommen und auf die verfeinerte Gitterstruktur übertragen. Sie beträgt in Übereinstimmung mit den Vorgängermodellen (IHU 2007 A, B) ca. 700 m³/d.

Für die Problematik der Lauchaumverlegung ist die Wasserbilanz an den Vorflutern Laucha und Wertsgraben sowie den Haldenrandgräben von besonderem Interesse. Wie die Modellergebnisse zeigen, nehmen alle Fließgewässer und Entwässerungselemente (Gräben) im Bereich der Hochhalde Schkopau Grundwasser auf. In Tabelle 7 sind die mittleren Grundwassermengen für die Flussabschnitte der Laucha, die aus den Abzweigungs- bzw. Wiedereinmündungspunkten der Umverlegungsvarianten resultieren, getrennt angegeben und ermöglichen damit den Vergleich der Messwerte mit den auf Basis des Grundwasserströmungsmodells ermittelten Werten. Für die Haldenrandgräben und den Wertsgraben liegen entsprechende Messwerte nicht vor. Die Lage der Bilanzabschnitte für die Laucha kann in den Anlagen B13 Anl1 und B13 Anl3, Blatt 3 nachvollzogen werden.

Tabelle 7: Volumenstrombilanzen der Gewässer- und Entwässerungselemente im Umfeld der Hochhalde Schkopau, Ausgangs- bzw. Istzustand

Gewässer/Entwässerungselement	Volumenstrom in m³/d
Lauchaabschnitt vom Abzweig deponienahe bis Mündung beider Varianten	750
Lauchaabschnitt vom Abzweig deponieferne bis zum Abzweig deponienahe Variante	390
Lauchaabschnitt vom Ortsrand Bündorf bis zum Abzweig deponieferne Variante	79
Laucha im Bereich der Hochhalde Schkopau (gesamt)	1.219
Wertsgraben	312
Haldenrandgraben (gesamt)	302

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei den dem Haldenrandgrabensystem zutretenden Wassermengen, welche das Grundwasserströmungsmodell erfasst, ausschließlich um Grundwasserzutritte handelt. Sowohl Oberflächenabflüsse als auch lateral aus dem Haldenkörper austretende Wässer sind in dieser Bilanzgröße nicht enthalten.

Die ausgewiesene Modellbilanz bzw. die Grundwasserzuströme zur Laucha und den weiteren Randbedingungen liegen in der Größenordnung der Ergebnisse der Bearbeitung im Rahmen des TSRK (C & E 2004, 2005 A). Die Durchflussmessungen an der Laucha im Bereich der Hochhalde Schkopau (Abschnitt Bündorf bis Austritt aus der Hochhalde) ergaben entsprechend den Angaben in Tabelle 3 zu drei Messzeitpunkten im Jahr 2003 eine Grundwasseraufnahme

zwischen 720 m³/d und 1.440 m³/d. Die auf Basis des Grundwasserströmungsmodells berechnete Grundwasseraufnahme der Laucha in diesem Bereich von 1.219 m³/d liegt damit im Schwankungsbereich der Messdaten bzw. sehr nahe an den für April und Mai 2003 ermittelten Werten. In Abhängigkeit vom Planungsstand der Umverlegung der Laucha wurde in Tabelle 7 eine weitere Differenzierung in Teilabschnitte vorgenommen.

Insgesamt ist die ausgewiesene Wasserbilanz plausibel, womit ein wesentliches Kriterium für die gute Abbildung der realen Strömungsverhältnisse im Modell erfüllt ist.

5 Prognoseberechnungen

5.1 Vorbemerkungen

Die modellgestützte Untersuchung der Prognosevarianten basiert auf dem kalibrierten Grundwasserströmungsmodell des Ausgangs- bzw. Istzustandes. Die Prognoseberechnungen umfassen sowohl Änderungen hinsichtlich der Grundwasserströmungsverhältnisse durch geänderte hydraulische Randbedingungen (Umverlegung der Laucha, Haldenrandgräben, Gestaltung der Deponieoberfläche) als auch die Berechnung der Schadstoffausbreitung im Grundwasser für die betrachteten Szenarios. Die prognostizierten Grundwasserstände bilden die Grundlage für Vergleiche mit dem Istzustand und damit für die Ermittlung von Grundwasserstandsunterschieden, die sich aus den geänderten Randbedingungen ergeben. Desgleichen werden die Konzentrationsverteilung von Schadstoffen im Grundwasser und die Aufnahme von Schadstoffen durch Oberflächengewässer für die verschiedenen Varianten untersucht. Die betrachteten Prognosevarianten umfassen fünf Szenarios, wobei die im Wesentlichen auf dem Istzustand basierende Nullvariante hinsichtlich des Stofftransports eine Prognose darstellt und somit ebenfalls in diesem Kontext betrachtet wird.

Die Modellierung zu den untersuchten Varianten bzw. Szenarios umfasst einen Prognosezeitraum von 4.000 Jahren. Dieser lange Berechnungs- bzw. Prognosezeitraum wurde gewählt, um den Stofftransport stationär abzubilden. D. h., es wird damit ein Worst-Case-Szenario bezüglich des zeitlichen Prozessverlaufes im Hinblick auf das Erreichen von Oberflächengewässern durch die Schadstofffahne betrachtet und damit die Aussagesicherheit bezüglich des Erreichens der Umwelt-/Schutzziele insbesondere für die verlegte Laucha erhöht. Hinsichtlich der Einschätzung des zeitlichen Verlaufs der Ausbreitung der Schadstoffe im Grundwasser ist festzustellen, dass insbesondere in Folge der geringen Grundwasserströmungsgeschwindigkeiten im MGWL 1 Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser sehr langsam vonstatten gehen. Dies wirkt sich in Hinblick auf die Umverlegung der Laucha kurz- bis mittelfristig positiv aus, da die umverlegten Gewässerabschnitte von der Schadstoffausbreitung erst nach längeren Zeiträumen erreicht werden. Andererseits verzögern diese Effekte aber auch die positiven Wirkungen des neugestalteten Randgraben- bzw. Drainagesystems, da Schadstoffe, die im Zeitraum zwischen der Umverlegung der Laucha und dem Abschluss der Arbeiten zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau (Oberflächengestaltung/-abdeckung, Neugestaltung/Optimierung Randgraben- und Drainagesystem) in das südliche Vorfeld der Hochhalde Schkopau gelangen, durch das Drainagesystem nur langfristig wieder erfasst werden können. Im Hinblick auf eine nachhaltige Sicherung/Sanierung der Hochhalde Schkopau in Verbindung mit der Verbesserung des Gewässerzustandes der Laucha ist nur eine nachhaltige Lösung, welche die langfristigen Prozesse der Schadstoffausbreitung im Grundwasser berücksichtigt, geeignet, die angestrebten Ziele zu erreichen. Eine weitere Diskussion und Bewertung zu dieser Problematik erfolgen unter Punkt 7.1

Im Ergebnis der Prognoseberechnungen liegen die Grundwasserstände und Konzentrationsverteilungen der betrachteten Schadstoffe (Quecksilber und CKW) im Grundwasser für alle Varianten vor. Auf der Basis der berechneten Konzentrationen werden über die bilanzierten

Volumenströme auch die Masseströme bzw. Frachten zu den relevanten hydraulischen Randbedingungen (Haldenrandgräben, Drainagen, Laucha im Istzustand - Nullvariante bzw. verlegte Laucha - Prognosevarianten 1 bis 4) ermittelt.

5.2 Schutzziele

5.2.1 Oberflächenwasser

Da im Rahmen der Bewertung der Prognosevarianten die Problematik der Einhaltung von Umweltzielen bzw. Zielwerten für das Oberflächen- und Grundwasser eine wesentliche Rolle spielt, wird im Folgenden die Ableitung der entsprechenden Kriterien erläutert.

Den rechtlichen Rahmen für die Bewertung des Zustandes eines Oberflächengewässers lieferte bis zum Inkrafttreten der Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2011) die Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. 10. 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie WRRL). Ziele der WRRL sind die Erreichung eines „guten Zustandes des Oberflächengewässers“, wofür es neben der Einhaltung von gewässerökologischen Kriterien notwendig ist einen „guten chemischen Zustand“ durch die Einhaltung von Umweltqualitätsnormen („Grenzwerte“) für bestimmte Stoffe nachzuweisen. Weiterhin heißt es in der WRRL, dass alle Oberflächenwasserkörper mit dem Ziel zu schützen, zu verbessern und zu sanieren sind, spätestens 15 Jahre nach Inkrafttreten der WRRL (also in 2015) einen guten Zustand und damit die Einhaltung der Umweltqualitätsnormen zu erreichen.

Durch das Land Sachsen-Anhalt wurde mit der „Verordnung des Landes Sachsen-Anhalt über die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL-VO LSA)“, Fassung vom 24.08.2005 (LA S-A 2005) der Vorgabe der WRRL zur Definition von Umweltqualitätsnormen Rechnung getragen. In Anhang 5 der Verordnung waren die Parameter und die einzuhaltenden Umweltqualitätsnormen für einen guten Zustand der Gewässer im Sinne der WRRL aufgeführt. Nach C & E, 2005 A waren bei Anwendung dieser Kriterien die Schutzziele im Oberflächenwasser für die Schadstoffe

- Quecksilber mit 1 µg/l
- Tetrachlorethylen mit 10 µg/l
- Trichlorethylen mit 10 µg/l

festzulegen.

Die 2005 festgelegten Sanierungszielwerte für Quecksilber sind mit dem jetzigen Stand nicht verordnungskonform. Gemäß aktueller Oberflächengewässerverordnung (OGewV 2016, Anlage 8, Tabelle 2: Umweltqualitätsnormen für prioritäre Stoffe) gelten derzeit folgende Kriterien zur Beurteilung des chemischen Zustandes:

Quecksilber und seine Verbindungen – 0,07 µg/l Maximalkonzentration/ZHK-UQN

Für die chlorierten Kohlenwasserstoffe gelten gemäß der Oberflächengewässerverordnung (OGewV, Anlage 8, Tabelle 2: Umweltqualitätsnormen für bestimmte andere Schadstoffe) auch

aktuell die gleichen Werte wie in (LA S-A 2005):

- Tetrachlorethylen 10 µg/l JD-UQN
- Trichlorethylen 10 µg/l JD-UQN

Bezüglich CKW wird vorgeschlagen, anstelle der UQN für Einzelsubstanzen für den Summenparameter CKW, gesamt 10 µg/l (JD-UQN) anzusetzen.

5.2.2 Grundwasser

Die Ableitung von Schutzziele für das Grundwasser erfolgte nach C & E, 2005 A auf Grundlage einer Rezeptorbetrachtung. Die im Grundwasser einzuhaltenen Konzentrationen müssen sich auf einem solchen Niveau einstellen, welches gewährleistet, dass die Qualitätsziele für den Rezeptor Oberflächenwasser, insbesondere die Laucha eingehalten werden. Zudem ist dem Verschlechterungsgebot bezüglich der Qualität des Grundwassers im Vergleich zum Ist-Zustand Rechnung zu tragen. Folgende Schutzziele für das Grundwasser wurden abgeleitet:

- Die Schadstoffkonzentration im Grundwasser muss sich auf einem solchen Niveau einstellen, dass es gewährleistet, dass die Qualitätsziele am Schutzgut Oberflächenwasser (Rezeptor) dauerhaft eingehalten werden.
- Die Schadstofffrachten über den Sickerwasserpfad sind unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit auf ein minimal vertretbares Maß zu reduzieren.
- Die im MGWL 1 und MGWL 2 vorhandenen Schadstoffe im Grundwasser sind dauerhaft in ihrer räumlichen Lage und Ausdehnung zu stabilisieren, ihre Ausbreitung sollte nicht über die Außengrenze der rekultivierten Hochhalde Schkopau hinausgehen.

Zur Festlegung der Schutzziele wurde bei C & E, 2005 A die Nutzung der in LAWA, 1994 zur Beurteilung von Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser angegebenen Werte vorgeschlagen. Tabelle 7 enthält die Werte der standortrelevanten Schadstoffe.

Tabelle 8: Prüf- und Maßnahmeschwellenwerte nach LAWA 1994

Stoff/stoffgruppe	Maßeinheit	Prüfwert	Maßnahmenwert
CKW (gesamt)	µg/l	10	50
Quecksilber	µg/l	1	5

Als zutreffende Vorschrift in Hinblick auf die Feststellung eines guten chemischen Zustands des Grundwassers ist zum heutigen Zeitpunkt die Grundwasserverordnung (GrwV) zu beachten. In Anlage 2 (Schwellenwerte) der Grundwasserverordnung werden für Quecksilber 0,2 µg/l und für die Summe aus Tri- und Tetrachlorethylen 10 µg/l als Schwellenwerte angegeben. Diese Werte werden in Hinblick auf die Festlegung der Schutzziele berücksichtigt.

5.3 Charakterisierung der betrachteten Prognosevarianten

Die zu untersuchenden Prognosevarianten umfassen, wie bereits dargestellt, fünf Szenarios. Diese werden als Nullvariante sowie Variante 1 bis 4 bezeichnet. Einen Überblick zur Lage der Trassenverläufe der umverlegten Laucha und der neu gestalteten bzw. ertüchtigten Randgräben/Drainagen gibt für alle Varianten B13 Anl1, Blatt 3 sowie B13 Anl3, Blatt 3. Die Angaben zur Umverlegung der Laucha, zur Optimierung des Graben- bzw. Drainagesystems und zur Oberflächenabdeckung entsprechen dem aktuellen Planungsstand (Planungen zur Umverlegung der Laucha und Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau). Die berücksichtigte Variante des hydraulischen Sicherungssystems der Hochhalde Schkopau nach Stilllegung ist an die Ergebnisse des TSRK (C & E, 2005 A) angelehnt und wurde im Rahmen der Generalplanung zur Hochhalde Schkopau weiterentwickelt und optimiert. Die folgende Kurzbeschreibung der Varianten gibt zunächst einen Überblick:

- | | |
|---------------------|--|
| Nullvariante | keine Veränderungen gegenüber dem Istzustand, aber Leerlaufen des Deponiekörpers abgeschlossen (Kurzbezeichnung: umv var 0) |
| Variante 1 | Lauchaverlegung deponiefern , Haldenrandgräben im Istzustand, Abdeckung entsprechend Minimalvariante nach TSRK (Kurzbezeichnung: umv var 1) |
| Variante 2 | Lauchaverlegung deponienah , Haldenrandgräben im Istzustand, Abdeckung entsprechend Minimalvariante nach TSRK (Kurzbezeichnung: umv var 2) |
| Variante 3 | Lauchaverlegung deponiefern , optimiertes hydraulisches Sicherungssystem, Abdeckung entsprechend GSO 3.1 nach TSRK (Kurzbezeichnung: umv var 3) |
| Variante 4 | Lauchaverlegung deponienah , optimiertes hydraulisches Sicherungssystem, Abdeckung entsprechend GSO 3.1 nach TSRK (Kurzbezeichnung: umv var 4) |

Im Einzelnen werden die untersuchten Varianten wie folgt charakterisiert:

Nullvariante

Die Nullvariante untersucht die Grundwasserströmung und den Stofftransport bei einer gegenüber dem Istzustand unveränderten Situation (keine Verlegung der Laucha, keine Änderungen am Randgrabensystem, keine Änderung an der Deponieoberfläche). Dennoch unterscheidet sich die Variante vom Ausgangszustand, da im Sinne einer Langzeitprognose das Leerlaufen des Deponiekörpers als abgeschlossen angenommen wird und somit die Sickerwasserraten nach C & E, 2005 A in die Modellierung eingehen. Diese basieren auf der Umsetzung der Minimalvariante nach C & E, 2005 A hinsichtlich der Gestaltung bzw. Abdeckung der Deponieoberfläche. D. h., die Abdeckung der Hochhalde Schkopau im Rahmen der Stilllegung erfolgt durchgehend mit einer Wasserhaushaltsschicht ohne spezielle Systeme zur Abdichtung der

Haldenoberfläche gegenüber eindringendem Sickerwasser. Der Sickerwasseranfall infolge des Niederschlags ist in diesem Fall in etwa so hoch wie im gegenwärtigen Zustand.

Variante 1

Die Prognosevariante 1 untersucht die Grundwasserströmungs- und Stofftransportverhältnisse für den Fall der deponiefernen Umverlegung der Laucha. Das System der Haldenrandgräben bleibt gegenüber dem Istzustand unverändert. Die Gestaltung der Deponieoberfläche erfolgt entsprechend der Minimalvariante des TSRK (C & E 2005 A), wie bereits für die Nullvariante beschrieben.

Variante 2

In der Prognosevariante 2 wird die deponienahe Umverlegung der Laucha berücksichtigt. Die Haldenrandgräben werden analog der Variante 1 gegenüber dem Istzustand nicht verändert. Die Gestaltung der Deponieoberfläche entspricht ebenfalls der Variante 1, d. h., es wird die Minimalvariante nach C & E, 2005 A berücksichtigt.

Variante 3

Die Variante 3 entspricht bezüglich des umverlegten Lauchaverlaufes der Variante 1. Im Unterschied zu dieser wird aber das optimierte hydraulische Sicherungssystem (Haldenrandgräben bzw. Drainagen entsprechend dem aktuellen Planungszustand gemäß Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau) im Modell berücksichtigt. Die Anbindung der Entwässerungselemente an den Grundwasserleiter und damit deren entwässernde Wirkung ist in diesem Fall gegenüber den Varianten 1 und 2 deutlich erhöht. Entsprechend den Ergebnissen der Nullvariante entfällt der nördliche Randgraben als Drainageelement. Der südwestliche Abschnitt des Randgrabens wird deutlich verkürzt und der südöstliche begradigt. Das Drainagesystem südlich der Altdeponie 2 wird auf Grund der erforderlichen Tiefenlage durch sieben Vertikalfilterbrunnen realisiert. Die Karte in B13 Anl3, Blatt 3 veranschaulicht die Lage der Drainageelemente.

Für den Altlauf der Laucha wird davon ausgegangen, dass er sich abschnittsweise verändert und vom verlegten Lauchaabschnitt abgekoppelt wird. Falls in den verbleibenden Abschnitten des alten Lauchabetes Grundwasser zusitzt, muss dieses durch technische Maßnahmen abgeführt werden. Im Bereich des Canyons wird der alte Lauchaverlauf vollständig durch ein Drainagesystem ersetzt. Die Gestaltung bzw. Abdichtung der Deponieoberfläche erfolgt in Anlehnung an die Angaben nach C&E, 2005 A, B für die GSO 3.1. Im Wesentlichen umfasst dies die folgenden Maßnahmen:

- Abdichtung der Deponieoberfläche mit für die einzelnen Deponiebereiche angepassten Materialien (mineralische Dichtung, u. a.)
- Fassung und Ableitung des anfallenden Oberflächenwassers

Für die Abdichtung der Altdeponie 2 war bereits in der GSO 3.1 nach C&E, 2005 A, B ausschließlich eine Wasserhaushaltsschicht vorgesehen. Dieser Vorgabe wird auch in der aktuellen Planung gefolgt. Generell entspricht die GSO 3.1 damit der von der MDSE weiterhin verfolgten Sanierungskonzeption.

Insbesondere ist mit den Maßnahmen zur Oberflächenabdichtung eine starke Verringerung des Anfalls an Sickerwasser gegenüber der Nullvariante und auch den Varianten 1 und 2 verbunden.

Variante 4

Die Variante 4 entspricht bezüglich des umverlegten Lauchaverlaufes der Variante 2. Das System der optimierten Drainagen- bzw. Haldenrandgräben und die Gestaltung bzw. Abdichtung der Deponieoberfläche entsprechend dem aktuellen Planungszustand und werden analog zur Variante 3 im Modell berücksichtigt. Damit trifft auch für die Variante 4 die Aussage zur Abdichtung der Altdeponie 2 (nach GSO 3.1 ausschließlich Wasserhaushaltsschicht) und damit die Feststellung der weitgehenden Übereinstimmung zwischen aktueller Planung und GSO 3.1 nach C&E, 2005 A, B zu.

5.4 Hydraulische Randbedingungen Prognosevarianten

Die Veränderungen der hydraulischen Randbedingungen gegenüber dem Ausgangs- bzw. Istzustand betreffen den Lauchaverlauf (Umverlegung in den beiden Varianten deponiefern und deponienah), die Haldenrandgräben sowie die anfallende Sickerwassermenge aus dem Deponiekörper bzw. die Grundwasserneubildung in diesem Bereich, welche sich unter Berücksichtigung der Maßnahmen zur Oberflächenabdichtung ergibt.

Wesentliche Bedeutung für die durchgeführten Untersuchungen hat die detaillierte Berücksichtigung der auf der Hochhalde Schkopau anfallenden Infiltrationsraten. Hierfür wurde durch C & E, 2005 A als Grundlage eine differenzierte Verteilung (insgesamt 13 Teilbereiche: 7 Becken, 5 Dämme, 1 Sonderbereich) der Grundwasserneubildungsraten für die verschiedenen untersuchten Varianten der Oberflächenabdeckung bzw. -abdichtung ermittelt. Die Berechnungen basierten auf dem Programmsystem HELP. In Tabelle 9 und in Tabelle 10 sind die berechneten Infiltrationsraten der einzelnen Deponiebereiche für die Minimalvariante (Oberflächengestaltung in den Varianten 1 und 2) und die GSO 3.1 (Oberflächengestaltung Variante 3 und 4) zusammengestellt. Diese Infiltrationsraten stellen aber nicht unmittelbar die in das Grundwasserströmungsmodell eingehenden Grundwasserneubildungsraten dar. Die Werte wurden als Randbedingungen für die separate Modellierung des Deponiekörpers mit einem 3D-Modell, welches gekoppelt die Sickerwasserströmung und den Stofftransport unter Berücksichtigung von hydrogeochemischen Reaktionen der gelösten und im Deponiekörper enthaltenen Stoffe simuliert (HPC, 2004), verwendet. Die letztlich als Grundwasserneubildung den obersten Grundwasserleiter (MGWL 1 und in kleinen Bereichen die MGWL 2 und 3) des Grundwasserströmungsmodells erreichenden Sickerwassermengen sind das Ergebnis der Berechnungen (Berücksichtigung von vertikaler Durchströmung, lateralen Abflüssen und weiteren

Einflussfaktoren) mit dem 3D-Deponiekörpermodell. Die aus dem Deponiekörper dem obersten Grundwasserleiter zusitzenden Volumenströme mit den zugehörigen Schadstoffkonzentrationen wurden entsprechend aus dem Deponiekörpermodell nach HPC, 2004 übernommen.

Die mit dem 3D-Deponiekörpermodell ermittelten Sickerwasserraten stehen als punktbezogene Volumenströme zur Verfügung und wurden durch Interpolation auf das Modellgitter des aktuellen Grundwasserströmungsmodells übertragen. Die Belegung des Modells mit den Werten für die Sickerwasservolumenströme geht aus B13 Anl3, Blatt 1 und Blatt 2 hervor. Entsprechende Erläuterungen zu den an den Sickerwasserstrom gekoppelten Schadstoffkonzentrationen erfolgen unter Punkt 5.5.3.

Tabelle 9: Infiltrationsraten Haldenkörper Hochhalde Schkopau, Minimalvariante

Modellbereich alte Bezeichnung	Modellbereich neue Bezeichnung	Hydrotop	P in mm	ETR in mm	Abfluss gesamt in mm
Bereich 1	Altdeponie 1	Becken	573	440	120
Bereich 2	Altdeponie 2	Becken	573	440	9
Bereich 2	Altdeponie 2	Damm	573	440	13
Bereich 3	Altdeponie 3	Becken	573	445	88
Bereich 3	Altdeponie 3	Damm	573	445	93
Bereich 4	Altdeponie 4	Becken	573	445	87
Bereich 4	Altdeponie 4	Damm	573	445	33
Bereich 5	Altdeponie 5	Becken	573	440	56
Bereich 5	Altdeponie 5	Damm	573	440	81
Bereich 6	Altdeponie 6	Becken	573	440	120
Bereich 6	Altdeponie 6	Damm	573	440	101
Bereich 7	Altdeponie 7	Becken	573	440	120
Bereich 7	Altdeponie 7	Damm	573	440	120
Sonderabfallbereich	Altdeponie 8	Gesamt	573	440	70

Veränderungen der hydraulischen Randbedingungen liegen auch für die Laucha und die Haldenrandgräben vor. Für die beiden Varianten der Lauchaverlegung wurden die aus der aktuellen Planung hervorgehenden Angaben zum Verlauf des Flussbettes sowie zur geplanten Höhenlage der Gewässersohle und des Wasserspiegels in das Grundwasserströmungsmodell übernommen. Im Grundwasserströmungsmodell wurden diese Angaben durch adäquate Flussrandbedingungen umgesetzt. Es wird von einer ungehinderten Kommunikation Fließgewässer – Grundwasser ausgegangen, d. h., es tritt keine Kolmation des Gewässerbettes auf, ein entsprechend hoher Randleakagefaktor wird berücksichtigt.

Tabelle 10: Infiltrationsraten Haldenkörper Hochhalde Schkopau, Oberflächenabdichtung nach GSO 3.1

Modellbereich alte Bezeichnung	Modellbereich neue Bezeichnung	Hydrotop	P in mm	ETR in mm	Abfluss gesamt in mm
Bereich 1	Altdeponie 1	Becken	573	440	120
Bereich 2	Altdeponie 2	Becken	573	440	9
Bereich 2	Altdeponie 2	Damm	573	440	13
Bereich 3	Altdeponie 3	Becken	573	495	7
Bereich 3	Altdeponie 3	Damm	573	495	7
Bereich 4	Altdeponie 4	Becken	573	472	7
Bereich 4	Altdeponie 4	Damm	573	472	7
Bereich 5	Altdeponie 5	Becken	573	495	15
Bereich 5	Altdeponie 5	Damm	573	495	13
Bereich 6	Altdeponie 6	Becken	573	446	15
Bereich 6	Altdeponie 6	Damm	573	446	13
Bereich 7	Altdeponie 7	Becken	573	449	15
Bereich 7	Altdeponie 7	Damm	573	449	13
Sonderabfallbereich	Altdeponie 8	Gesamt	573	449	15

Im Grundwasserströmungsmodell werden die geplanten Randgräben bzw. Drainagesysteme als Drainagerandbedingungen mit Vorgabe des Drainagewasserstandes und eines Randleakagefaktors abgebildet. Die Haldenrandgräben bzw. vergleichbare Drainageelemente werden in den Prognosevarianten 3 und 4 als voll funktionstüchtig, also mit einer ungehinderten Anbindung an das Grund- bzw. Sickerwasser und somit vollständigen Drainagewirkung berücksichtigt. Dem trägt ein hoher Randleakagefaktor im Grundwasserströmungsmodell Rechnung. In den Varianten 1 und 2 entsprechen die modelltechnisch berücksichtigten Randgräben dem Istzustand, d. h., die Gräben sind z. T. kolmatiert und die Randleakagefaktoren entsprechend geringer.

5.5 Angaben zur Modellierung des Stofftransports im Grundwasser

5.5.1 Ausgangsgrößen für die Modellierung des Stofftransports

Bei der Konzeption und Durchführung der Modellierungsarbeiten ist zu beachten, dass das Bearbeitungskonzept vom Vorhandensein von Eingangsdaten für das Grundwasserströmungs- und das Stofftransportmodell ausgeht, die im Rahmen der Bearbeitung des TSRK für die Hochhalde Schkopau (C&E 2005 A, B) gewonnen wurden. Diese Daten waren das Ergebnis einer speziellen, unabhängig vom Grundwassermodell durchgeführten Modellierung der vertikalen Durchströmung des Haldenkörpers unter Berücksichtigung der geo- und hydrochemischen Stoffumwandlungsprozesse (HPC 2004). Die Berechnungen wurden für mehrere, als perspektivisch relevant eingeschätzte Varianten durchgeführt. Deren Berechnungsergebnisse wurden als Randbedingungen für die Grundwasserströmung und den Stofftransport in das Grundwasserströmungsmodell übernommen. D. h., diese erforderlichen Randbedingungen des Grundwasserströmungsmodells liegen für die untersuchten Varianten nach C&E, 2005 A, B vor. Da hinsichtlich der nunmehr zu untersuchenden Planungsvarianten nicht in allen Fällen Sickerwassermengen und Schadstoffkonzentrationen des Sickerwassers im Ergebnis der Modellberechnungen nach HPC, 2004 vorhanden sind, kommen in diesen Fällen alternative Vorgehensweisen wie z. B. die Durchführung von Analogieuntersuchungen oder begründete Abschätzungen zum Einsatz.

Für die Untersuchungen des Stofftransports im Grundwasser war es erforderlich, das für den Ausgangszustand kalibrierte Modell der Grundwasserströmung zum Stofftransportmodell zu erweitern. Bezüglich der geohydraulischen Parameter, der berücksichtigten Randbedingungen und z. T. der Geometrie der Grundwasserleiter basieren die Berechnungen zum Stofftransport auf dem Modell der Grundwasserströmung. Als wichtigste Ausgangsgröße werden die von MODFLOW berechneten zwischen den Modellelementen fließenden Volumenströme an das Stofftransportmodell (MT3D-FL) übergeben.

Die folgenden zusätzlichen Größen bzw. Phänomene müssen zur Berechnung der Konzentrationsverteilung im Grundwasser Berücksichtigung finden:

- die Schichtmächtigkeit (wenn im Strömungsmodell nicht erfasst)
- die effektive Porosität
- die hydrodynamische Dispersion (mechanische Dispersion und Diffusion)
- die physikochemischen Wechselwirkungen zwischen der Matrix des Porenraumes und dem im Wasser gelösten Schadstoff (insbesondere Sorption)
- Abbau- und Zerfallsprozesse.

Hinsichtlich der Parameter zur Beschreibung der physikochemischen Wechselwirkungen und der Abbau- und Zerfallsprozesse ist von entscheidender Bedeutung, welche Stoffe gelöst im Grundwasser vorliegen und bezüglich ihrer Ausbreitung betrachtet werden sollen. Die Untersuchungen im Rahmen des TSRK (C & E 2005 A, B) ergaben, dass von den Schadstoffen, die aus dem Deponiekörper emittiert werden, hauptsächlich Quecksilber zu einer Gefährdung von Schutzgütern führt. Die durchgeführten Modellberechnungen mit dem Vertikalmodell des Haldenkörpers (HPC, 2004) erfolgten somit bei den Variantenbetrachtungen nur für Quecksilber.

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Damit liegen nur für Quecksilber entsprechende Sickerwasserkonzentrationen als Anfangsbedingungen der Modellprognosen vor. Wie unter Punkt 5.5.3 ausführlich erläutert, mussten die Anfangskonzentrationen für CKW aus diesem Grund auf Basis eines anderen methodischen Vorgehens ermittelt werden. Die folgenden Angaben zu den Parametern der physikochemischen Wechselwirkungen und zu den Abbau- und Zerfallsprozessen beziehen sich somit auf Quecksilber und CKW.

5.5.2 Parameter des Stofftransports

Bei der Parametrisierung des Stofftransportmodells wurde weitestgehend auf die im TSRK (C & E 2005 A, B) dokumentierten Grundlagen zurückgegriffen, da grundlegende neue Untersuchungsergebnisse zu diesem Sachverhalt nicht vorliegen. Hinsichtlich der effektiven Porositäten der einzelnen MGWL wurden im Rahmen der Modellbearbeitungen zum ÖGP Buna (IHU 2007, IHU 2010) geringfügige Modifikationen vorgenommen. Diese kommen auch in der aktuellen Bearbeitung zum Tragen. Die Parameterbelegung für den Bereich des Gesamtmodells basiert auf dem in IHU, 2007 A und IHU, 2010 dokumentierten Kenntnisstand.

Zu den effektiven Porositäten der Gesteine liegen für das Untersuchungsgebiet keine gesicherten Angaben, die auf entsprechenden Labor- oder Feldversuchen basieren, vor. Aus diesem Grunde musste auf Literaturwerte zurückgegriffen werden. Bei der Festlegung der Porositätswerte für die Festgesteinsgrundwasserleiter wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass mit wachsender Teufe i. A. auch der Verfestigungsgrad der Gesteine zu- und damit die Porosität abnimmt. Die berücksichtigten Werte für die einzelnen Modellschichten sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Die Dispersion beschreibt die Wirkung der unbekanntem kleinskaligen Variationen des Geschwindigkeitsfeldes. Sie stellt ein Maß für die Streuung des transportierten Schadstoffes im Porenraum dar und ist eine maßstabsabhängige Größe. D. h. sie sollte unter Berücksichtigung des relevanten Fließweges angesetzt werden. Die longitudinale Dispersivität kennzeichnet den Prozess in Hauptrichtung des advektiven Transports. Die angesetzten Werte für die longitudinale Dispersivität folgen den Vorgaben nach BEIMS, 1985 bzw. KINZELBACH, 1986. Das Verhältnis horizontale, transversale Dispersivität zu longitudinaler Dispersivität wurde mit 0,1 und das zwischen vertikaler, transversale Dispersivität und longitudinaler Dispersivität mit 0,005 berücksichtigt. Der molekulare Diffusionskoeffizient beträgt $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Angaben zur longitudinalen Dispersivität enthält Tabelle 11.

Für die physikochemischen Wechselwirkungen zwischen der Matrix des Porenraums und dem im Wasser gelösten Schadstoff sowie für Abbau- und Zerfallsprozesse sind in bedeutendem Maße die physikalischen und chemischen Eigenschaften der im Wasser gelösten Schadstoffe verantwortlich. Die Betrachtungen im TSRK zur Hochhalde Schkopau (C & E 2005 A, B) wurden für zahlreiche Stoffe bzw. Stoffgruppen durchgeführt, wobei sich, wie bereits ausgeführt, im Ergebnis Quecksilber als besonders relevant darstellte. Im Rahmen der aktuellen Untersuchungen erfolgte die Auswertung weiterer Literaturangaben zum Sorptionsverhalten des Quecksilbers (insbesondere ALLISON and ALLISON 2005). Auf Grund der Persistenz des Quecksilbers wird davon ausgegangen, dass keine Abbau- bzw. Zerfallsprozesse stattfinden.

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Unter Berücksichtigung aller o. g. Sachverhalte kamen die in Tabelle 11 zusammengestellten Werte zur Charakterisierung der physikochemischen Wechselwirkungen zum Ansatz.

In Hinblick auf die Schadstoffgruppe der CKW kann Trichlorethylen als Leitparameter angesehen werden. Da, wie bereits ausgeführt, standortkonkrete Angaben nicht vorliegen, wurden die Angaben zu den physikochemischen Wechselwirkungen anhand von Literaturangaben festgelegt. Abweichend vom Quecksilber ist in Hinblick auf Trichlorethylen mit einem relevanten Abbau des Schadstoffes zu rechnen. Entsprechend vorliegender Literaturangaben (ARONSON und HOWARD, 1997) liegen die Halbwertszeiten im Bereich von 1,2 bis 13,2 Jahren im Sinne konservativer Einschätzungen. Basierend auf diesen Angaben wurde eine Halbwertszeit von 10 Jahren (Zerfallskonstante $\lambda = 2,2 \cdot 10^{-9} \cdot \text{s}^{-1}$) für Trichlorethylen als Vertreter der Schadstoffgruppe CKW im Stofftransportmodell angesetzt.

Tabelle 11: Parameter der Stofftransportmodellierung

Modellschicht	n_e	δ_L in m	R_d Hg	R_d CKW
1	0,15	1	31	7
2	0,05	3	9	3
3	0,01	1	111	5,4
4	0,03	6	8,3	2,5
5	0,03	10	8,3	2,5

Die Angaben zum Retardationsverhalten (abgeleitet aus Verteilungskoeffizienten) zeigen einen wesentlich geringeren Rückhalt für Trichlorethylen als für Quecksilber. Entsprechend kamen die in Tabelle 11 zusammengestellten Retardationskoeffizienten zum Ansatz.

5.5.3 Art und Weise sowie Positionen des Schadstoffeintrags ins Grundwasser

Neben den aus der Berechnung der Grundwasserströmung ermittelten Größen, die den konvektiven Transport der Schadstoffe maßgeblich bestimmen und den Parametern des Stofftransports sind die Konzentrationsrandbedingungen von ausschlaggebender Bedeutung für die ermittelte Konzentrationsverteilung. Diese werden in erster Linie durch die Art und Weise des Eintrags der Schadstoffe ins Grundwasser und die Lage der Bereiche, in denen der Eintrag stattfindet oder stattfand, bestimmt.

Wie bereits unter Punkt 5.4 erörtert, wurden die aus dem Haldenkörper dem obersten Grundwasserleiter zusitzenden Volumenströme mit den zugehörigen Schadstoffkonzentrationen aus dem Deponiekörpermodell (HPC 2004) übernommen. D. h., sowohl der Bereich der Stofftransportrandbedingungen als auch die eingetragenen Frachten sind über die Kopplung mit dem Deponiekörpermodell definiert. Die Verteilung der berücksichtigten Sickerwassermengen, die modelltechnisch als Randvolumenströme berücksichtigt wurden, geht aus B13 Anl3, Blatt 1 (Minimalvariante bzw. Abdeckung der Hochhalde ohne Dichtungsschicht) und Blatt 2 (Abdeckung der Hochhalde entsprechend GSO 3.1) hervor. Die Verteilung der zugehörigen Quecksilberkonzentrationen zeigt B13 Anl3 Blatt 4 und Blatt 5.

Da, wie bereits unter Punkt 5.5.1 dargelegt, mit dem Vertikalmodell des Haldenkörpers keine Schadstoffkonzentrationen für CKW berechnet wurden, stehen diese Werte als Eingabegrößen für das Stofftransportmodell nicht zur Verfügung. Es war somit erforderlich, ein alternatives methodisches Vorgehen für die Ermittlung der Konzentrationsrandbedingungen (CKW-Konzentrationen im Sickerwasser) umzusetzen.

Ausgangspunkt ist die derzeitig gemessene CKW-Konzentration in den Messstellen im Haldenkörper und in den in unmittelbarer Nähe der Hochhalde Schkopau befindlichen, im MGWL 1 oder im Haldenkörper verfilterten GWM. Die Angaben wurden dem Grundwassermonitoring des ÖGP Buna (FUGRO 2010, 2011) entnommen. Es erfolgte eine Mitteilung der Konzentrationswerte für die Jahre 2008 bis 2010, ergänzt durch aktuelle Messungen aus dem Jahr 2014. Die Karte in B13 Anl3, Blatt 6 zeigt die verwendeten Messstellen und die zugehörigen Messwerte der CKW-Konzentration.

Aus den Stützstellen der CKW-Konzentration wurde eine entsprechende Datei erzeugt, die als Grundlage für die Interpolation der CKW-Konzentrationen auf die Elemente des Stofftransportmodells diene. Die sich ergebende Verteilung der CKW-Konzentrationen des Sickerwassers als Randbedingungen des Stofftransportmodells ist in B13 Anl3, Blatt 7 dargestellt. Es werden teilweise sehr hohe Werte der Sickerwasserkonzentration erreicht. Im Westen der Hochhalde Schkopau betragen diese zwischen 2.000 µg/l und 9.000 µg/l. Im östlichen Teil der Hochhalde liegen die CKW-Konzentrationen zwischen etwa 30 µg/l und 40 µg/l und damit deutlich niedriger als im Westteil (Altdeponie 5).

Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung der CKW-Konzentrationen im Sickerwasser der Hochhalde können auf Basis dieser Vorgehensweise keine Aussagen gemacht werden. Es ist aber auf Grund des großen Schadstoffpotentials im Haldenkörper nicht mit einem Rückgang der Konzentrationen innerhalb kürzerer Zeiträume zu rechnen. Infolge des langsamen Austrags und des großen Potentials werden die Sickerwasserkonzentrationen über Zeiträume von vielen hundert Jahren und länger mehr oder weniger konstant bleiben. Diese Aussagen decken sich auch mit den Ergebnissen der Berechnungen mit dem Vertikalmodell des Haldenkörpers (HPC 2004). Auch hier wurden über sehr lange Zeiträume weitgehend konstante Sickerwasserkonzentrationen prognostiziert.

Die Bilanzierung der Volumen- und Masseströme ergibt für die Gestaltung der Hochhalde Schkopau gemäß der Minimalvariante eine Gesamtmenge an infiltrierendem Sickerwasser aus dem Deponiekörper von 369 m³/d und einen zugehörigen Massenstrom von ca. 2,62 kg/a Quecksilber. Dieser Massestrom entspricht mit guter Genauigkeit dem im TSRK (C & E 2005 A) ausgewiesenen Wert von 2,5 kg/a für die GSO 2, welche dem Szenario minimale Abdeckung (keine Oberflächenabdeckung) entspricht. Die geringfügige Abweichung ist auf den Prozess der Übertragung vom Vertikalmodell auf das Grundwasserströmungsmodell (Diskretisierungsfehler, Interpolation) zurückzuführen. Bei Umsetzung der GSO 3.1 mit den nachträglichen Veränderungen (Deponieabschnitt 4.5, laufende Planungen) infiltriert eine Wassermenge von 88 m³/d bei einem zugehörigen Massenstrom von 0,62 kg/a. Alle Angaben sind für den gesamten Prognosezeitraum als konstant angesetzt.

Wie die Darstellung der Quellstärke der Quecksilberkonzentration in B13 Anl3, Blatt 4 und Blatt 5 zeigt, liegt ein Schwerpunkt des Quecksilbereintrages im südwestlichen und südlichen Teil der Hochhalde Schkopau (Altdeponien 5 und 2). Hier erreichen die Quecksilberkonzentrationen für die Minimalvariante über eine größere Fläche Werte von ca. 80 µg/l. In weiten Teilen der Hochhalde Schkopau liegen die Quellstärken (Konzentrationen im Sickerwasser) deutlich niedriger (< 1 bis 20 µg/l). Bei Umsetzung der GSO 3.1 reduzieren sich diese Konzentrationen erheblich. In größeren Bereichen liegen die Werte unter 0,0001 µg/l, die Maximalwerte (Bereiche der Altdeponien 5 und 2) erreichen ca. 60 µg/l.

Die räumlich differenzierte Konzentrationsverteilung mit den lokalen Maxima ist von erheblicher Bedeutung für die Ausbildung der Schadstofffahne und damit für die Belastung der Laucha in den betrachteten Prognosevarianten (Vergl. auch Punkt 5.6.2).

5.6 Ergebnisse der Modellierung der Prognosevarianten

5.6.1 Auswirkungen auf die Grundwasserstände

Neben der Bewertung der Auswirkungen der geplanten Umverlegung der Laucha auf den Schadstofftransport im Grundwasser und die Schadstoffeinträge in Oberflächengewässer sollten auch die Folgen für die Grundwasserstandsentwicklung eingeschätzt werden. Um den Vergleich der derzeitigen Grundwasserstände (nach FUGRO 2008 und 2010) mit den prognostizierten Grundwasserstandswerten zu ermöglichen, wurden Differenzpläne zwischen den Berechnungsergebnissen des Istzustandes und denen der untersuchten Prognosevarianten (Variante 3 und 4) erarbeitet. Da die Eingriffe in das Grundwasserströmungsgeschehen in den Prognosevarianten 3 und 4 am stärksten sind und die sich langfristig einstellende auch andauernde Situation abbilden, werden die Ergebnisse in Hinblick auf die Grundwasserstandsänderungen als besonders relevant eingeschätzt. Auf eine analoge Darstellung für die Varianten 1 und 2 wird verzichtet, da deren hydraulischer Einfluss geringer ist und es sich um zeitlich eng begrenzte Zustände handelt. Die Karten der berechneten Grundwasserstandsdifferenzen für die Varianten 3 und 4 sind in B13 Anl6, Blatt 1 bis 6 dargestellt.

Die Veränderungen des Grundwasserstandes (Differenzen Istzustand – Prognosevariante) resultieren zum einen aus der geplanten Umverlegung der Laucha und der damit verbundenen, drainierenden Wirkung des verlegten Flussbettes auf die jeweils betroffenen MGWL in einer gegenüber dem gegenwärtigen Zustand veränderten räumlichen Position. Zum anderen hat die geplante Gestaltung der Hochhalde Schkopau im Endzustand (Generalplanung zur Stilllegung) einen starken Einfluss auf die Grundwasserstände im Liegenden der Hochhalde Schkopau und in den unmittelbar angrenzenden Bereichen. Dieser Einfluss resultiert sowohl aus der Abdichtung der Haldenoberfläche mit einer Dichtungsschicht, verbunden mit einem starken Rückgang der in den jeweils obersten MGWL übertretenden Sickerwasserströme, als auch aus der Optimierung des Randgraben- bzw. Drainagesystems. So kommt es für beide Varianten (3 und 4) zu einer Absenkung der Grundwasserstände im nördlichen Bereich der Hochhalde von bis zu 6 m im MGWL 1 und 1 m bis 5 m im MGWL 2. Im MGWL 3 zeigt sich eine flächenhafte Absenkung von ca. 0,5 m bis 3 m.

Die Beeinflussung der Grundwasserstände durch die geplanten Maßnahmen der Lauchaumverlegung ist deutlich, betrifft aber vorrangig die Druckwasserspiegel der Festgesteinsgrundwasserleiter MGWL 2 und 3. Hier kommt es in der Nähe der Trassenverläufe auf Grund der tief eingeschnittenen Lage des umverlegten Lauchabettes und damit des perspektivischen Lauchawasserstandes zu einer deutlichen Druckverringerung in den MGWL 2 und 3. Im MGWL 1, welcher häufig ungespanntes Grundwasser führt, ist der Einfluss wesentlich geringer. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich das Wasserspiegelniveau der umverlegten Laucha, dort, wo sich die Trasse im MGWL 1 befindet, gegenüber dem Istzustand nur wenig ändert, da die Höhenänderungen des Lauchabettes hier gering sind.

Stärkere Änderungen der Grundwasserstände treten somit nur in unmittelbarer Nähe der Trassen der Umverlegungsvarianten auf. Die Grundwasserabsenkungen im MGWL 1 in diesem Bereich sind sowohl für die Prognosevariante 3 als auch die Variante 4 gering und lokal eng begrenzt.

Meist liegen die Absenkungsbeträge unter 0,5 m und nur in unmittelbarer Nähe der Trassen bei bis zu 1,5 m (B13 Anl6, Blatt 1 und 4). Die höchsten Grundwasserabsenkungen sind in der Variante 3 östlich von Bündorf und nördlich von Knapendorf zu verzeichnen. In der Variante 4 treten die stärksten Absenkungen des Grundwasserstandes nördlich Knapendorf auf.

Die Beeinflussung in den MGWL 2 und 3 ist ebenfalls lokal begrenzt, wobei größere Differenzen als im MGWL 1 auftreten. Auf Grund des tiefen Einschnittes der deponiefern verlegten Laucha (Variante 3) kommt es östlich Knapendorf zu Verringerungen des Druckwasserspiegels im MGWL 3 um bis zu 10 m in unmittelbarer Nähe der Umverlegungstrasse. Im Fall der deponienahen Umverlegung (Variante 4) treten die höchsten Reduzierungen des Druckwasserspiegels im MGWL 2 im Bereich südlich der Altdeponie 2 auf. Diese betragen bis zu 8 m in unmittelbarer Nähe des Trassenverlaufs. Im MGWL 3 erreichen die Verringerungen des Druckwasserspiegels bis zu 4 m in unmittelbarer Trassennähe östlich der Altdeponie 2.

Die geplanten Gräben und Drainagen des optimierten hydraulischen Sicherungssystems haben, da sie zwar eine optimierte Wirkung aufweisen, aber in der Lage gegenüber dem gegenwärtigen Zustand unverändert bleiben, meist einen wesentlich geringeren Einfluss auf den Grundwasserstand als die umverlegte Laucha. Eine Ausnahme stellt in dieser Hinsicht die geplante Drainage südlich der Altdeponie 2 (Realisierung als Vertikalfilterbrunnen) dar. Hier kommt es im MGWL 2 zu Absenkungen des Druckwasserspiegels von bis zu ca. 6 m im Bereich der Drainagen bzw. Vertikalfilterbrunnen. Auch hier handelt es sich um den summarischen Effekt der Verlegung der Laucha und des optimierten Drainagesystems. Zu einer leichten Grundwasseraufhöhung kommt es im Bereich des Canyons, da die hier geplante Flächendrainage einen höheren Zielwasserstand (90,0 m NHN bis 88,0 m NHN) hat, als der gegenwärtige Wasserstand der Laucha (bei mittleren Verhältnissen 89,2 m NHN bis 87,4 m NHN). Die Differenz beträgt also etwa 0,6 m bis 0,8 m. Da die Unterkante des Haldenkörpers im Bereich des Canyons aber bei minimal 90,0 m NHN bis 91,0 m NHN liegt, wird es auch unter Berücksichtigung der Flächendrainage nicht zu einer Vernässung des Haldenfußes kommen.

Marginale Grundwasserstandserhöhungen nordöstlich der Laucha resultieren aus Fördermengenänderungen auf dem Werksgelände. Diese haben keine Auswirkungen auf die Strömung im Bereich der Lauchaumverlegung und stehen nicht im Zusammenhang mit der geplanten Maßnahme.

Die Änderungen der Grundwasserdruckspiegel, infolge der Lauchaumverlegung, haben keine Auswirkung auf das generelle Fließgeschehen. Lediglich im Bereich zwischen dem bestehenden und dem geplanten Verlauf der Laucha kann es zu geringfügigen lokal vernachlässigbaren Änderungen im Fließgeschehen kommen.

5.6.2 Konzentrationsverteilung im Grundwasser

Für alle betrachteten Prognosevarianten wurde die Ausbreitung der relevanten Schadstoffe Quecksilber und CKW im Grundwasser untersucht. Ausgehend vom Schadstoffeintrag über das Deponiesickerwasser in den obersten Grundwasserleiter erfolgte die Berechnung der sich einstellenden Konzentrationen in allen Modellgrundwasserleitern. Im Ergebnis liegt die räumliche Konzentrationsverteilung für Quecksilber und CKW für alle Prognosevarianten vor.

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Die vorliegenden Verteilungen der Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser geben Aufschluss über die perspektivische Entwicklung der von der Hochhalde Schkopau ausgehenden Schadstofffahne in den betrachteten Grundwasserleitern und stellen gleichzeitig eine wesentliche Grundlage der Bilanzbetrachtungen zu den in die hydraulischen Randbedingungen eingetragenen Schadstofffrachten bzw. –massenströmen dar. Die Darstellung der Konzentrationsverteilung im Grundwasser erfolgt zusammen mit den berechneten Hydroisohypsenplänen in B13 Anl4, Blatt 1 bis 15 für Quecksilber und in B13 Anl5, Blatt 1 bis 5 für CKW. Da die berechneten Quecksilberkonzentrationen für den MGWL 4 in allen Varianten nahe der Genauigkeitsgrenzen der Modellberechnungen liegen (ca. $1 \cdot 10^{-4}$ mg/l), wurde auf eine kartografische Darstellung für den MGWL 4 verzichtet. Die CKW-Konzentrationen liegen bereits im MGWL 2, mit Ausnahme weniger Modellelemente im Liegenden der Hochhalde Schkopau, unter $0,01 \mu\text{g/l}$ und damit auf einem sehr niedrigen Niveau. Eine Verbreitung über den Bereich der Hochhalde Schkopau hinaus findet nicht statt. Auf Grund dieser Befunde werden für die CKW nur die Konzentrationsverteilungen im MGWL 1 kartografisch dargestellt.

In Hinblick auf die Ausbreitung von Quecksilber ist festzustellen, dass die Schadstofffahne im MGWL 1 in allen untersuchten Varianten eine geringe horizontale Ausbreitung erfährt. Dies ist durch die nahezu vollständige, wenn auch nicht in allen Fällen hydraulisch uneingeschränkt wirksame, Umschließung der Hochhalde Schkopau durch hydraulische Randbedingungen (Laucha, Haldenrandgräben) bedingt. Es bedeutet aber gleichzeitig, dass die Randbedingungen nahezu die gesamte Schadstoffmenge, die sich in der Modellschicht 1 bzw. im MGWL 1 in horizontaler Richtung bewegt, aufnehmen. Damit ist eine negative Beeinflussung, vor allem der Laucha, verbunden, wenn die Drainagerandbedingungen (Randgrabensystem) eine unzureichende Wirkung (Nullvariante, Varianten 1 und 2) entfalten.

Die berechneten Quecksilberkonzentrationen erreichen, sowohl in der Nullvariante als auch in den Prognosevarianten nur in der Modellschicht 1, in der aber, wie bereits dargelegt, keine weitreichende räumliche Ausbreitung erfolgt, Werte von $50 \mu\text{g/l}$ bis $60 \mu\text{g/l}$ in lokal begrenzten Bereichen. Dies trifft für den MGWL 1 vor allem im Liegenden der Altdeponie 5 zu.

In der Nullvariante sowie in der Variante 2 wird die südliche Ausdehnung der Schadstofffahne durch den Lauchaverlauf im Abschnitt Bündorf bis zum Abzweig der deponienahen Variante begrenzt. In den Varianten 3 und 4 übernehmen die Drainagesysteme die Funktion der Laucha und begrenzen die Schadstofffahne ganz überwiegend unmittelbar südlich der Hochhalde. Auf Grund der im Vergleich zum Istzustand im Gebiet südlich der Altdeponie 5 tiefen Lage des Lauchabettes und damit auch des Lauchawasserstandes bildet sich ein vergleichsweise steiler Gradient der Grundwasseroberfläche zwischen der Altdeponie 5 und der deponiefern verlegten Laucha aus. Dies führt zu einer deutlichen (Variante 1) bzw. leichten (Variante 3) Unterströmung des Haldenrandgrabensystems, sowohl bei Berücksichtigung des Istzustandes des Randgrabensystems (Variante 1) als auch in der Variante 3, also nach einer Neugestaltung der Gräben bzw. Drainagen. Mit dieser Unterströmung verbunden ist die Ausbildung einer Schadstofffahne bis zum deponiefern verlegten Lauchaabschnitt, die Konzentrationswerte liegen an der Randbedingung teilweise bei ca. $10 \mu\text{g/l}$ (Variante 1), und damit ein erhöhter Quecksilbereintrag in die Laucha. Diese Situation ist letztlich maßgeblich dafür verantwortlich, dass die

Belastung der Laucha in den Varianten mit deponienaher Verlegung geringer ist als bei deponiefernere Verlegung.

Die dargestellten Massestrombilanzen in Abbildung 3 zeigen für alle betrachteten Fälle, dass nur sehr geringe Anteile der gesamten Quecksilberfracht nicht den Randbedingungen zufließen (Vergleich der Bilanzgrößen Summe Fluss und Drainage und Neubildung Hochhalde Schkopau). D. h., nur ein sehr geringer Anteil der gesamten Quecksilbermenge wird mit dem Grundwasserabstrom in weiter entfernte Bereiche verlagert.

Infolge des in weiten Bereichen der Hochhalde Schkopau vom Hangenden zum Liegenden gerichteten Druckgradienten der Grundwasserströmung kommt es auch zur Verlagerung geringer Schadstoffmengen in die tieferen Grundwasserleiter bzw. Modellschichten. Im MGWL 2 erreichen die Quecksilberkonzentrationen in den Varianten Null, 1 und 2 Werte von bis zu 15 µg/l, allerdings in einem sehr kleinen Teilabschnitt im Liegenden der Altdeponie 5. Für die Varianten 3 und 4 sind die berechneten Konzentrationen noch deutlich geringer, die Maximalwerte erreichen hier nur 3 µg/l bis 6 µg/l. Eine kleinräumige Schadstofffahne bildet sich, etwa ausgehend von der Altdeponie 4, in nördliche Richtung aus. Allerdings sind die berechneten Quecksilberkonzentrationen sehr gering, sie liegen generell unter 1 µg/l.

Der MGWL 3 weist nur sehr geringe Quecksilberkonzentrationen von maximal 2 µg/l und diese nur in einem lokal sehr eng begrenzten Gebiet südöstlich der Altdeponie 3 auf. Eine weitere Ausbreitung wird durch die hydraulische Wirkung der Laucha im Ausstrichbereich des MGWL 3 verhindert.

Im MGWL 4 erreichen die Quecksilberkonzentrationen maximal 0,2 µg/l im Liegenden der Hochhalde Schkopau und liegen damit auf einem sehr niedrigen Niveau. In Hinblick auf eine Gefahrenbewertung sind diese Konzentrationen vernachlässigbar.

Die CKW-Konzentrationen erfahren de facto keine Ausbreitung im Grundwasser über den Bereich der Hochhalde Schkopau hinaus (Karten der Konzentrationsverteilung für CKW in B13 Anl5, Blatt 1 bis 5). D. h. nur im MGWL 1 und in unmittelbarer Nähe bzw. unterhalb der Hochhalde Schkopau treten relevante Konzentrationen an CKW auf. Für die Nullvariante und die Varianten 1 und 2 erreichen die CKW-Konzentrationen dabei Maximalwerte von ca. 0,28 µg/l, in den Varianten 3 und 4 wurden maximal ca. 0,1 µg/l erreicht. Wie bereits ausgeführt, liegen die CKW-Konzentrationen in den MGWL 2, 3 und 4 auf einem noch deutlich niedrigeren Niveau und treten ebenfalls nur unterhalb der Hochhalde Schkopau auf. Die geringe Ausbreitung der CKW-Konzentration resultiert vor allem aus dem Abbauverhalten der CKW. Der Zerfall führt bei den überwiegend geringen bis sehr geringen Strömungsgeschwindigkeiten im MGWL 1 bereits in dieser Schicht zu einer sehr starken Verringerung der CKW-Konzentrationen. Die in den MGWL 2, 3 und 4 auftretenden Konzentrationswerte sind somit für eine Gefahrenbewertung vernachlässigbar.

5.6.3 Bilanzbetrachtungen zu den Prognosezuständen

Für alle relevanten hydraulischen Randbedingungen die in den Prognosevarianten Berücksichtigung fanden, wurden sowohl die Volumenströme (durch Oberflächengewässer und Entwässerungselemente wie Randgräben und Drainagen aufgenommene Grundwassermengen) als auch die mit diesen eingetragenen Masseströme (Stofffrachten) für Quecksilber und für CKW bilanziert. Die Bilanzbereiche variieren in den einzelnen Varianten zum Teil, größtenteils bleiben sie aber gleich. Im Einzelnen werden die in Tabelle 12 beschriebenen Bilanzbereiche betrachtet. Deren räumliche Lage kann anhand der Darstellungen in B13 Anl3, Blatt 9 und 10 zugeordnet werden.

Die Bilanzbereiche 4 und 5, welche die Haldenrandgräben erfassen, variieren zwischen den Varianten Null, 1 und 2, die einen gegenüber dem Istzustand unveränderten Zustand der Gräben abbilden und den Varianten 3 und 4, welche von einer Neugestaltung der Gräben bzw. optimierten Auslegung des Drainagesystems ausgehen. Der Bilanzabschnitt 2 steht in der Nullvariante für den vorhandenen Lauchaverlauf mit der normalen Durchströmung. In den Varianten 1, 2, 3 und 4 sind in diesem Bereich Drainagen vorhanden (Bilanzabschnitte 2a, 2b und 2c, welche die entwässernde Wirkung des südöstlichen Haldenrandgrabens (teilweise auf dem Teilstück nördlich Knapendorf) und der Laucha übernehmen. Der Bilanzbereich nördlicher Randgraben entfällt in den Prognosevarianten 3 und 4, da auf Grund der stark reduzierten Sickerwassermenge bzw. Grundwasserneubildung keine Abstromkomponenten von der Hochhalde Schkopau in nördliche Richtungen mehr existieren. Der nördliche Randgraben kann somit in der Funktion als Grundwasser drainierendes Element entfallen.

Tabelle 12: Beschreibung der Bilanzbereiche

Bilanzzone	Name des Bilanzabschnittes	Variante
1	Neubildung HHS (einschließlich DA 4.5)	alle
2	Lauchaabschnitt vom Abzweig deponienahe Variante bis Mündung beider Varianten	Null
2a	Drainage im Verlauf des Lauchabettes vom Abzweig deponienahe Variante bis Beginn Canyon	1, 2, 3, 4
2b	Drainage im Verlauf des Lauchabettes von Beginn bis Ende Canyon	1, 2, 3, 4
2c	Drainage im Verlauf des Lauchabettes nach Ende Canyon (Lauchastummel))	1, 2, 3, 4
3	Lauchaabschnitt vom Abzweig deponieferne Variante bis zum Abzweig deponienahe Variante	Null, 2, 4
4	Randgraben bzw. Drainage, nördlicher Abschnitt	Null, 1, 2
5	Randgraben bzw. Drainage, südlicher Abschnitt	alle
6	Randgraben bzw. Drainage südlich Altdeponie 2	3, 4
7	Wertsgraben	alle
8	Laucha, deponiefern verlegter Abschnitt	1, 3
9	Laucha, deponienah verlegter Abschnitt	2, 4
10	Abschnitt des gemeinsamen Verlaufs von Laucha und Wertsgraben vor Mündung beider Varianten (Mündung Wertsgraben)	alle
11	Lauchaabschnitt vom Ortsrand Bündorf (Eintritt der Laucha in den Deponiebereich) bis zum Abzweig deponieferne Variante	alle

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Bei der Auswertung und Darstellung in Abbildung 2 bis Abbildung 7 werden die Bilanzzonen zu größeren Einheiten zusammengefasst. Die Zonen 2, 3, 7, 8, 9, 10 und 11 ergeben den Bilanzbereich Laucha bzw. Fluss, die Zonen 2a, 2b, 2c, 4, 5 und 6 den Bilanzbereich Drainagen.

Neben den bilanzierten Volumenströmen an zufließendem Grundwasser wurden als Ausgangswerte die sich zum zeitlichen Endpunkt der Stofftransportberechnung (stationärer Zustand des Stofftransports) einstellenden Quecksilberkonzentrationen (Zeitpunkt $t = 4.000$ a) berücksichtigt. Aus den Konzentrationswerten der einzelnen Modellelemente mit hydraulischen Randbedingungen wurden durch Verknüpfung mit den zugehörigen Volumenströmen die in die Randbedingungen eingetragenen Massenströme (Frachten) für Quecksilber und CKW ermittelt. Die Volumen- und Masseströme bzw. Frachten für alle betrachteten Varianten sind in Abbildung 2 bis Abbildung 4 zusammengestellt.

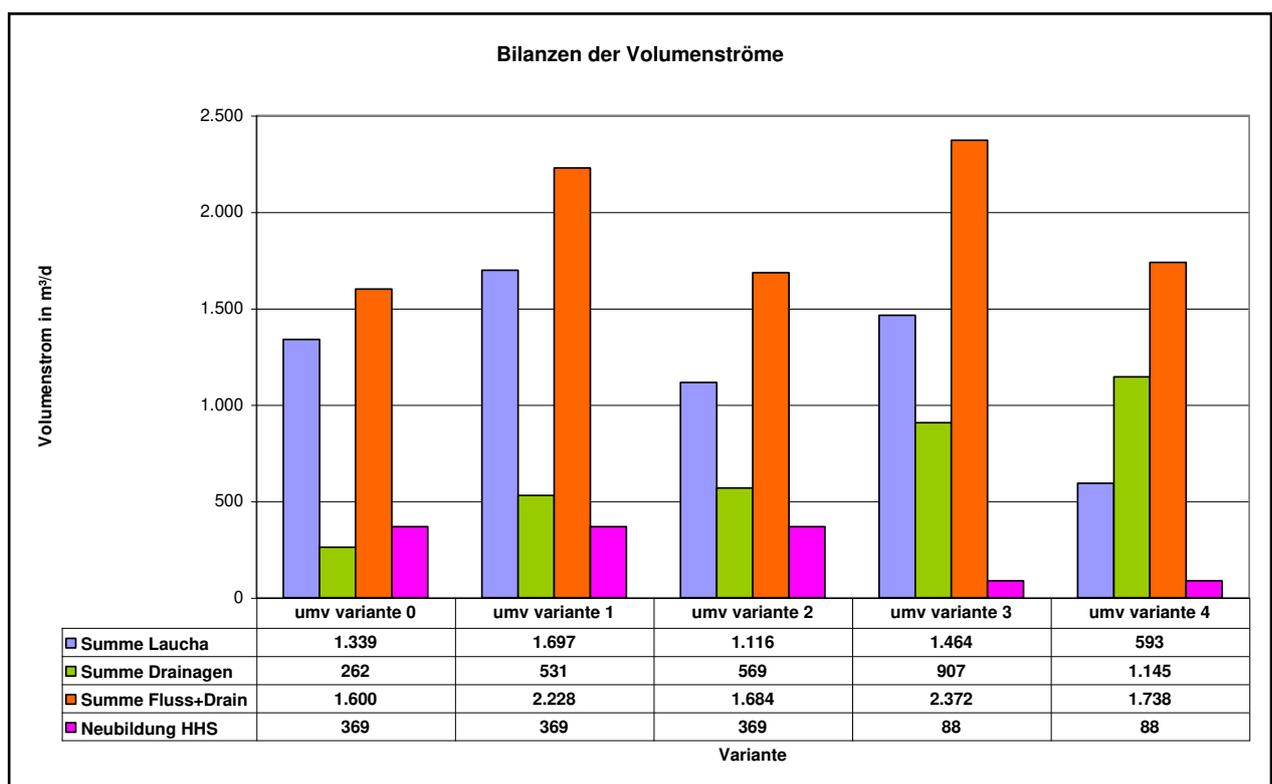


Abbildung 2: Zusammenfassung der Volumenstrombilanzen

Da neben dem eingetragenen Massenstrom auch die sich in der Laucha einstellende Schadstoffkonzentration von Bedeutung ist, war es erforderlich, die ermittelten Massenströme mit Durchflusswerten der Laucha zu verknüpfen. Als Durchflüsse wurden die Werte der hydrologischen Hauptzahlen der Datenreihe 1998 bis 2016 genutzt. Varianzen der Hauptzahlen führen zu interpolierten Konzentrationswerten. Da im Sinne der Gefahrenbewertung nur die niedrigen Durchflüsse (NQ, MNQ, MQ) relevant sind, erfolgten die Konzentrationsberechnungen ausschließlich für diese Werte. Die berechneten Konzentrationen im Lauchawasser für Quecksilber und CKW sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

Nullvariante

Die Nullvariante untersucht die Beeinflussung des Grundwassers und der Laucha in ihrem jetzigen Zustand durch Schadstoffausträge aus der Hochhalde Schkopau. Die in Abbildung 2 dargestellten Bilanzen zeigen, dass die Grundwasseraufnahme durch die Laucha gegenüber dem Ausgangszustand (Aufnahme einschließlich Wertsgraben ca. 1.500 m³/d) leicht zurückgeht. Dies ist auf die verringerte Grundwasserneubildung auf der Fläche der Hochhalde Schkopau gegenüber dem derzeitigen Zustand (Ausbluten des Haldenkörpers) zurückzuführen. Relevante Grundwassermengen nehmen ebenfalls der südliche Abschnitt des Haldenrandgrabens und des Wertsgrabens (im nördlichsten Teil) auf. Durch Einträge von Quecksilber sind vor allem die Laucha und der südliche Abschnitt des Haldenrandgrabens betroffen. Der durch die Laucha über den Grundwasserzstrom aufgenommene Massenstrom an Quecksilber beträgt 1,07 kg/a (Abbildung 3) und liegt damit über dem nach C & E, 2005 A angestrebten Zielwert von maximal 1 kg/a. Der Wertsgraben selbst nimmt in allen Varianten nur einen sehr geringen Massenstrom auf. Da die im Wertsgraben anfallende Quecksilbermenge ohnehin in die Laucha gelangt und dort summarisch wirkt, ist eine getrennte Bewertung des Wertsgrabens nicht sinnvoll.

Aus den Masseströmen ergeben sich die folgenden Quecksilberkonzentrationswerte in der Laucha für die Nullvariante (Vergl. auch Abbildung 5):

$$C_{NQ} = 6,77 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MNQ} = 1,25 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MQ} = 0,31 \mu\text{g/l}.$$

Damit wird der angestrebte Zielwert von 0,07 µg/l Quecksilber für NQ um etwa das 97fache überschritten. Für ein Q von 0,490 m³/s wird der Zielwert eingehalten. Gemäß den hydrologischen Hauptzahlen aus der Datenreihe 1998 bis 2016 (Angaben des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt) wird dieser Durchfluss bezogen auf mittlere Werte an allen Tagen im Jahr unterschritten, womit gleichzeitig eine Überschreitung des Zielwertes der Quecksilberkonzentration an allen Tagen im Jahr verbunden ist.

Obwohl die Nullvariante auf Grund der Effekte des noch nicht abgeschlossenen Leerlaufens des Haldenkörpers nicht identisch mit dem Ausgangszustand bzw. mit der jetzigen Situation ist, zeigt ein Vergleich der modelltechnisch ermittelten Quecksilberkonzentrationen des Lauchawassers mit den vorliegenden Messwerten dennoch eine akzeptable Übereinstimmung. Die berechneten Werte liegen zwischen ca. 1,3 und 6,8 µg/l für die betrachteten Niedrigwasserabflüsse, die Messwerte bei ca. 10 µg/l stromunterhalb des Austritts der Laucha aus dem Bereich der Hochhalde Schkopau. Es muss aber berücksichtigt werden, dass ein erheblicher Anteil der gemessenen Konzentration auf den direkten Eintrag von Quecksilber von der Deponieoberfläche (Bereich Canyon) zurückzuführen ist und ein Eintrag zusätzlich über die quecksilberhaltigen Sedimente der Laucha erfolgt. Diese Effekte sind im Modell nicht berücksichtigt, es wird hier ausschließlich die Quecksilberfracht über das Grundwasser abgebildet.

Der aus der Hochhalde Schkopau ausgetragene Massestrom an CKW (Abbildung 4) ist mit 148 kg/a erheblich. Auf Grund der unter 5.5.2 erläuterten Sachverhalte bzgl. des Verhaltens der

CKW im Grundwasser, die Stoffe unterliegen einem beachtlichen Zerfall bzw. Abbau auch unter anaeroben Verhältnissen, sind die Masseströme, welche die hydraulischen Randbedingungen erreichen, nur gering. Ein sehr großer Anteil der CKW wird abgebaut. Der die Laucha in der Nullvariante erreichende Massestrom beträgt nur noch ca. 0,71 kg/a. Die sich im Lauchawasser einstellenden CKW-Konzentrationen liegen weit unter dem nach LA S-A, 2005 bzw. OGewV, vorgegebenen Grenzwert von 10 µg/l (Abbildung 4 und Abbildung 6).

Obwohl die Nullvariante, wie oben bereits ausgeführt, nicht exakt der gegenwärtigen Situation entspricht, decken sich die Ergebnisse der Modellberechnungen für CKW mit den Ergebnissen des Monitorings für das ÖGP Buna (FUGRO 2010, 2011). Die Messungen zeigen eine signifikante Beeinflussung der Laucha durch CKW erst stromunterhalb der Hochhalde Schkopau bzw. im Bereich des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH (etwa ab Quelle Kaiserbrunnen).

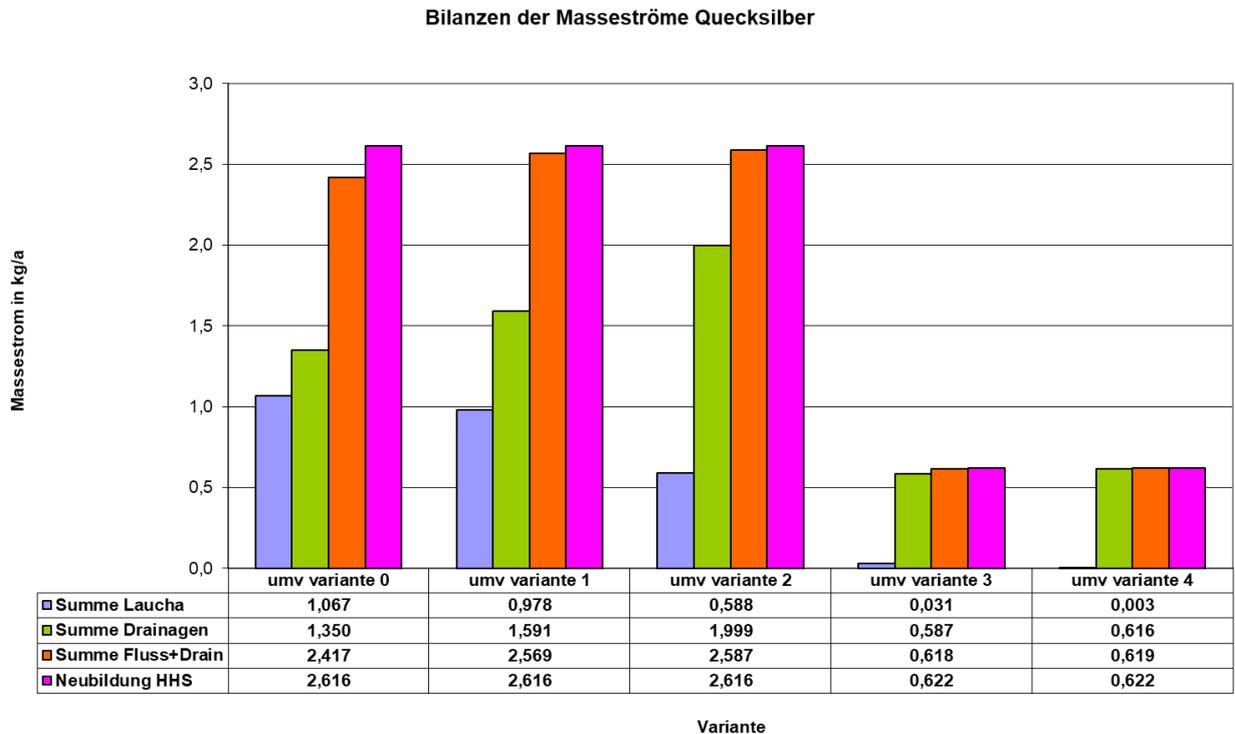


Abbildung 3: Zusammenfassung der Massestrombilanzen für Quecksilber

Variante 1

Die ermittelten Volumenstrombilanzen der Prognosevariante 1 weisen gegenüber der Nullvariante für die Laucha einen deutlich erhöhten Zustrom von Grundwasser auf (Abbildung 2). Dies ist auf die deutlich stärkere hydraulische Wirkung der deponiefern verlegten Laucha mit guter Anbindung an das Grundwasser zurückzuführen. Da die Laucha ihre Wirkung in diesem Fall deutlich weiter von den Randgräben der Hochhalde entfaltet als in der Nullvariante, steigen auch die Drainagewassermengen deutlich an. Insgesamt ist die hydraulische Beeinflussung des Grundwasserströmungsfeldes in der Variante 1 am stärksten.

Generell ist die stärkere hydraulische Beeinflussung des Grundwasserströmungsfeldes in allen Prognosevarianten (die Volumenströme für Summe Fluss und Drainage liegen in allen Fällen über denen der Nullvariante) auf die geänderte Lage der Laucha in den Umverlegungsvarianten zurückzuführen. Während im gegenwärtigen Zustand, und damit auch in der Nullvariante, die Randgräben als derzeitige Drainageelemente fast immer in unmittelbarer Nähe der Laucha liegen, ist dies in den Prognosevarianten, mehr oder weniger stark, nicht mehr der Fall. Damit erfasst die umverlegte Laucha bislang weitgehend unbeeinflusste Bereiche des Grundwasserströmungsfeldes und wirkt dort allein entwässernd. Im Istzustand bzw. in der Nullvariante wirken die Laucha und die Drainageelemente dagegen an der räumlich gleichen Position und konkurrieren somit um die Grundwasseraufnahmen. Im Ergebnis ist die insgesamt aufgenommene Grundwassermenge in den Prognosevarianten höher als im Istzustand.

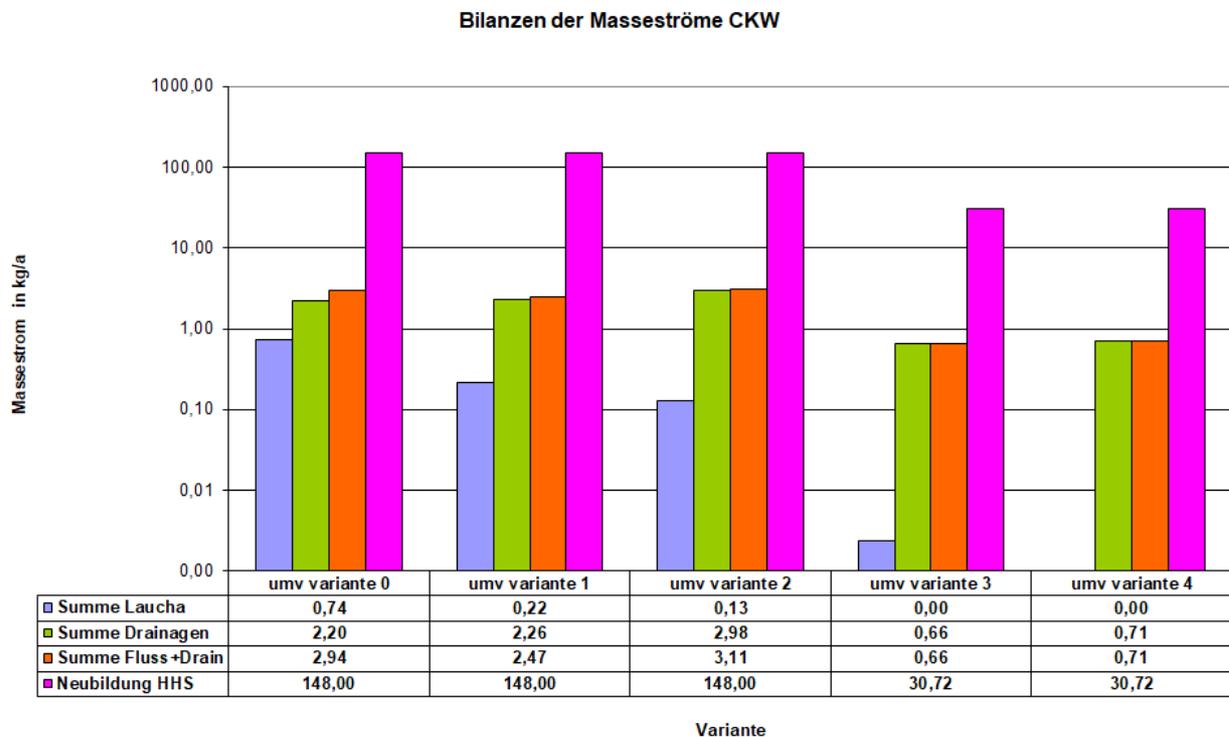


Abbildung 4: Zusammenfassung der Massestrombilanzen für CKW

Die in Abbildung 3 zusammengestellten Bilanzgrößen für die Prognosevariante 1 zeigen darüber hinaus, dass bei einer deponiefern Lauchaverlegung der Massestrom an Quecksilber, der über

das Grundwasser der Laucha zusitzt, hier geringfügig unter 1 kg/a liegt (0,98 kg/a) Die Hauptmenge an Quecksilber wird durch die deponiefern verlegte Laucha im westlichen Abschnitt und den südlichen Randgraben (Zustrom von der Altdeponie 5) aufgenommen. Unter Berücksichtigung der Angaben zu den hydrologischen Hauptzahlen ergeben sich die folgenden Konzentrationswerte an Quecksilber für das Lauchawasser (Vergl. auch Abbildung 5):

$$C_{NQ} = 6,20 \mu\text{g/l}$$

$$C_{M\text{NQ}} = 1,15 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MQ} = 0,28 \mu\text{g/l}.$$

Damit wird der angestrebte Zielwert von 0,07 $\mu\text{g/l}$ Quecksilber für NQ um fast das 90fache überschritten. Für ein Q von 0,445 m^3/s wird der Zielwert eingehalten. Gemäß den hydrologischen Hauptzahlen aus der Datenreihe 1998 bis 2016 (Angaben des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt) wird dieser Durchfluss bezogen auf mittlere Werte an allen Tagen im Jahr unterschritten, womit gleichzeitig eine Überschreitung des Zielwertes der Quecksilberkonzentration an allen Tagen im Jahr verbunden ist.

In der Prognosevariante 1 verringert sich der Massestrom an CKW, der die Laucha erreicht, noch weiter in Relation zur Nullvariante und beträgt 0,22 kg/a. Damit wird der Grenzwert der CKW-Konzentration im Lauchawasser noch deutlicher unterschritten (Abbildung 4 und Abbildung 6).

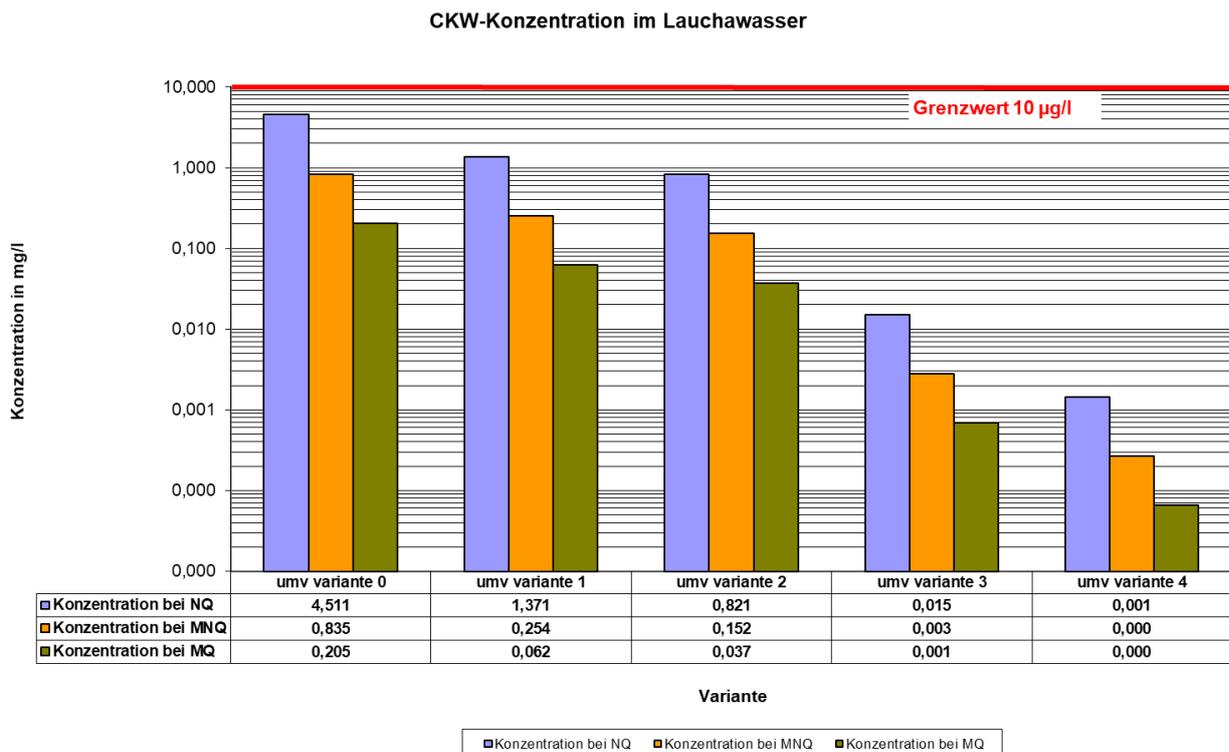


Abbildung 5: Berechnete Quecksilberkonzentrationen in der Laucha

Variante 2

Die Ergebnisse der Prognosevariante 2, die analog zur Prognosevariante 1 aufgebaut ist, aber im Unterschied zu dieser die deponienahe Umverlegungsvariante untersucht, zeigen einen deutlichen Rückgang der zutretenden Grundwassermenge zur Laucha im Vergleich zur Variante 1 (Abbildung 2) und damit eine deutlich geringere hydraulische Wirkung der Laucha in diesem Fall. Die den Randgräben zuströmende Grundwassermenge steigt gegenüber der Prognosevariante 1 leicht an. Die in der Variante 1 deutlich stärkere hydraulische Wirkung der (deponiefern verlegten) Laucha ist vor allem auf deren Höhenlage im westlichen Abschnitt (südlich der Altdeponie 5) zurückzuführen. Die geplante Laucha liegt hier deutlich tiefer als die Laucha im Istzustand, was zu einem starken Unterfahren des südlichen Randgrabens und damit zur Reduzierung der demselbigen zutretenden Grundwassermenge führt.

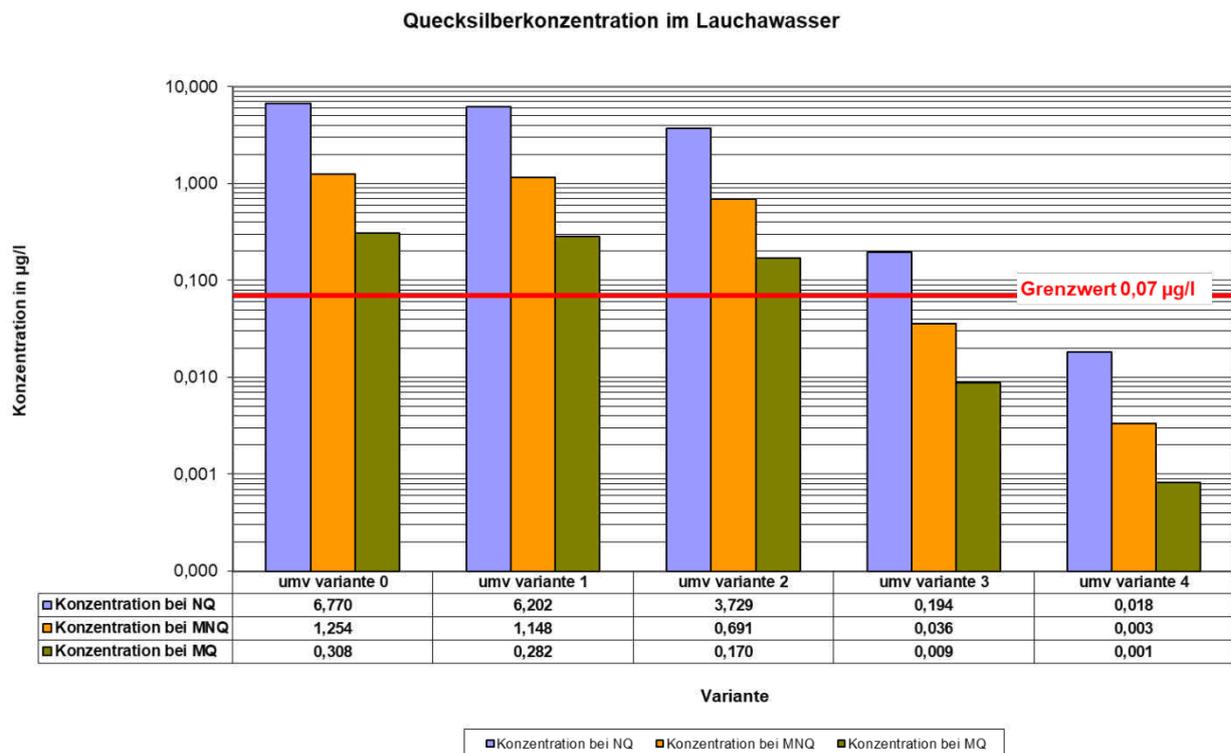


Abbildung 6: Berechnete CKW-Konzentrationen in der Laucha

Der in den verlegten Lauchaabschnitt eintretende Massenstrom an Quecksilber ist deutlich geringer als in der Prognosevariante 1 und liegt mit 0,59 kg/a ebenfalls deutlich unter dem Zielwert von 1 kg/a (Abbildung 3). Für die Quecksilberkonzentration im Lauchawasser ergeben sich anhand der Durchflüsse gemäß der hydrologischen Hauptzahlen folgende Werte (Vergl. auch Abbildung 5):

$$C_{NQ} = 3,73 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MNQ} = 0,69 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MQ} = 0,17 \mu\text{g/l}$$

Damit wird der angestrebte Zielwert von 0,07 µg/l Quecksilber für NQ um etwa das 53fache überschritten. Für ein Q von 0,270 m³/s wird die UQN eingehalten. Gemäß den hydrologischen Hauptzahlen aus der Datenreihe 1998 bis 2016 (Angaben des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt) wird dieser Durchfluss bezogen auf mittlere Werte an 356 Tagen im Jahr unterschritten, womit gleichzeitig eine Überschreitung des Zielwertes der Quecksilberkonzentration an 356 Tagen im Jahr verbunden ist.

Der in die Laucha eintretende Massestrom an CKW verringert sich in der Prognosevariante 2 nochmals etwas gegenüber der Prognosevariante 1 und liegt bei 0,13 kg/a. Die sich ergebenden CKW-Konzentrationen im Lauchawasser liegen weit unter dem vorgegebenen UQN von 10 µg/l (Abbildung 4 und Abbildung 6).

Variante 3

Die Prognosevarianten 3 und 4 berücksichtigen, wie die Varianten 1 und 2, die Umverlegung der Laucha, jedoch zusätzlich Maßnahmen zur Ertüchtigung bzw. Erneuerung des Haldenrandgraben- bzw. Drainagesystems und zur Abdeckung der Oberfläche der Hochhalde Schkopau mit einer Dichtungsschicht in Anlehnung an die GSO 3.1 (nach C & E 2005 A, B). In der Variante 3 reduziert sich die von der deponiefern verlegten Laucha aufgenommene Grundwassermenge gegenüber der Variante 1 deutlich (Abbildung 2). Die Grundwasseraufnahme der Drainagen steigt dagegen stark an. Dies ist auf die gute Anbindung an das Grundwasser (starke hydraulische Wirkung) des optimierten Randgraben- und Drainagesystems zurückzuführen.

Der Massenstrom an Quecksilber zum deponiefern verlegten Lauchaabschnitt beträgt 0,03 kg/a (Abbildung 3). Der Wert liegt damit deutlich unter dem nach C & E, 2005 A geforderten Grenzwert von 1 kg/a.

Für die Quecksilberkonzentrationen im Lauchawasser ergeben sich unter Berücksichtigung der hydrologischen Hauptzahlen aus Tabelle 4 die folgenden Werte (Vergl. auch Abbildung 5):

$$C_{NQ} = 0,19 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MNQ} = 0,04 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MQ} = 0,01 \mu\text{g/l}.$$

Damit wird der angestrebte Zielwert von 0,07 µg/l Quecksilber für NQ um etwa das dreifache überschritten. Für ein Q von 0,014 m³/s wird die UQN eingehalten. Gemäß den hydrologischen Hauptzahlen aus der Datenreihe 1998 bis 2016 (Angaben des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt) wird dieser Durchfluss bezogen auf mittlere Werte an vier Tagen im Jahr unterschritten, womit gleichzeitig eine Überschreitung des Zielwertes der Quecksilberkonzentration an vier Tagen im Jahr verbunden ist.

Der CKW-Massestrom zur Laucha ist für die Prognosevariante 3, also nach Umsetzung der geplanten Maßnahmen im Zusammenhang mit der Stilllegung der Hochhalde Schkopau nur noch sehr gering. Die Auswirkungen auf das Lauchawasser sind dementsprechend kaum mehr nachweisbar (Abbildung 4 und Abbildung 6).

Variante 4

Für die Prognosevariante 4 ergeben sich gegenüber der Variante 3 stark verringerte Grundwassermengen, die der Laucha zuströmen (Abbildung 2). Der Grundwasserzutritt zu den Randgräben/Drainagen erhöht sich dagegen. Dies ist auf die bereits diskutierte Unterströmung von Teilen des südlichen Randgrabens infolge der tiefen Lage der Laucha in der deponiefern Variante zurückzuführen. Der Massenstrom an Quecksilber zur deponienah verlegten Laucha beträgt infolge des verringerten Grundwasserzustroms nur noch 0,003 kg/a. Der Wert liegt damit sehr deutlich unter dem nach C & E, 2005 A geforderten Grenzwert von 1 kg/a (Abbildung 3). Die unter Beachtung der hydrologischen Hauptzahlen ermittelten Quecksilberkonzentrationen des Lauchawassers (Vergl. auch Abbildung 5) ergeben sich zu:

$$C_{NQ} = 0,018 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MNQ} = 0,003 \mu\text{g/l}$$

$$C_{MQ} = 0,001 \mu\text{g/l}.$$

Damit wird der angestrebte Zielwert von 0,07 $\mu\text{g/l}$ Quecksilber in keinem Fall überschritten. Ab einem Q von 0,0013 m^3/s (entspricht NQ) wird die UQN eingehalten. Gemäß den hydrologischen Hauptzahlen aus der Datenreihe 1998 bis 2016 (Angaben des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt) wird dieser Durchflusswert niemals unterschritten, damit liegt auch keine Überschreitung des Zielwertes der Quecksilberkonzentration vor.

Analog der Prognosevariante 3 ist der Massestrom an CKW, der die Laucha erreicht und auch die resultierende Beeinflussung des Lauchawassers vernachlässigbar gering (Abbildung 4 und Abbildung 6).

6 Bewertung der vom Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH ausgehenden Grundwasserkontaminationen

Die Hochhalde Schkopau und das unmittelbar benachbarte Werksgelände der ehemaligen Buna-Werke (heute Dow Olefinverbund GmbH, Werk Schkopau) weisen eine sehr ähnliche Kontaminationssituation hinsichtlich der relevanten Schadstoffe auf. Insbesondere treten CKW, BTEX und Quecksilber in Erscheinung. Da von den festgestellten Grundwasserkontaminationen und potentiellen weiteren Schadstoffeinträgen die gleichen Grundwasserleiter bzw. MGWL betroffen sind, stellte sich die Frage nach möglichen Beeinflussungen der Laucha (auch in den Varianten der Umverlegung) durch Kontaminationen, die ihren Ausgangspunkt nicht auf der Hochhalde Schkopau, sondern im Bereich des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH, Standort Schkopau haben. Die Bewertung der Situation stützt sich auf die Ergebnisse des Grundwassermonitorings der Jahre 2007 und 2009 (FUGRO 2008, 2010), des zugehörigen Grundwasserströmungsmodells und der aktuellen Modellberechnungen zur Nullvariante. Aus der Sichtung der genannten Gutachten und der Zusammenstellung der relevanten Ergebnisse wurden die Schlussfolgerungen für die Möglichkeiten der Beeinflussung der Laucha durch das Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH gezogen.

Zunächst ist die hydraulische Situation, d. h. die Grundwasserdynamik in den relevanten MGWL von Bedeutung. Wie aus B13 Anl2, Blatt 1 bis 4 und auch den bei FUGRO, 2008 und 2009 dokumentierten Hydroisohypsenplänen hervorgeht, ist ein Grundwasserstrom vom Werksgelände in Richtung Laucha nur in geringem Maße, vor allem im MGWL 1 östlich der Hochhalde Schkopau, zu verzeichnen. Im MGWL 1 verläuft eine Grundwasserscheide etwa entlang des nördlichen Randes der Hochhalde Schkopau. Die Wasserscheide trennt den nördlich zur Bober und zur Saale gerichteten Abstrom vom südlich zur Laucha gerichteten Anteil. D. h., der zur Laucha entwässernde Bereich wird fast bis zur Mündung des Wertsgrabens nahezu ausschließlich durch die Hochhalde Schkopau beeinflusst. Insofern spielen hier die Schadstoffbefunde, die in nördlich bzw. nordöstlich der Grundwasserscheide liegenden GWM gemessen wurden, keine Rolle für eine Beeinflussung der Laucha durch das Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH. Analog stellt sich die Situation im MGWL 2 dar. Auch hier ist der Grundwasserzustrom vom Werksgelände zur Laucha bis zur Mündung des Wertsgrabens nur marginal. In den tieferen MGWL 3 und 4 ist die Hydrodynamik, von lokalen Bereichen abgesehen, ohnehin nördlich bis nordöstlich orientiert, so dass die Laucha in diesen Fällen keinen Grundwasserzustrom vom Werksgelände im Bereich westlich der Mündung des Wertsgrabens erfährt. Signifikante Grundwasserzuströme zur Laucha, ausgehend vom Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH, sind somit nur östlich der Hochhalde Schkopau, etwa ab der Mündung des Wertsgrabens und somit weitestgehend außerhalb des Einflussbereiches der Hochhalde Schkopau möglich. D. h., es kommt nicht zu einem Zustrom kontaminierten Grundwassers zur Laucha, welcher einen summarischen Effekt von Einflüssen der Hochhalde Schkopau und des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH aufweist.

Dennoch ist zu beachten, dass auch ein östlich der Hochhalde Schkopau (Mündung des Wertsgrabens) erfolgreicher Zustrom kontaminierten Grundwassers die Umwelt-/Qualitätsziele für die Laucha gefährden kann, auch wenn die Grenzwerte im Ergebnis der geplanten Maßnahmen

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

nach der Passage der Hochhalde Schkopau eingehalten werden. Zur Beantwortung dieser Fragestellung war es erforderlich, die Ergebnisse der hydrochemischen Untersuchungen des Monitorings (FUGRO 2008, 2010) in diesem Gebiet zu bewerten. Untersuchungen auf Quecksilber werden nur an wenigen GWM im relevanten Abstrombereich durchgeführt (Tabelle 13). Zu beachten ist bei den Ausführungen, welche auf den Monitoringergebnissen (FUGRO 2008, 2010) basieren, dass in diesem Rahmen seit 2009 eine verfeinerte vertikale Unterteilung der Schichtenfolge der Festgesteinsgrundwasserleiter Verwendung findet. Der MGWL 3 wurde in die MGWL 3.1 und 3.2 unterteilt, welche für die Detfurth-Wechselagerung und den Detfurth-Sandstein stehen.

Tabelle 13: GWM mit Quecksilberanalytik im relevanten Abstrombereich

GWM	MGWL (nach FUGRO, 2008)
6101	1
4709	3.1 + 3.2
5328	3 + 4
3661	3
6103	1
4000	3 + 4

Im Jahr 2007 wies keine der beprobten GWM einen Befund für Quecksilber auf, 2010 wurde an der GWM 6101 eine Konzentration von 0,27µg/l gemessen. D. h. auch in diesem Fall ist Quecksilber nur in sehr geringer Konzentration nachgewiesen. Eine Beeinflussung der Laucha durch vom Werksgelände zuströmendes Grundwasser kann auf Basis der vorliegenden Analyseergebnisse für Quecksilber somit ausgeschlossen werden.

Im relevanten Grundwasserabstrombereich liegen dagegen erhebliche bis (in lokalen Schwerpunktbereichen) hohe CKW-Konzentrationen im Grundwasser vor. Kontaminierte Wässer entlasten direkt, wie z. B. am Kaiserbrunnen und anderen Quellaustritten (Feuchtstellen), oder aber indirekt über die quartären Sedimente der Lauchaniederung zur Laucha und können dort in das Gewässer übertreten. Um die Beeinflussung der Laucha durch CKW-kontaminierte Grundwässer zu quantifizieren, wird der bei ARGE IHU/MUEG, 2008 beschriebenen Vorgehensweise gefolgt und zunächst die abströmende und mit hoher Sicherheit in die Laucha entlastende Grundwassermenge V über das Grundwasserströmungsmodell bestimmt. Diese liegt in den relevanten MGWL 3.1 bei 16,4 m³/d bzw. MGWL 3.2 bei 7,0 m³/d. Die durchschnittlichen CKW-Konzentrationen C_{CKW} werden anhand der Monitoringdaten (FUGRO 2008, 2010) für die Quelle Kaiserbrunnen mit 2.000 µg/l (MGWL 3.1) und für die GWM 7392 mit 8.000 µg/l (MGWL 3.2) abgeschätzt. Die Fracht ermittelt sich über die Beziehung

$$M = V_{31} \cdot C_{CKW, 31} + V_{32} \cdot C_{CKW, 32}$$

$$M = 16,4 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 2.000 \text{ µg/l} + 7,0 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 8.000 \text{ µg/l}$$

$$M = 0,089 \text{ kg/d.}$$

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Dieser Massestrom muss in Relation zu den relevanten Abflusswerten der Laucha gesetzt werden, um die sich im Lauchawasser einstellenden Konzentrationen zu bestimmen. Im Sinne der Betrachtung ungünstiger Fälle sind hierfür die hydrologischen Hauptzahlen für Niedrigwasserabflüsse entsprechend Tabelle 4 heranzuziehen.

Die im Lauchawasser zu erwartenden CKW-Konzentrationen ergeben sich dann nach der Beziehung

$$C = M/Q_{\text{Laucha}}$$

mit folgenden Werten:

$$C_{\text{NQ}} = 206 \mu\text{g/l}$$

$$C_{\text{MNQ}} = 38 \mu\text{g/l}$$

$$C_{\text{MQ}} = 9 \mu\text{g/l}$$

Die ausgewiesenen Konzentrationswerte liegen bis auf den Abfluss für MQ durchweg über dem in der Oberflächengewässerverordnung (OGewV, Anlage 7, Tabelle 2: Umweltqualitätsnormen für bestimmte andere Schadstoffe) und in LA S-A, 2005 definierten Wert von 10 $\mu\text{g/l}$, dessen Unterschreitung einen guten chemischen Zustand des Gewässers markiert. Damit ist von einer Verletzung der angestrebten Umweltziele nach (C & E 2005 a) für die Laucha auszugehen, auch wenn diese bei der Passage der Hochhalde Schkopau, also etwa bis zur Mündung des Wertsgrabens, eingehalten werden. Im Rahmen des ÖGP Buna laufen allerdings bereits Maßnahmen zur Abwehr dieser Gefahren. Damit werden perspektivisch die Voraussetzungen für die Einhaltung der Qualitäts- bzw. Schutzziele in Bezug auf die Laucha auch unter Berücksichtigung der vom Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH ausgehenden Grundwasserkontaminationen geschaffen.

7 Auswertung und Schlussfolgerungen

7.1 Schadstoffausbreitung und -einträge in Oberflächengewässer

Die Untersuchungen der Ausbreitung der Schadstoffe Quecksilber und CKW im Grundwasser ergeben eine deutlich höhere Relevanz des Quecksilbers. Während die CKW-Konzentrationen bereits in der Nullvariante nur sehr geringe Masseströme zur Randbedingung Laucha hervorriefen und die UQN der CKW-Konzentration im Lauchawasser deutlich unterschritten wurden, sind die Masseströme an Quecksilber erheblich und führen zu deutlichen Grenzwertüberschreitungen. Damit steht Quecksilber als Schadstoff im Rahmen der folgenden Bewertungen im Vordergrund, die CKW-Belastungen sind insgesamt als unkritisch einzustufen.

Die unter Punkt 5.6.2 dargestellten Ergebnisse der Konzentrationsverteilungen im Grundwasser zeigen für alle betrachteten Varianten, dass eine im Sinne einer Gefährdung von Schutzgütern relevante Ausbreitung von Quecksilber vor allem im MGWL 1 stattfindet. Allerdings ist auch hier die Schadstofffahne räumlich eng begrenzt und endet an den wirkenden hydraulischen Randbedingungen (Laucha bzw. Haldenrandgräben/Drainagen). Für die deponieferne Verlegung (Varianten 1 und 3) kommt es durch die starke hydraulische Wirkung des verlegten Lauchaabschnittes, insbesondere südlich der Altdeponie 5, zu einer weiterreichenderen Ausbildung der Schadstofffahne im MGWL 1. Das Randgrabensystem wird sowohl nach der Neugestaltung und Optimierung entsprechend der aktuellen Planungen als auch im Istzustand teilweise unterströmt und die Schadstofffahne reicht bis zur deponiefern verlegten Laucha. Die Unterströmung ist für den Istzustand des Randgrabensystems allerdings sehr viel stärker als für den optimierten Zustand (Variante 3). Auch bei der deponienahen Umverlegung der Laucha reicht die Schadstofffahne z. T. bis zur Laucha und damit vor allem im Bereich südlich der Altdeponie 2 (im MGWL 2) über die Aufstandsfläche der Hochhalde Schkopau hinaus (Variante 2). Im Fall des optimierten Randgraben- bzw. Drainagesystems erfolgt eine relevante Um- bzw. Unterströmung der Drainage nur südöstlich der Altdeponie 2 im MGWL 3.

Zusammenfassend ist somit zu konstatieren, dass anhand der in den Varianten 1 bis 4 untersuchten Maßnahmen die Schadstoffausbreitung im Grundwasser, insbesondere bei einer deponiefern Verlegung der Laucha, nicht vollständig auf den Bereich der Deponieaufstandsfläche begrenzt werden kann. Bei einer Umsetzung der Maßnahmen der GSO 3.1 nach C & E, 2005 A bzw. der darauf aufbauenden aktuellen Planungen, insbesondere für das Drainagesystem südlich der Hochhalde Schkopau (Vergl. auch Punkt 5.3), ist die Vorgabe aber annähernd erreichbar. Wie im Folgenden dargelegt wird, ist es möglich, den von der Hochhalde Schkopau ausgetretenen Massestrom soweit zu begrenzen, dass es nicht zu Konzentrationen im Oberflächengewässer Laucha kommt, welche die angestrebten UQN für Quecksilber und auch CKW überschreiten.

Eine zentrale Fragestellung, die im Rahmen der Untersuchungen zu beantworten war, galt dem Maß der Schadstoffeinträge in die Laucha nach der geplanten Verlegung in einer deponiefern und einer deponienahen Variante. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurde ebenfalls eine Nullvariante betrachtet, die eine gegenüber dem gegenwärtigen Zustand unveränderte Situation der hydraulischen Randbedingungen (außer der Grundwasserneubildung im Deponiebereich

entsprechend Punkt 4.5 und 5.4) im Prognosezeitraum berücksichtigt.

Die Modellergebnisse bzw. die abgeleiteten Massenbilanzen und Konzentrationen des Lauchawassers für die Nullvariante zeigen, dass ohne Umsetzung von Maßnahmen die Zielwerte für die Qualität des Lauchwassers sowohl in Hinblick auf die eingetragene Quecksilberfracht als auch auf die resultierende Quecksilberkonzentration im Lauchwasser langfristig verfehlt werden. Es kommt zu einer permanenten Überschreitung der UQN der Quecksilberkonzentration von 0,07 µg/l. Die Masseströme für CKW liegen bereits in der Nullvariante auf einem sehr niedrigen Niveau. Die UQN für die Laucha von 10 µg/l wird deutlich unterschritten.

Die Prognosevarianten 1 und 2, welche die Verlegung der Laucha ohne die begleitenden Maßnahmen zur Neugestaltung des Haldenrandgraben- bzw. Drainagesystems untersuchen, zeigen im Ergebnis eine Verbesserung der Situation gegenüber dem Istzustand, die vorgegebenen Zielwerte werden aber nicht eingehalten. Dies trifft für beide Varianten auf die UQN der Quecksilberkonzentration im Lauchwasser (0,07 µg/l) zu. Die angestrebte UQN wird im Fall der Variante 1 an 364 und für die Variante 2 an 356, also nahezu allen Tagen im Jahr überschritten. Die CKW-Konzentrationen bzw. Masseströme führen nicht zu Grenzwertüberschreitungen im Lauchwasser.

Die Prognosevariante 2 (deponienahe Verlegung) stellt sich langfristig günstiger (geringere Masseströme zur Laucha, geringere Konzentrationen im Lauchwasser, weniger häufige Grenzwertüberschreitungen) dar, als die Prognosevariante 1 (deponieferne Verlegung). Ausführungen zur Begründung dieses Ergebnisses erfolgten bereits unter Punkt 5.6.3. Aus Sicht der Schadstoffbelastung des Lauchwassers und auch der Ausbreitung der Quecksilberkonzentration im Grundwasser (enger begrenzte Quecksilberfahne im MGWL 1) ist die deponienahe Umverlegung der Laucha somit als günstigere Variante zu empfehlen.

Nach Umsetzung der Maßnahmen zur Lauchaverlegung, begleitet von einer Neugestaltung des Haldenrandgraben- bzw. Drainagesystems entsprechend den aktuellen Planungen, werden sowohl in der Prognosevariante 3 (deponieferne Lauchaverlegung) als auch in der Prognosevariante 4 (deponienahe Lauchaverlegung) die Zielwerte für den Massenstrom an Quecksilber in die Laucha eingehalten. Die angestrebte UQN für die Quecksilberkonzentrationen von 0,07 µg/l im Lauchwasser wird im Fall der Variante 3 bei NQ an vier Tagen im Jahr, also sehr selten, überschritten. Für MNQ wird dieser immer eingehalten. Bei Umsetzung der Variante 4 wird der Zielwert auch für geringe Durchflüsse (bis NQ) der Laucha immer eingehalten. Die Aussage zur Einhaltung der Grenzwerte trifft gleichermaßen für die Masseströme und Konzentrationen an CKW zu.

Im Ergebnis des Variantenvergleichs weisen die Quecksilberkonzentrationen im Lauchwasser für die Variante 4 (deponienahe Umverlegung) günstigere Werte auf als für die Variante 3 (deponieferne Verlegung). Die Einhaltung des Grenzwertes der Quecksilberkonzentrationen im Lauchwasser ist nur bei Umsetzung der Variante 4 in vollem Umfang gewährleistet. Damit wird die Variante 4 als Vorzugsvariante zur Umsetzung empfohlen.

Wie bereits unter Punkt 5.1 erörtert wurden die Stofftransportberechnungen bis zum stationären Zustand des Transportvorgangs durchgeführt. Auf Grund der langsamen Prozesse der

Schadstoffausbreitung stellt sich dieser Zustand erst in mehreren hundert Jahren ein. Um den stationären Zustand sicher abzubilden, wurde eine Berechnungszeit von 4000 Jahren angesetzt. Im Sinne einer langfristig nachhaltigen Lösung zur Sanierung der Hochhalde Schkopau muss der stationäre Endzustand, obwohl er nur einen hypothetischen Zustand darstellt, eine Grundlage der Bewertung der Wirksamkeit von Varianten sein.

Die Kurz- bzw. mittelfristige Entwicklung der Situation lässt sich wie folgt bewerten. Die Schadstoffbelastung der Laucha wird sich gegenüber dem Istzustand und auch der Nullvariante sofort nach der Umverlegung deutlich verringern, da der neue Gewässerverlauf in großen Abschnitten in einem Bereich ohne gegenwärtige Schadstoffbelastung des Grundwassers und in größerer Entfernung von der Hochhalde Schkopau verläuft. Selbst in den Abschnitten, in denen die Entfernung der umverlegten Laucha von der Hochhalde gering ist (ca. 80 m bis 100 m unmittelbar südlich der Altdeponie 2), wird bei den hohen Fließzeiten bzw. der geringen Transportgeschwindigkeit von < 5 m/a die Schadstofffahne die umverlegte Laucha erst nach mehr als zehn Jahren erreichen. Zwischenzeitlich wird aber das hydraulische Sicherungssystem der Hochhalde Schkopau in Betrieb gehen, so dass im Weiteren der Abstrom von Schadstoffen aus dem Bereich der Hochhalde Schkopau in Richtung Laucha weitestgehend unterbunden wird.

Die geplante Vorgehensweise der Umverlegung der Laucha mit einer nachfolgenden Inbetriebnahme des neugestalteten hydraulischen Sicherungssystems gewährleistet somit in jedem Fall eine sofortige Verbesserung der Situation nach der Umverlegung und die Einhaltung der o. g. Zielwerte nach Inbetriebnahme des Sicherungssystems. Damit treten Überschreitungen der UQN für die Quecksilberkonzentration im Lauchawasser nur über einen begrenzten Zeitraum auf (maximal bis zu Inbetriebnahme des hydraulischen Sicherungssystems). Danach werden die Konzentrationswerte entsprechend der Variante 4 erreicht, es liegt dann keine Zielwertüberschreitung mehr vor. Die Konzentrationswerte entsprechend der Prognosevariante 4 können somit nach Abschluss aller geplanten Maßnahmen an der Hochhalde Schkopau etwa im Jahr 2022/2023 erreicht werden.

7.2 Wirkung des Randgraben- bzw. Drainagesystems

Die Prognosevarianten untersuchen zum einen den Einfluss der umverlegten Laucha in den beiden Varianten auf die Grundwasserströmung. Zum anderen ermöglichen sie auch einen Vergleich hinsichtlich der Wirkung des Randgraben- bzw. Drainagesystems im jetzigen Zustand und nach der Neugestaltung des Systems im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau. Abbildung 7 veranschaulicht die jährlich durch das Randgraben-/Drainagesystem aufgenommenen Grundwassermengen für alle untersuchten Varianten.

Zunächst wird ersichtlich, dass selbst ohne die Neugestaltung des Randgraben-/Drainagesystems die den Drainagen zuströmenden Grundwassermengen nach einer Umverlegung der Laucha größer sind als im gegenwärtigen Zustand. Wie bereits unter Punkt 5.6.3 dargelegt, ist dies auf die weitgehende Trennung der hydraulischen Wirkung von umverlegter Laucha und

Randgraben-/Drainagesystem zurückzuführen.

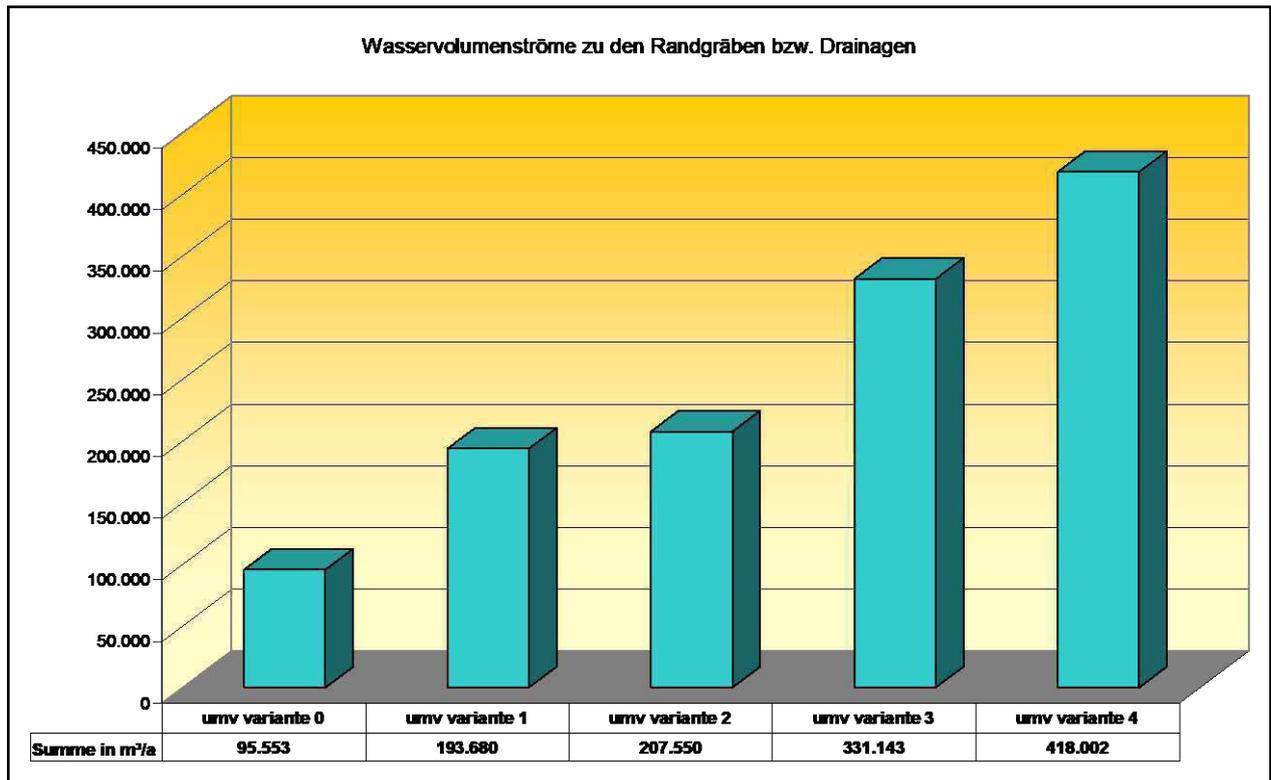


Abbildung 7: Jährliche Aufnahme von Grundwasser durch das Randgraben- bzw. Drainagesystem

In den Varianten 3 und 4 kommt es zu einem weiteren, deutlichen Anstieg der Drainagewassermenge gegenüber der Nullvariante und auch den Varianten 1 und 2. Dieser Anstieg ist auf die Wirkung des neugestalteten und optimierten Randgraben-/Drainagesystems zurückzuführen. Die volle Wirksamkeit in Verbindung mit z. T. tieferen Drainagehöhen führt zu einem stärkeren Zustrom von Grundwasser. Diese Erhöhung ist aber erforderlich, um die Zielsetzungen hinsichtlich der Sicherung/Sanierung der Hochhalde Schkopau (u. a. Reduzierung des Abstroms von durch Sickerwässer kontaminiertem Grundwasser) zu erfüllen.

7.3 Beeinflussung der Grundwasserstände

Als Grundlage der Bewertung einer möglichen Betroffenheit von Grundwassernutzungen durch die geplanten Maßnahmen zur Lauchaumverlegung wurde von der Unteren Wasserbehörde des Saalekreises mit dem Schreiben vom 14. 2. 2011 eine Aufstellung der

- Wassernutzungen (auch Hausbrunnen etc.)
- Wärmepumpenanlagen (abgefragt, jedoch keine enthalten)

für den Koordinatenbereich (Lagestatus LS 110)

links oben: RW: 44 94 050 HW: 56 94 680

rechts unten: RW: 44 98 380 HW: 56 92 880

zur Verfügung gestellt. In B13 Anl3, Blatt 8 sind die, entsprechend den Angaben der Unteren Wasserbehörde des Saalekreises (Schreiben vom 2. 8. 2018), aktualisierten Standorte dargestellt. Die dokumentierten Grundwassernutzungen liegen deutlich östlich bzw. westlich (13/08 HB) des Verlaufs der Vorzugsvariante der geplanten Umverlegung der Laucha und damit nicht im unmittelbaren Bereich der hydraulischen Beeinflussung bzw. Veränderung der Grundwasserstände. Die Bewertung der auftretenden Veränderungen des Grundwasserspiegels wird für die Varianten 3 und 4, also für die Gestaltung der Hochhalde Schkopau im Endzustand entsprechend der GSO 3.1 nach C & E, 2005 A kombiniert mit der deponienahen und deponiefernen Umverlegung der Laucha vorgenommen.

Zunächst ist zu konstatieren, dass die Gestaltung der Hochhalde Schkopau im Endzustand in Anlehnung an die GSO 3.1 erhebliche Auswirkungen auf die Grundwasserstände im Liegenden der Hochhalde Schkopau und in den unmittelbar angrenzenden Bereichen hat. Es kommt für beide Varianten (3 und 4) zu einer deutlichen Absenkung der Grundwasserstände Diese Absenkungen des Grundwasserstandes sind vorrangig auf die stark verringerte Grundwasserneubildung (entspricht dem Zustrom von Sickerwasser aus dem Haldenkörper zum MGWL 1) zurückzuführen. Diese Grundwasserabsenkungen überlagern sich mit den Auswirkungen der optimierten, zum Teil in neuer Position befindlichen Graben- bzw. Drainageelemente.

Generell ist festzustellen, dass die Beeinflussung der Grundwasserstände im MGWL 1 weiträumiger ist, in den MGWL 2 und 3 dagegen, allerdings lokal enger begrenzt, größere Differenzen auftreten. Das Grundwasser in den Festgesteinsgrundwasserleitern MGWL 2 und 3 ist aber gespannt, so dass es sich hier vorrangig um eine Druckreaktion handelt. D. h., dass sich zwar der Druckwasserspiegel verändert, die Flurabstände davon aber weitgehend unbeeinflusst bleiben.

Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt und damit auf die Vegetation sind zwar nicht gänzlich auszuschließen, aber auf Grund der geringen Änderungen des Grundwasserstandes und vor allem der geringen räumlichen Ausdehnung der beeinflussten Bereiche wenig wahrscheinlich bzw. können sie gegebenenfalls nur von geringem Ausmaß sein. Die Möglichkeit der Aufnahme von Grundwasser durch den Wertsgraben wird im Bereich südlich der Kreuzung der Bahnlinien Halle–Merseburg bei Umsetzung der deponiefernen Variante stark eingeschränkt. Allerdings weist der Wertsgraben in diesem Bereich bereits jetzt nur selten eine Wasserführung auf. Insofern

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

ist nicht von einer schwerwiegenden Beeinflussung auszugehen.

Haus- oder Feuerlöschbrunnen, deren Beeinflussung zu befürchten wäre, existieren im obersten grundwasserführenden Bereich nicht. Die Hausbrunnen schließen die gespannten Festgesteinsgrundwasserleiter (GWL 2/3) auf, in welchen faktisch nur die Druckwasserspiegel beeinflusst werden. D. h., dass bei den ausgewiesenen Grundwasserabsenkungen für die Grundwasserentnahme keine Einschränkungen zu erwarten sind, da die Filterlagen der Brunnen in den gespannten MGWL von den Absenkungen des Grundwasserstandes nicht erreicht werden. Diese Aussage gilt insbesondere, da die vorhandenen Nutzungen östlich des Ausstrichs des MGWL 3 liegen und damit den MGWL 4 nutzen, der auch auf Grund der Entfernung der Nutzungen von den Verlegungstrassen in diesem Bereich kaum beeinflusst wird.

In Bezug auf den Vergleich der Auswirkungen auf die Grundwasserdynamik erweist sich die Prognosevariante 4 mit der deponienahen Verlegung als günstiger. Der Einfluss der deponienahen Verlegung der Laucha ist deutlich geringer, da deren drainierende Wirkung relativ nahe an der des gegenwärtigen Zustandes stattfindet. Bei der deponiefernen Verlegung betreffen die Wirkungen dagegen Bereiche, die im gegenwärtigen Zustand vom Lauchaverlauf nur wenig beeinflusst werden. Dies führt zu einer sehr viel stärkeren Beeinflussung der hydrodynamischen Situation als im Falle der deponienahen Verlegung. Diese Aussage wird auch durch die Auswertung der Volumenbilanzen (Punkt 5.6.3) bestätigt. Die deponiefern verlegte Laucha nimmt deutlich größere Grundwassermengen auf als die deponienah verlegte. Im Ergebnis sind die Auswirkungen der deponiefern verlegten Laucha (Variante 3) auf die Grundwasserdynamik und damit auf die Vegetation und andere Nutzungen potenziell deutlich stärker.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- ALLISON. D. J AND T. L: ALLISON: Partition Coefficients for Metals in Surface Water Soil and Waste. U. S. Environmental Protection Agency. Washington D. C. 2005.
- ARGE GSB (2003): Sanierungskonzept Grundwasser CKW-Schadenszentrum und nördliches Vorfeld, IHU GmbH und MUEG GmbH, Nordhausen und Braunsbedra, 2003.
- ARGE GSB (2004): Ergänzende Untersuchungen - Sanierungskonzept Grundwasser CKW-Schadenszentrum und nördliches Vorfeld, IHU GmbH und MUEG GmbH, Nordhausen und Braunsbedra, 2004.
- ARGE IHU/MUEG (2008): Ökologisches Großprojekt Buna, Sanierungsuntersuchung und Sanierungskonzept für die Grundwassersanierung der TM 16.xx, IHU GmbH und MUEG GmbH, Nordhausen und Braunsbedra, 2008
- ARGE VEB (1999): „Vorfelderkundungen Nord, Süd, West und Oberflächengewässer, Teilmaßnahmen TM 12.01/96B, 12.03/96B, 12.05/96B und TM 12.06/96B für das Vorhaben „Weiterführende Untersuchungen,“ im Rahmen des ÖGP Buna/BSL Olefinverbund GmbH, Merseburg, 2. Überarbeitung, 20.04.1999.
- ARGE VEB II (2002): „Vorfelderkundungen Nord, Phase II, Los 1 und 2“ Teilmaßnahmen TM 12.02/96B, 12.03/96B für das Vorhaben „Weiterführende Untersuchungen“ im Rahmen des ÖGP Buna/BSL Olefinverbund GmbH, Merseburg, ARGE Vorfelderkundung Buna, 05.04.2002.
- ARGE GFE/IHU (2003): Ökologisches Großprojekt Buna – Abschlussbericht Grundwassermonitoring 2002 Buna – Schkopau; ARGE GFE Consult GmbH Halle/IHU GmbH Nordhausen, 2003.
- ARGE GFE/IHU (2004): Ökologisches Großprojekt Buna – Abschlussbericht Grundwassermonitoring 2003 Buna – Schkopau; ARGE GFE Consult GmbH Halle/IHU GmbH Nordhausen, 2004.
- ARONSON und HOWARD (1997): Anaerobic Biodegradation of Organic Chemicals in Groundwater: A summary of Field and Laboratory Studies, Washington D.C., 1997.
- BEIMS, U. (1985): Planung, Durchführung und Auswertung von Gütepumpversuchen. In : Geohydrodynamische Erkundung von Erdöl und Erdgas und Grundwasserlagerstätten. Wissenschaftlich-Technischer Informationsdienst des ZGI, Jahrgang 26, 1985.
- BERGER, K. (1998): „Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponien für deutsche Verhältnisse“, Umweltbundesamt, Fachgebiet III 3.6, Berlin, 1998.
- BOY, S. & F. HAEFNER (1998): Dokumentation zum Teilprogramm MT3DFL des Strömungs- und Stofftransport-Simulationsmodells MODFLOW, MT3D - Lösung des Transportproblems durch FRONT-LIMITATION. unveröff. Bericht, Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg. 1998.
- BuG (2014): Umplanung Verlegung Laucha i. Z der Stilllegung Hochhalde Schkopau, Altdeponie 2 von Stat. 2+477 bis 3+450. Neutrassierung der Laucha. Baugrundgutachten mit Umwelttechnischen Untersuchungen, BuG Baugrund Untersuchung Naumburg GmbH, Naumburg, 16. 12. 2014 (B8 Anl1.3).
- C & E (2004): Überarbeitung des Teilsanierungsrahmenkonzeptes der Deponie Hochhalde Schkopau: Sachstandsbericht und erste Auswertung des Untersuchungsprogramms, C&E GmbH, Chemnitz, 2004.

- C & E (2005 A): Überarbeitung des Teilsanierungsrahmenkonzeptes der Deponie Hochhalde Schkopau, Teil A - Gefährdungsbewertung und Ableitung von Sanierungsoptionen, C&E GmbH, Chemnitz, Januar 2005
- C & E (2005 B): Überarbeitung des Teilsanierungsrahmenkonzeptes der Deponie Hochhalde Schkopau, Teil B, Technische Maßnahmen, C&E GmbH, Chemnitz, Juni 2005.
- DACHSELT, R.; KNAB, G.; REMBE, M. & A. ROST. (1995): CADSHELL - Ein graphisches System zur Modellierung der Grundwasserströmung und des Stofftransportes im Grundwasser. Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen/Harz. 1995.
- FUGRO (2007): Ökologisches Großprojekt Buna, Weiterführung des Grundwassermonitorings Buna-Schkopau, Abschlussbericht 2006. Berlin. 2007.
- FUGRO (2008): Ökologisches Großprojekt Buna, Weiterführung des Grundwassermonitorings Buna-Schkopau, Abschlussbericht 2007. FUGRO CONSULT GmbH. Berlin. 2008.
- FUGRO (2010): Ökologisches Großprojekt BUNA – Maßnahme TM 01.03-B, Begleitung und Auswertung des Grundwassermonitorings am Standort Schkopau, Jahresbericht zum Grundwassermonitoring 2009. FUGRO CONSULT GmbH. Berlin. 2010.
- FUGRO (2011): Ökologisches Großprojekt BUNA – Maßnahme TM 01.03-B, Begleitung und Auswertung des Grundwassermonitorings am Standort Schkopau, Jahresbericht zum Grundwassermonitoring 2010. FUGRO CONSULT GmbH. Berlin. 2011.
- GGU (2010): Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde Schkopau, Ergänzende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung, GGU Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik mbH, Osterweddingen, 2010 (B8 Anl1.2.1).
- GLUGLA, G., ENDERLEIN, R., EYRICH, A. (1996): Das Programm RASTER- ein effektives Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Lockergestein.- Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 26 (11), S. 377- 382, Berlin 1996.
- GLUGLA, G. & FÜRSTIG, G. (1997): Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin 1997.
- GrwV (2017) Grundwasserverordnung (GrwV), Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 9. November 2010 (BGBl. Nr. 1 vom 04.05.2017 S. 1044)
- HARBAUGH, A. W. (1990): A Computer Program for Calculating Subregional Water Budgets Using Results from the U.S. Geological Survey Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model, Reston, Virginia, 1990.
- HPC (2004): Aufbau eines dreidimensionalen Sickerwasserströmungs- und Stofftransportmodells für die Deponie Hochhalde Schkopau auf der Grundlage bestehender Modelle. HPC Harres Pickel Consult AG. Gera. 10. 6. 2004
- HUTH (1969): Ergebnisbericht hydrogeologische Erkundung Bad Lauchstädt. VEB Hydrogeologie Nordhausen. Nordhausen. 1969.
- IHU (2006): Ökologisches Großprojekt Buna, Kontrolle und Überwachung der Kontaminationssituation TM 01.03/05, Aktualisierung des bestehenden 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodells, Jahresbericht 2005. IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen. 2006
- IHU (2007A): Ökologisches Großprojekt Buna, Kontrolle und Überwachung der Kontaminationssituation TM 01.03/05, 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodell 2004/2005

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

– Zeitlich hochaufgelöste instationäre Betrachtung 2002 bis 2005. IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen. 2007.

IHU (2007B): Ökologisches Großprojekt Buna, Kontrolle und Überwachung der Kontaminationssituation TM 01.03/05, 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodell 2006 – Jahresbericht 2006. IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen. 2007.

IHU (2008): Projekt Altdeponien, Hochhalde Schkopau, Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde, Modelltechnische Untersuchungen im Rahmen der Lauchaumverlegung (Fachgutachten). IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen. 2008.

IHU (2010): Ökologisches Großprojekt Buna, Kontrolle und Überwachung der Kontaminationssituation TM 01.03/05, 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodell 2009 – Jahresbericht 2009. IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen. 2010.

KINZELBACH, W. (1986): Numerische Methoden zur Modellierung des Transportes von Schadstoffen im Grundwasser. Oldenburg Verlag. München-Wien. 1986.

KLEIN (2010): Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde gem §36 KrW-/AbfG, Geotechnischer Bericht - Flusstrasse, Baugrundbüro Klein, 2010.

KNAB, G.; REMBE, M.; WENSKE, D.; BOY, S. & F. HÄFNER (1998): A new AutoCAD-based graphical interface to MODFLOW, MODPATH and MT3D including support for a new mass transport simulation algorithm (Front Limitation algorithm). - Proceedings of the MODFLOW'98 conference. 1998.

KrWG: Kreislaufwirtschaftsgesetz (Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen)

LA S-A (2005): Land Sachsen-Anhalt: Verordnung des Landes Sachsen-Anhalt über die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL-VO LSA), Fassung vom 24.08.2005

MCDONALD, M. G. & A. W. HARBAUGH (1988): MODFLOW - A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model. - U.S. Geological Survey. 1988.

MUEG/IHU (1994A): Ökologische Sicherung und Sanierung der Hochhalde der Buna GmbH, März 1994

MUEG/IHU (1994 B): BMFT Förderprojekt Modellhafte Sanierung von Altlasten am Beispiel eines vorwiegend quecksilberbelasteten Industriestandortes (Buna GmbH) Teilvorhaben 3, Boden- u. Grundwassererkundung, Oktober 1994

OGewV: Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässer-verordnung – OGewV) vom 20.Juni 2016 (BGBl. I S. 1373)

POLLOCK, D. W. (1991): MODPATH - Dokumentation of Computerprograms to compute and display pathlines using results from U.S. Geological Survey Modular Three-dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model. U.S. Geological Survey. Open-File-Report 89 - 381. Regton, Virginia. 1991.

WENSKE, D. (1997): NEUBIBER – Programm zur Berechnung der Grundwasserneubildung nach dem Verfahren RASTER, DORRHÖFER und JOSSUPEIT, GABRIEL/ ZIEGLER. IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH. Nordhausen, 1997.

- WENSKE D. & M. REMBE, (1997): MODFLOW - Seerandbedingung. Version 1.0.-
Programmierung und Einarbeitung der Seerandbedingung in das mathematische
Modell der Grundwasserströmung MODFLOW. -- Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro-
und Umweltgeologie mbH, Nordhausen/Harz, 1997.
- SCHROEDER, P. R., PEYTON, R. L., MCENROE, B. M. and SJOSTROM, J. W. (1992):
Hydrogeologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model, Volume III: User's
Guide for Version 2. Department of the Army, Vicksburg, Mississippi. April, 1992.
- SCHWEBKE, S. und J. VÖLKEL (1989): Detailerkundung Milzau, Ergebnisbericht mit Grund-
wasservorratsberechnung, VEB Hydrogeologie Nordhausen, Nordhausen, 1989.
- ZHENG, C. (1993): A Modular Three-Dimensional Transport Model for Simulation of Advection,
Dispersion and Chemical Reactions of Contaminants in Groundwater Systems. -- S.
S. Papadopoulos & Associates Inc., Maryland. 1993.