

Ergebnisbericht

**Umverlegung der Laucha im Rahmen der
Stilllegung der Hochhalde Schkopau
Erstellung Niederschlags-Abfluss-Modell**

Band B14

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
Umverlegung der Laucha im Rahmen der Stilllegung der Hochhalde SchkopauErstellung Niederschlags-Abfluss-Modell		
Land: Landkreis(e):	Sachsen-Anhalt Saalekreis	
Projekt/Vorhaben (Kurztitel): Projektnummer: Projektart: Berichtsdatum: IHU-Projektleiter:	Umverlegung der Laucha, Erstellung Niederschlags-Abfluss-Modell 20100097 Hydrologie, Niederschlags-Abfluss-Modellierung 30. 08. 2019 Dr. A. Schroeter	
Auftraggeber: Ansprechpartner:	MDSE Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH Herr Basmer (Abteilungsleiter Altlasten MDSE), Frau Meinck (Projektleiterin Altlasten MDSE)	
IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> <div style="width: 30%;">  Dr. A. Schroeter Geschäftsführer Nordhausen, 30. 08. 2019 </div> <div style="width: 30%; text-align: center;">  </div> <div style="width: 30%;">  Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH Niederlassung Halle-Merseburg Passendorfer Weg 1 · 06128 Halle (Saale) Tel. +49 345 52088-0 · Fax +49 345 5208821 halle@ihu-gmbh.com · www.ihu-gmbh.com </div> </div>		
Verteiler: 6 x MDSE, 1 x IHU		

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Büro Nordhausen . 99 734 Nordhausen . Am Sportplatz 1 . Telefon: (03631) 89060 . Telefax: (03631) 890629
Niederlassung Halle-Merseburg, 06128 Halle/Saale, Passendorfer Weg 1, Telefon: (03 45) 5 20 88-0, Telefax: (03 45) 5 20 88 21
Büro Dresden, 01069 Dresden, Reichenbachstraße 55, Telefon: (03 51) 44 88 50, Telefax: (03 51) 44 88 515

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	10
2	VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG	14
3	BESCHREIBUNG DER HYDROLOGISCHEN VERHÄLTNISSE	15
3.1	LAGE, MORPHOLOGIE, NATURRÄUMLICHE EINORDNUNG UND GEWÄSSERVERLAUF.....	15
3.2	KLIMATISCHE VERHÄLTNISSE	16
3.3	BODENARTEN UND FLÄCHENNUTZUNGEN.....	17
4	NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-MODELLIERUNG	19
4.1	MODELLANSÄTZE	19
4.1.1	<i>Abflussbildung</i>	<i>19</i>
4.1.2	<i>Abflusskonzentration</i>	<i>21</i>
4.1.3	<i>Abflussverlauf im Fließgewässer</i>	<i>22</i>
4.2	MODELLAUFBAU	25
4.2.1	<i>Topologie und Modellstruktur zur Beschreibung der Abflusskonzentration</i>	<i>25</i>
4.2.2	<i>Parameter zur Beschreibung des Abflussverlaufes im Gewässer</i>	<i>26</i>
4.2.3	<i>Flächennutzungen und Bodenparameter zur Beschreibung der Abflussbildung ..</i>	<i>27</i>
4.2.4	<i>Berücksichtigung von urbanen / wasserwirtschaftlichen Einflüssen</i>	<i>28</i>
4.2.5	<i>Niederschlagsdaten</i>	<i>29</i>
4.2.5.1	Allgemeine Angaben	29
4.2.5.2	Beobachtete Niederschlagsereignisse	31
4.2.5.3	Betrachtete KOSTRA-Regen.....	32
5	ERGEBNISSE DER NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-BERECHNUNGEN FÜR DEN ISTZUSTAND.....	34
5.1	ERMITTELTE ABFLUSSGANGLINIEN, BEOBACHTETE EREIGNISSE.....	34
5.2	ERMITTELTE ABFLUSSGANGLINIEN AUF GRUNDLAGE DER KOSTRA-REGEN	36
5.3	MODELLPLAUSIBILISIERUNG UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE	39
6	NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-MODELLIERUNG FÜR DEN PLANZUSTAND.....	42
6.1	ERLÄUTERUNGEN ZUM PLANUNGSKONZEPT FÜR DIE HOCHHALDE SCHKOPAU.....	42
6.2	MODIFIKATION DES NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-MODELLS FÜR DEN PLANZUSTAND	43
6.3	ERGEBNISSE DES MODIFIZIERTEN NIEDERSCHLAGS-ABFLUSS-MODELLS FÜR DEN PLANZUSTAND.....	46
6.3.1	<i>Nachrechnung der Abflüsse von der Hochhalde Schkopau</i>	<i>46</i>
6.3.2	<i>Nachrechnung der Abflüsse für das gekoppelte System Gesamteinzugsgebiet der Laucha und Hochhalde Schkopau im Planzustand.....</i>	<i>49</i>

7 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS 54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der Abflussganglinien am Pegel Schkopau, Ereignis vom 29. 12. 2002 bis 6. 1. 2003.....	34
Abbildung 2: Vergleich der Abflussganglinien am Pegel Schkopau, Ereignis vom 19. 1. 2008 bis 22. 1. 2008	35
Abbildung 3: Berechnete Abflussganglinien für HQ5, HQ10 und HQ100 am Auslasspunkt AP 8 (Istzustand)	37
Abbildung 4: Abflussganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)	48
Abbildung 5: Berechnete Abflussganglinie für HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse und Vergleich mit Angaben des GLD/LHW	11
Tabelle 2: Infiltrationsparameter der GREEN/AMPT-Gleichung nach MANIAK, 1997	20
Tabelle 3: Absolutwerte der Differenz (rote Zahlen stehen für negative Werte) KOSTRA2010R minus KOSTRA2000.....	30
Tabelle 4: Berechnete HQ(T)-Werte auf Basis der KOSTRA-Regen (Istzustand)	38
Tabelle 5: Abfluss-Speichervolumen-Ganglinien der geplanten HRB westlich Schafstädt	46

Anlagenverzeichnis

B14 Anl1:	Übersichtskarten
B14 Anl1.1:	Übersichtskarte mit Abgrenzung der Einzugsgebiete und Fließgewässerstruktur
B14 Anl1.2:	Übersichtskarte zur Lage der geplanten HRB bei Schafstädt
B14 Anl2:	Ganglinien der betrachteten Niederschlagsereignisse (Aufzeichnungen Station Mücheln/Geiseltal und KOSTRA-Regen, Rasterfeld Spalte 50, Zeile 50)
B14 Anl2.1:	Zeitraum 29. 12. 2002 bis 6. 1. 2003

- B14 Anl2.2: Zeitraum vom 21. 7. 2007 bis 23. 7. 2007
- B14 Anl2.3: Zeitraum vom 19. 1. 2008 bis 22. 1. 2008
- B14 Anl2.4: Tabelle der KOSTRA-Regen für das Rasterfeld Spalte 50, Zeile 50
- B14 Anl2.5: Niederschlagsverteilung KOSTRA-Regen T = 100 a
- B14 Anl2.6: Niederschlagsverteilung KOSTRA-Regen T = 10 a
- B14 Anl2.7: Niederschlagsverteilung KOSTRA-Regen T = 10 a, Aufschlag von 10 % auf Niederschlagssumme nach KOSTRA
- B14 Anl2.8: Niederschlagsverteilung KOSTRA-Regen T = 5 a
- B14 Anl2.9: Niederschlagsverteilung KOSTRA-Regen T = 5 a, Aufschlag von 10 % auf Niederschlagssumme nach KOSTRA
- B14 Anl2.10: Niederschlagsverteilung KOSTRA-Regen T = 2 a
- B14 Anl3: Beobachtete Abflussganglinien am Pegel Schkopau
- B14 Anl3.1: Ereignis vom 29. 12. 2002 bis 6. 1. 2003
- B14 Anl3.2: Ereignis vom 21. 7. 2007 bis 23. 7. 2007
- B14 Anl3.3: Ereignis vom 19. 1. 2008 bis 22. 1. 2008
- B14 Anl4: Karte der Flächennutzung
- B14 Anl5: Bodenkarte
- B14 Anl6: Übersichtskarte zum Gewässer-Routing
- B14 Anl7: Angaben und Parameter der Einzugsgebiete
- B14 Anl7.1: Allgemeine Daten der Einzugsgebiete
- B14 Anl7.2: Parameter der relevanten Bodenarten nach VBK 50
- B14 Anl7.3: Parameter für die Verlustermittlung nach dem GREEN & AMPT-Verfahren
- B14 Anl7.4: Parameter der Einzugsgebiete für die Ermittlung der Verzögerungszeit nach DYCK
- B14 Anl7.5: Parameter für das Gewässer-Routing nach dem MUSKINGUM-CUNGE-Verfahren
- B14 Anl8: Vergleich der beobachteten (Pegel Schkopau) und berechneten (Auslasspunkt AP 8) Abflussganglinien für die untersuchten Niederschlagsereignisse zur Modellplausibilisierung

- B14 Anl8.1: Ereignis vom 29.12.2002 bis 06.01.2003
- B14 Anl8.2: Ereignis vom 19.01.2008 bis 22.01.2008
- B14 Anl9: Berechnete Abflussganglinien für die untersuchten Niederschlagsereignisse nach KOSTRA (Istzustand)
- B14 Anl9.1: Berechnete Abflussganglinien am Auslasspunkt AP 6 (Istzustand)
- B14 Anl9.2: Berechnete Abflussganglinien am Auslasspunkt AP 7 (Istzustand)
- B14 Anl9.3: Berechnete Abflussganglinien am Auslasspunkt AP 8 (Istzustand)
- B14 Anl10: Überarbeitung der Morphologie der Hochhalde Schkopau im Planzustand
- B14 Anl10.1: 3D-Ansicht der Hochhalde Schkopau im Istzustand (fünffach überhöht)
- B14 Anl10.2: 3D-Ansicht der Hochhalde Schkopau im Planzustand (fünffach überhöht)
- B14 Anl10.3: 3D-Ansicht der Fließwege (Hochhalde Schkopau im Istzustand, fünffach überhöht)
- B14 Anl10.4: 3D-Ansicht der Fließwege (Hochhalde Schkopau im Planzustand, fünffach überhöht)
- B14 Anl10.5: Lage der Einzugsgebiete und Entwässerungsstruktur der Hochhalde Schkopau im Planzustand
- B14 Anl11: Angaben zu den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau im Planzustand
- B14 Anl11.1: Allgemeine Daten
- B14 Anl11.2: Parameter für die Verlustermittlung nach dem SCS-Verfahren
- B14 Anl11.3: Parameter der Einzugsgebiete für die Ermittlung der Verzögerungszeit nach TAYLOR & SCHWARTZ
- B14 Anl12: Berechnete Abfluss- und Volumenganglinien der Hochhalde Schkopau im Planzustand
- B14 Anl12.1: Abflussganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl12.2: Volumenganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Büro Nordhausen . 99 734 Nordhausen . Am Sportplatz 1 . Telefon: (03631) 89060 . Telefax: (03631) 890629

Niederlassung Halle-Merseburg, 06128 Halle/Saale, Passendorfer Weg 1, Telefon: (03 45) 5 20 88-0, Telefax: (03 45) 5 20 88 21

Büro Dresden, 01069 Dresden. Reichenbachstraße 55, Telefon: (03 51) 44 88 50, Telefax: (03 51) 44 88 515

- B14 Anl12.3: Abflussganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $9 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl12.4: Volumenganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $9 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl12.5: Abflussganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl12.6: Volumenganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl13: Berechnete Abflussganglinien Hochhalde Schkopau im Planzustand und Gesamteinzugsgebiet bis zum Auslasspunkt AP 6
- B14 Anl13.1: Abflussganglinie für HQ 5, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA mit 10 % Aufschlag)
- B14 Anl13.2: Abflussganglinie für HQ 10, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA mit 10 % Aufschlag)
- B14 Anl13.3: Abflussganglinie für HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl13.4: Abflussganglinie für HQ 5, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $9 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA mit 10 % Aufschlag)
- B14 Anl13.5: Abflussganglinie für HQ 10, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $9 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA mit 10 % Aufschlag)
- B14 Anl13.6: Abflussganglinie für HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $9 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)
- B14 Anl13.7: Abflussganglinie für HQ 5, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA mit 10 % Aufschlag)
- B14 Anl13.8: Abflussganglinie für HQ 10, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA mit 10 % Aufschlag)
- B14 Anl13.9: Abflussganglinie für HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $2 \cdot 10^{-6}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)

- B14 Anl14: Berechnete Abflussganglinien Hochhalde Schkopau im Planzustand und Gesamteinzugsgebiet unter Berücksichtigung der HRB an der Laucha und am Springbach
- B14 Anl14.1: Abflussganglinie für HQ 100 am Auslasspunkt AP 7, Oberflächenabdeckung Hochhalde Schkopau k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
- B14 Anl14.2: Abflussganglinie für HQ 100 unter Berücksichtigung der HRB am Auslasspunkt AP 3 (Planzustand)
- B14 Anl14.3: Abflussganglinie für HQ 100, Planzustand, Hochhalde Schkopau (gesamt) und Gesamtgebiet mit HRB, Oberflächenabdeckung Hochhalde Schkopau k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
- B14 Anl15: Wesentliche Beratungsprotokolle und E-mails
- B14 Anl15.1: Protokoll zur Besprechung beim GLD Sachsen-Anhalt am 18. 10. 2010
- B14 Anl15.2: E-mail des GLD vom 21. 10. 2010 (Bewertung der in Folge der Überarbeitung des N-A-Modells erzielten Ergebnisse)
- B14 Anl15.3: E-mail des GLD vom 14. 3. 2011 (Einschätzung der Wirkung der geplanten HRB im Oberlauf der Laucha)

Abkürzungsverzeichnis

A	Fläche
AE	Einzugsgebietsfläche
BK	Bodenkarte (Land Sachsen-Anhalt)
BÜK	Bodenübersichtskarte (Land Sachsen-Anhalt)
CIR	Color-Infrarotbildverfahren (Verfahren zur Bestimmung der Vegetationsformen aus Überfliegedaten)
CN	Curve Number (Parameter der Verlustermittlung nach dem SCS-Verfahren)
D	Regendauer, Dauer eines Niederschlagsereignisses
DGM	Digitales Geländemodell
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
GIS	Geografisches Informationssystem
GLD	Gewässerkundlicher Landesdienst Sachsen-Anhalt
HQ	Hochwasserabfluss eines Gewässers
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertung
LHW	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt
MQ	Mittelwasserabfluss eines Gewässers
SCS	Soil Conservation Service der USA
T	Wiederkehrwahrscheinlichkeit eines hydrologischen Ereignisses
TIN	Triangular irregular Network (unregelmäßiges Dreiecksnetz)
TSRK	Teilsanierungsrahmenkonzept
ÜP	Übergabepunkt
VBK	vorläufige Bodenkarte (Land Sachsen-Anhalt)
WMS	Watershed Modeling System (Programmsystem zur Niederschlags-Abfluss-Modellierung)
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

1 Zusammenfassung

Im Teilsanierungsrahmenkonzept (TSRK) für die Hochhalde Schkopau ist u. a. die Umverlegung der Laucha in Varianten vorgesehen. Ziel des Vorhabens ist es, neben der Reduzierung von Schadstoffeinträgen, zur Erreichung der Umweltziele gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) z. B. durch die Gewährleistung eines ordnungsgemäßen Abflusses bei Hochwasserereignissen und zu einer ökologischen Vernetzung der Laucha im Vorhabenbereich beizutragen. Durch die geplante Abdichtung der Hochhalde Schkopau und die Ableitung des Oberflächenwassers in die umverlegte Laucha ist perspektivisch eine Erhöhung der Abflussmengen der Laucha zu erwarten. Um die tatsächliche Überlagerung der Scheitelabflüsse von der Hochhalde Schkopau im Planzustand mit den Scheitelabflüssen der Laucha festzustellen, wurden ein Niederschlags-Abfluss-Modell aufgebaut und auf dieser Grundlage Variantenuntersuchungen durchgeführt.

Der Aufbau des Niederschlags-Abfluss-Modells umfasst die folgenden Prozesse:

- Abflussverluste
- Abflusskonzentration
- Wellenablauf im Gewässer

Die Ermittlung der Abflussverluste erfolgte nach dem Verfahren von GREEN & AMPT. Die erforderlichen Parameter wurden aus der CIR-Verteilung und der bodenkundlichen Übersichtskartierung (BÜK 200) abgeleitet. Alle für die Beschreibung der Abflusskonzentrationen erforderlichen Daten wie auch die Abgrenzung und Unterteilung der Teileinzugsgebiete konnten anhand des aktuellen DGM des Untersuchungsgebietes abgeleitet werden. Für die Beschreibung des Wellenabflusses im Gewässer standen Querprofile der Gewässervermessung und Angaben aus Ortsbegehungen zur Verfügung.

Als Niederschlagsdaten für die Modellplausibilisierung wurden Aufzeichnungen der Station Mücheln (Geiseltal) verwendet. Die Untersuchung der HQ(T) basierte auf den Regen nach KOSTRA für das Rasterfeld 50, 50 (etwa Bad Lauchstädt).

Im Ergebnis der Modellplausibilisierung konnten die Abflussganglinien am Pegel Schkopau für zwei Niederschlagsereignisse mit guter Übereinstimmung nachgerechnet werden. Die Ergebnisse der nachfolgenden HQ(T)-Berechnungen wurden intensiv mit dem GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt abgestimmt und eine nochmalige Plausibilisierung des Modells anhand der Angaben des GLD vorgenommen. Im Rahmen dieser Abstimmungen erfolgten Modifikationen des Modells gegenüber dem ursprünglichen Zustand. Im Ergebnis der HQ(T)-Berechnungen konnte letztlich eine gute Übereinstimmung der auf Basis der mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell berechneten Scheitelabflüsse mit den Angaben des GLD erreicht werden. Tabelle 1 gibt einen zusammenfassenden Überblick zu den Ergebnissen.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse und Vergleich mit Angaben des GLD/LHW

Auslasspunkt gemäß B14 Anl1.1	Ergebnisse N-A-Modell			Angaben GLD/LHW		
	HQ5 in m³/s	HQ10 in m³/s	HQ100 in m³/s	HQ5 in m³/s	HQ10 in m³/s	HQ100 in m³/s
AP 1	1,3	1,8	3,4	1,3	1,6	3,4
AP 2	1,5	2,1	4,0			
AP 3	2,1	2,9	5,4	1,8	2,3	4,7
AP 6	2,8	3,9	7,3	2,0	3,26	8,1
AP 7	2,6	3,7	11,3	3,9	5	11,3
AP 8	2,6	3,6	11,3	4,0	5,1	11,6

Die Variantenuntersuchungen zum Abflussverhalten der Hochhalde Schkopau erfolgten zunächst nur für die Einzugsgebiete der Halde, um einen Abgleich mit den Ergebnissen der Untersuchungen nach ICL, 2010 zu ermöglichen. Diese Untersuchungen basierten auf der Prämisse, dass ein Rückhalt der von der Hochhalde Schkopau abfließenden Wässer nicht realisiert wird. Es waren entsprechende Modifikationen des Niederschlags-Abfluss-Modells erforderlich. Diese betrafen vorrangig die Struktur (Morphologie Entwässerungssystem, Abdeckung) der Hochhalde Schkopau im Planungszustand. Des weiteren wurden für diese Berechnungen in Anlehnung an ICL, 2010 Regen kurzer Dauer (1 h, 90 min) verwendet. Die Abdeckung der Hochhalde wurde für drei Materialien mit unterschiedlichen k_f -Werten betrachtet (Wasserhaushaltsschicht Bodenmaterial $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ m/s, $k_f = 9 \cdot 10^{-6}$ m/s und $k_f = 2 \cdot 10^{-6}$ m/s).

Insbesondere für das Ereignis HQ100 kommt es bei der Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert $= 1 \cdot 10^{-7}$ m/s zu einem sehr hohen Scheitelabfluss von der Hochhalde Schkopau (21,4 m³/s). Dieser weist aber auf Grund der kurzen Dauer der Abflusswelle nur ein geringes Abflussvolumen auf. Damit wird die Abflusswelle durch die starke Retention auf Flächen südlich der Hochhalde Schkopau und des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH einer starken Abflachung (Verringerung des Abflussscheitels) unterliegen. Diese Berechnungsvariante (Regen $T = 100$, $D = 1$ h, Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert $= 1 \cdot 10^{-7}$ m/s stellt in Bezug auf die kurzfristige hydraulische Belastung der Laucha stromunterhalb der Einleitungen durch die Hochhalde Schkopau im Planzustand den ungünstigsten Fall dar. Für die weiteren untersuchten Materialien zur Abdeckung der Hochhalde sind die Ergebnisse deutlich günstiger, d. h. die zu erwartenden Scheitelabflüsse und Abflussvolumen sind weit geringer.

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Büro Nordhausen . 99 734 Nordhausen . Am Sportplatz 1 . Telefon: (03631) 89060 . Telefax: (03631) 890629

Niederlassung Halle-Merseburg, 06128 Halle/Saale, Passendorfer Weg 1, Telefon: (03 45) 5 20 88-0, Telefax: (03 45) 5 20 88 21

Büro Dresden, 01069 Dresden. Reichenbachstraße 55, Telefon: (03 51) 44 88 50, Telefax: (03 51) 44 88 515

In den Jahren 2011/2012 wurden die Planungen zur Gestaltung der Hochhalde Schkopau im Zuge der Stilllegung (Abdichtung der Oberfläche, Geländeregulierung, Ableitung des Oberflächenwassers) fortgeschrieben. Anhand der Vorgabe eines maximalen Einleitwertes in die Laucha von 0,505 m³/s wurden in diesem Rahmen Varianten mit Maßnahmen zum Rückhalt des von der Hochhalde über Fassungselemente abfließenden Niederschlagswassers betrachtet.

Mit den weiteren Varianten wurde das Abflussgeschehen für die Hochhalde Schkopau gekoppelt mit dem natürlichen Einzugsgebiet der Laucha untersucht. Den Betrachtungen wurde in diesem Fall der KOSTRA-Regen mit einer Dauer von 6 h zu Grunde gelegt, da dieser für den Hochwasserabfluss des natürlichen Einzugsgebietes maßgeblich ist. Betrachtet wurden wiederum die drei o. g. Varianten der Oberflächenabdeckung der Hochhalde Schkopau für die hydrologischen Ereignisse HQ5, HQ10 und HQ100.

Im Ergebnis der HQ100-Berechnungen zeigt sich, dass sich die von der Hochhalde Schkopau ausgehenden Abflusswellen nicht mit denen des natürlichen Einzugsgebietes überlagern, solange keine Maßnahmen zum Rückhalt des von der Hochhalde abfließenden Niederschlagswassers vorgesehen werden. Der Einfluss des vorlaufenden Abflusses aus den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau auf die Retentionswirkung ist aufgrund der geringen Abflussfülle nur klein. Der Scheitelabfluss des natürlichen Einzugsgebietes ist größer als der von der Hochhalde Schkopau generierte. Dies trifft analog für das Abflussvolumen zu. Das HQ100 des natürlichen Einzugsgebietes stellt auch nach Umgestaltung der Hochhalde Schkopau bei Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert = $1 \cdot 10^{-7}$ m/s den ungünstigsten Fall in Hinblick auf die Beanspruchung des Retentionsraumes und daraus resultierender Ausuferungen dar. Eine Verschlechterung der Hochwassersituation durch die zusätzliche Einleitung des von der Hochhalde Schkopau abfließenden Oberflächenwassers ist somit nicht zu befürchten.

Bei der Betrachtung der weiteren HQ(T) liegen die Scheitelabflüsse von der Hochhalde Schkopau zwar über denen aus dem natürlichen Einzugsgebiet der Laucha, die Abflussvolumen sind aber auch in diesen Fällen sehr viel geringer. Eine Verschlechterung der Hochwassersituation ist auch unter diesen Bedingungen nicht zu erwarten.

In einer weiteren Modellvariante wurde der Einfluss der geplanten HRB westlich der Ortslage Schafstädt (Lage gemäß B14 Anl.2) auf die Abflusswelle aus dem Gesamteinzugsgebiet gekoppelt mit den Abflüssen von der Hochhalde Schkopau untersucht. Im Ergebnis der Modellierung ist die Auswirkung der HRB auf den Hochwasserabfluss im Unterlauf der Laucha unter Beachtung der Einleitungen von der Hochhalde Schkopau im Planzustand als vernachlässigbar einzuschätzen.

Unter Berücksichtigung von Maßnahmen zum Rückhalt des von der Hochhalde abfließenden Niederschlagswassers verändert sich das Abflussverhalten dahingehend, dass sich der auf

Basis des z. Z. vorgegebenen Einleitwertes in die Laucha erforderliche Drosselabfluss von $0,505 \text{ m}^3/\text{s}$ mit dem Scheitelabfluss aus dem natürlichen Einzugsgebietes aller Voraussicht nach überlagern wird. D. h. der Gesamtabfluss wird sich um $0,505 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $11,805 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöhen. Damit wird sich die Hochwassersituation stromunterhalb der Hochhalde Schkopau durch die Einleitungen des Niederschlagswassers von der Hochhalde in Hinblick auf die Verhältnisse bei HQ(EXTREM) nicht verschlechtern. Im Fall des Versagens der Rückhaltungen wird der Abfluss von der Hochhalde Schkopau wesentlich schneller erfolgen als der aus dem natürlichen Einzugsgebiet. Dadurch kommt es nicht zu einer Überlagerung der beiden Teilwellen des Gesamtabflusses (natürliches Einzugsgebiet der Laucha, Hochhalde Schkopau) und damit nicht zu einer Erhöhung des Scheitelwertes des Gesamtabflusses über den Wert des natürlichen Einzugsgebietes hinaus.

Ergänzende Erläuterungen:

Die im Rahmen der N-A-Modellierung vorgenommene Berechnung des Oberflächenwasserabflusses der Hochhalde Schkopau diene zunächst der Klärung, inwieweit das Oberflächenwasser der endgültig abgeschlossenen Hochhalde im Starkniederschlagsfall ohne Rückhalt in die umverlegte Laucha eingeleitet werden kann. Die in Kap. 4.2.5.1 vorgenommene Prüfung der Unterschiede zwischen den Bemessungsansätzen KOSTRA 2000 versus 2010R zeigen, dass die verwendeten Daten einen konservativen Ansatz darstellen und keine wesentliche Änderung des Modellergebnisses gegenüber einer Neuberechnung erwarten lassen. Im Ergebnis von im Planungsprozess vorgenommenen behördlichen Abstimmungen besteht jedoch die Vorgabe, das anfallende Haldenniederschlagswasser gedrosselt ($0,505 \text{ m}^3/\text{s}$) abzugeben. Aufgrund dieser behördlichen Vorgabe, ergeben sich bei veränderten KOSTRA-Bemessungsniederschlägen im Haldenbereich keine Änderungen für das unterstromige Fließgewässersystem der Laucha. Die Planung der Retentionsmaßnahmen für das Oberflächenwasser der Hochhalde zur Erreichung des vorgegebenen o.g. Drosselabflusses erfolgt als eigenständige Maßnahme im Rahmen des abfallrechtlichen Abschlusses der Hochhalde losgelöst vom wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahren zur Umverlegung der Laucha (siehe Band B1, Kap. 3.6.1 und 3.6.1.5).

2 Veranlassung und Zielstellung

Die MDSE Mitteldeutsche Sanierungs- und Entsorgungsgesellschaft mbH 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. Im Auftrag der Landesanstalt für Altlastenfreistellung des Landes Sachsen-Anhalt (LAF) wurde ein Teilsanierungsrahmenkonzept (TSRK) für die Hochhalde Schkopau erarbeitet. Darin wurde u. a. die Umverlegung der Laucha in Varianten beschrieben. Ziele des Vorhabens sind, neben einer Reduzierung von Schadstoffeinträgen, einem verbesserten Hochwasserschutz durch Gewährleistung eines ordnungsgemäßen Abflusses auch bei Hochwasserereignissen und der Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit für den Bereich des Vorhabens, ebenfalls zur Erreichung der Umweltziele gemäß WRRL für das Fließgewässer Laucha beizutragen.

Durch die geplante Abdichtung und die Geländeregulierung der Hochhalde Schkopau sowie die Ableitung des Oberflächenwassers in die umverlegte Laucha können sich perspektivisch die Abflussmengen der Laucha erhöhen. Um die tatsächliche Überlagerung der Scheitelabflüsse von der Hochhalde mit den Scheitelabflüssen der Laucha festzustellen, sollte ein Niederschlags-Abfluss-Modell erstellt werden. Die bislang mit vereinfachten Verfahren ermittelten Abflussmengen von der Hochhalde Schkopau würden bei einer 1 : 1 Überlagerung mit den Hochwasserscheiteln der Laucha zu einer Verdopplung der Scheitelwerte am Pegel Schkopau führen. Dies würde erhebliche Konsequenzen für die Planung der Querbauwerke im Umverlegungsbereich nach sich ziehen.

Durch die Erstellung des Niederschlags-Abfluss-Modells ist die Berücksichtigung des unterschiedlichen zeitlichen Verlaufs der Abflussprozesse im natürlichen Einzugsgebiet und auf der Hochhalde Schkopau durch die Wellenüberlagerung möglich. Im Ergebnis wird eine genauere Abbildung der tatsächlich zu erwartenden Scheitelabflüsse gegenüber den bisherigen Berechnungsergebnissen erwartet.

Mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell sollen als Vergleichsbasis die unbeeinflussten Abflusswerte (Ganglinien und Scheitelabflüsse) für verschiedene Niederschlagsereignisse berechnet werden. Anschließend soll der Einfluss der geplanten Abdichtung der Hochhalde Schkopau mit eingerechnet werden. Die so ermittelten Abflusswerte stellen die Eingangsgrößen für die hydraulischen Berechnungen für die Umverlegungsstrecke und den Abschnitt der Laucha unterhalb der Einmündung der verlegten Laucha bis zur Mündung in die Saale dar. Insbesondere die hydraulische Leistungsfähigkeit der zu planenden Querbauwerke soll anhand dieser Abflusswerte bemessen werden.

3 Beschreibung der hydrologischen Verhältnisse

3.1 Lage, Morphologie, naturräumliche Einordnung und Gewässerverlauf

Die Laucha entspringt in einem Waldstück westlich von Schafstädt als Schichtquelle auf einer Höhe von ca. 160 m NN, durchfließt die Ortschaften bzw. Ortsteile/Siedlungsbereiche Schafstädt, Großgräfendorf, Bad Lauchstädt, Bündorf und Knapendorf und mündet innerhalb der Ortslage Schkopau bei ca. 80 m NN in die Saale. Die Gesamtlänge des Fließgewässers beträgt ca. 32 km, das mittlere Sohlgefälle ca. 0,3 %. Die Übersichtskarte in B14 Anl1 gibt einen Überblick zum Gewässerverlauf.

Am Pegel Schkopau (Lage entsprechend B14 Anl1.1) liegen die folgenden hydrologischen Hauptwerte (Angaben des LHW, Reihe 1998 – 2016) vor:

NQ = 0,005 m³/s

MNQ = 0,027 m³/s

MQ = 0,110 m³/s

MHQ = 0,748 m³/s

HQ = 1,400 m³/s

Der gesamte Oberflächenwasserkörper der Laucha bzw. deren Einzugsgebiet ist sehr stark anthropogen geprägt. Insbesondere der obere Teil des Einzugsgebietes wird fast ausschließlich landwirtschaftlich genutzt. Im unteren Teil sind neben der landwirtschaftlichen Nutzung auch andere Nutzungsformen (die Hochhalde Schkopau, das Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH und die Gemeinde Schkopau) von Bedeutung.

Trotz ihrer Zugehörigkeit zum natürlichen Einzugsgebiet der Laucha entwässern die benannten anthropogen geprägten Flächen zum größten Teil nicht zur Laucha. So wird der Oberflächenabfluss der Hochhalde Schkopau z. Z. über einen Haldenrandgraben gefasst, gesammelt und über ein Pumpwerk der Kläranlage der Dow Olefinverbund GmbH zugeführt. Der Abschlag des geklärten Wassers erfolgt direkt in die Saale. Dies trifft analog für die zum natürlichen Einzugsgebiet der Laucha gehörigen Flächen des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH zu. Die Niederschläge werden über die Kühl- und Regenwasserkanalisation gesammelt und zur Saale abgeschlagen. Auch das Regenwasserkanalsystem der Gemeinde Schkopau führt das anfallende Niederschlagswasser überwiegend der Saale zu.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass erhebliche Niederschlagswassermengen aus dem natürlichen Einzugsgebiet der Laucha herausgeleitet werden. Insbesondere bei weniger ergiebigen Niederschlägen ist davon auszugehen, dass dies für den gesamten auf den beschriebenen Flächen anfallenden Oberflächenabfluss zutrifft.

In Hinblick auf die relevante Größe des Einzugsgebietes der Laucha resultiert daraus eine Verringerung der Fläche. Entsprechend der durch den GLD in digitaler Form am 2.6.2010 übergebenen Daten (Shape-Datei der Einzugsgebietsgrenzen) beträgt die Größe des natürlichen Einzugsgebietes 100,7 km². Im Zuge der Modellierung wurde auf Basis des digitalen Geländemodells und des daraus generierten TIN durch entsprechende GIS-Routinen eine Abgrenzung der Teileinzugsgebiete vorgenommen. Das Gesamteinzugsgebiet bzw. die tatsächlich zur Laucha entwässernden Flächen haben unter Berücksichtigung der o.g. anthropogenen Einflüsse eine Größe von 95,2 km². Diese Fläche liegt somit den weiteren Berechnungen für den Istzustand zu Grunde.

Der wichtigste Hauptzufluss der Laucha ist die Schwarzeiche, die westlich der Ortschaft Oberwünsch entspringt, durch die Ortslagen Niederwünsch, Ober- und Niederklobigkau, Wünschendorf, Gräfendorf und Milzau fließt und zwischen Milzau und Bündorf in die Laucha einmündet. Das Einzugsgebiet der Schwarzeiche ist ebenfalls landwirtschaftlich und im obersten Teil durch den ehemaligen Braunkohlentagebau im Geiseltal geprägt. Z. Z. wird die Schwarzeiche durch Saalewasser aus der Flutungsleitung des Tagebaurestsees Geiseltal (Menge 25 l/s) gestützt.

Stark geprägt ist die Laucha in Teilen ihres Unterlaufs durch die Hochhalde Schkopau. Die Laucha verläuft z. Z. beginnend von der Ortslage Bündorf ca. 1,5 km unmittelbar am Fuß der Hochhalde und nachfolgend weitere ca. 1,3 km innerhalb des Deponiekörpers durch den s. g. Canyon. Wie oben bereits ausgeführt, entwässern die Flächen der Hochhalde Schkopau im Istzustand aber größtenteils nicht zur Laucha.

3.2 Klimatische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt im Übergangsbereich vom maritimen zum mitteldeutschen Binnenklima im Bereich des Mitteldeutschen Trockengebietes. Aufgrund der Regenschattenwirkung des Harzes sind die Niederschlagsmengen im Mittel sehr gering. Die langjährige mittlere Niederschlagshöhe an der Station Merseburg beträgt 511 mm/a und an der Station Mückeln 538 mm/a (jeweils Reihe 1981 bis 2010). Für das etwa zwischen den Stationen gelegene Einzugsgebiet der Laucha ist von einem nur unwesentlich abweichenden Wert auszugehen.

Das Jahresmittel der Temperatur in der Region beträgt ca. 9,5° C (Station Halle-Kröllwitz 9,6° C, Station Leipzig-Schkeuditz Flughafen 9,4° C).

3.3 Bodenarten und Flächennutzungen

Die Angaben zu den relevanten Bodenarten und zu den abgeleiteten Parametern für die Ermittlung der Abflussverluste basieren auf der Bodenkundlichen Kartierung BÜK 200 bzw. BK 50 des Landes Sachsen-Anhalt. Da der Vergleich zwischen der BÜK 200 und der BK 50 nur sehr geringe Unterschiede ergab, wurden letztlich die Angaben der BÜK 200 verwendet. Die Formen der Flächennutzung im Untersuchungsgebiet wurden auf Basis der CIR-Luftbildinterpretationsdaten, Befliegung und Neukartierung 2009 ermittelt.

Es handelt sich bei den anstehenden Böden überwiegend um sandig/lehmmige bis lehmig-sandige Substrate. Es treten vor allem Lössböden (Schwarzerden, Tschernosem) und untergeordnet Pararendzinen auf. Damit weisen die Böden ein überwiegend mittleres Infiltrationsvermögen auf, welches aber stark von der Lagerungsdichte (Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung) beeinflusst wird. Die Bodenarten variieren im Untersuchungsgebiet nur sehr gering, so dass von weitestgehend einheitlichen Versickerungsbedingungen ausgegangen werden kann. Das Gros der Einzugsgebiete wird durch die Schwarzerden charakterisiert und nur im Gebiet des Unterlaufes haben die Pararendzina-Böden eine gewisse Bedeutung.

Die in der Bodentabelle der BK50 angegebenen Werte zur Lagerungsdichte des Oberbodens im Einzugsgebiet der Laucha stellen lediglich einen Richtwert dar. Aufgrund der anthropogenen Beeinflussung des Ackerbodens schwankt die Lagerungsdichte des Ap-Horizonts im Laufe eines Jahres. In Abhängigkeit von der jeweiligen Fruchtfolge und vom Durchpflügungszeitpunkt kann die Lagerungsdichte Werte von Stufe 2 (geringe effektive Lagerungsdichte; durchgepflügt) bis Stufe 4 (hohe effektive Lagerungsdichte, z. B. Bodenverdichtung durch Pflanzen und Befahrung) annehmen. Um die innerjährlichen Schwankungen abzubilden, ist es daher adäquat, für die Modellierung einen Zustand mittlerer Lagerungsdichte (zwischen Stufe 2 und 3) für den Oberboden zu verwenden. Angaben zu den typischen Parametern der relevanten Bodenarten sind in tabellarischer Form in B14 Anl7.2 und B14 Anl7.3 (vergl. Punkt 4.1.1) zusammengestellt. Ausführungen zur Umsetzung bzgl. der Modellparametrisierung finden sich unter Pkt. 4.2.

Die Flächennutzung wird eindeutig durch landwirtschaftliche Nutzung (Ackerbau) dominiert. In Teilen des Einzugsgebietes, z. B. im Quellbereich und stromunterhalb der Hochhalde Schkopau existieren einige kleine Waldflächen. Der Siedlungsanteil ist nur gering und mit deutlich unter 5 Prozent einzuschätzen. Auch in den Ortslagen ist auf Grund des überwiegend dörflichen Charakters nur ein geringer Versiegelungsgrad anzutreffen. Es existieren neben Bad Lauchstädt und Schkopau mehrere kleinere Ortschaften. Der größte Ort ist, abgesehen von Schkopau, das aber nur teilweise zum Einzugsgebiet zu rechnen ist, Bad Lauchstädt mit einer Fläche von ca. 100 ha. Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt neben dem dominanten Ackerbau in geringem Umfang als Grasland. Z. T. existieren Brachen, u. a. in den Talbereichen in Gewässernähe, die eine starke Verkrautung und Verbuschung aufweisen. Dies ist insbesondere im Bereich südlich der Hochhalde Schkopau und im Verlauf südlich des Werksge-

ländes der Dow Olefinverbund GmbH der Fall. Neben verbuschten Brachflächen treten hier auch sehr dichte, urwaldartige Auwälder auf. Damit treten neben Flächen mit einem potentiell geringen Rückhaltevermögen auch solche mit starkem Rückhalt auf.

Wie unter Punkt 3.1 bereits angeführt, zählen auch die stark anthropogen geprägten Flächen der Hochhalde Schkopau und z. T. des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH zum natürlichen Einzugsgebiet der Laucha, obwohl sie zumeist nicht zur Laucha entwässern. Im Istzustand spielen diese aufgrund der betriebenen Entwässerungssysteme keine Rolle für das Abflussgeschehen.

4 Niederschlags-Abfluss-Modellierung

4.1 Modellansätze

Die Untersuchung der Niederschlags-Abfluss-Beziehung beinhaltet die Analyse und Transformation von Niederschlagsereignissen in Einzugsgebieten mit dem Ziel, die sich ergebenden Abflussganglinien anhand der Niederschläge und von Systemzuständen vorauszusagen. Dabei sind die drei Hauptphasen des Niederschlags-Abfluss-Prozesses zu beachten:

- ⇒ *Abflussbildung in den Einzugsgebieten (Landphase)*
- ⇒ *Abflusskonzentration (Durchflussbildung)*
- ⇒ *Abflussverlauf im Fließgewässer (Wellenabflachungsphase)*

Die IHU GmbH nutzt für die Niederschlags-Abfluss-Simulation das Programm HEC-1 mit dem grafischen Prä- und Postprozessor WMS 6.1. Unter Punkt 4.1 werden die methodischen Ansätze der eingesetzten Verfahren beschrieben, die Erläuterungen zur Umsetzung im Rahmen der durchgeführten Modellierung mit den entsprechenden Bezügen zu den Verhältnissen im Einzugsgebiet der Laucha folgen unter Punkt 4.2.

4.1.1 Abflussbildung

Die Beziehung zwischen Niederschlag und abflusswirksamem Niederschlag wird über einen physikalischen Verlustansatz (Infiltrationsansatz nach GREEN-AMPT) ermittelt. Dieser Ansatz berücksichtigt die Veränderung des Infiltrationsvermögens in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte (auffüllbares Porenvolumen) und des Durchlässigkeitsbeiwertes des Bodens bis zum Eintreten eines vollständigen Oberflächenabflusses bei Überschreitung des Bodenspeichervermögens. Die Infiltrationsmenge F wird iterativ über folgende Beziehung ermittelt:

➤ für Infiltrationsraten $f(t) > XKSAT$

$$F(t) = \frac{PSIF \cdot DTHETA}{\frac{f(t)}{XKSAT} - 1}$$

mit

DTHETA	Porosität bzw. wirksames Porenvolumen (dimensionslos)
PSIF	Eindringtiefe der Feuchtefront in mm
XKSAT	Durchlässigkeitsbeiwert des Bodens in mm/h
F	Infiltrationsmenge in mm
f	Infiltrationsrate in mm/h

IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH

Büro Nordhausen . 99 734 Nordhausen . Am Sportplatz 1 . Telefon: (03631) 89060 . Telefax: (03631) 890629

Niederlassung Halle-Merseburg, 06128 Halle/Saale, Passendorfer Weg 1, Telefon: (03 45) 5 20 88-0, Telefax: (03 45) 5 20 88 21

Büro Dresden, 01069 Dresden. Reichenbachstraße 55, Telefon: (03 51) 44 88 50, Telefax: (03 51) 44 88 515

➤ für Infiltrationsraten $f(t) \leq XKSAT$

$$f(t) = r(t)$$

In die Berechnung der Infiltrationsmenge gehen folgende Bodenparameter ein:

Beim physikalisch basierten Verfahrensansatz nach GREEN & AMPT, wie auch bei anderen physikalischen Ansätzen, hat der k_f -Wert des Bodens sehr großen Einfluss auf die Abflussbildung. Generell kann sich Direktabfluss von natürlichen Flächen nur bilden, wenn die Intensität der Niederschläge höher ist als die dem Boden- k_f -Wert entsprechende Infiltrationsrate. Infolge dessen können die ermittelten Direktabflüsse für in ihren Niederschlagshöhen wenig unterschiedliche Regen stark variieren, wenn sich die Intensitäten deutlich unterscheiden. Dies spielt insbesondere dann eine Rolle, wenn die Berechnungen auf Basis synthetischer Niederschläge (Niederschlagshöhen nach KOSTRA, Blockverteilung) ausgeführt werden.

Bei der Parametrisierung des Verlustansatzes ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die Parameter Boden- k_f -Wert und Bodenporosität (bzw. Feldkapazität) nicht konstant sind, sondern abhängig von den äußeren Bedingungen (vor allem Regendauer, Vorregen). D.h., dass bei der Wahl der Parameteransätze diese Bedingungen berücksichtigt werden müssen. So führt eine hohe Vorfeuchte des Bodens infolge von gehäuften Niederschlägen und geringer Verdunstung (Winterhalbjahr) zu einer Verringerung des Wasserspeichervermögens des Bodens. Bei starker, längeranhaltender Durchfeuchtung des Bodens kann es bei Vorhandensein höherer bindiger Anteile zu Quelleffekten und damit verbunden zu einer Verringerung des Boden- k_f -Wertes kommen. Infolge der geschilderten Zusammenhänge kann es erforderlich sein, für verschiedene Bedingungen von unterschiedlichen Parameteransätzen auszugehen.

In der Literatur werden für verschiedene Bodenarten Mittelwerte der Ausgangsparameter der GREEN-AMPT-Gleichung angegeben (MANIAK, 1997; DDMMC, 1991). In Tabelle 2 sind exemplarisch Werte für eine Reihe relevanter Bodenarten zusammengestellt. Diese Angaben erfolgen ergänzend zu den Ergebnissen der bodenkundlichen Kartierung, die für das Untersuchungsgebiet in Kartenform vorliegen. Die aus der BK 200 abgeleiteten Parameter sind in tabellarischer Form in B14 Anl7.3 enthalten.

Tabelle 2: Infiltrationsparameter der GREEN/AMPT-Gleichung nach MANIAK, 1997

Bodenart	XKSAT in mm/h	XKSAT in m/s	PSIF in mm	DTHETA
Sand	118,0	3,28E-05	50	0,417
lehmiger Sand	29,9	8,31E-06	61	0,401
sandiger Lehm	10,9	3,03E-06	110	0,412
Lehm	3,4	9,44E-07	89	0,434
schluffiger Lehm	6,5	1,81E-06	167	0,486
sandiger, toniger Lehm	1,5	4,17E-07	219	0,330

Bodenart	XKSAT in mm/h	XKSAT in m/s	PSIF in mm	DTHETA
toniger Lehm	1,0	2,78E-07	209	0,390
schluffiger Lehm	1,0	2,78E-07	273	0,432
sandiger Ton	0,6	1,67E-07	239	0,321
schluffiger Ton	0,5	1,39E-07	292	0,423
Ton	0,3	8,33E-08	316	0,385

Die beiden grau hinterlegten Parametersätze aus Tabelle 2 werden als potentiell für die angetroffenen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet zutreffend angesehen. Der Vergleich mit den Angaben in B14 Anl7.3 zeigt, dass hier ähnliche Parameterwerte angegeben werden. Insbesondere hinsichtlich des wirksamen Porenvolumens ist anzumerken, dass die Werte in Tabelle 2 von einem Zustand ohne Vorfeuchte ausgehen. Da ein derartiger Zustand selten auftritt, werden im Sinne einer konservativen Herangehensweise reduzierte Werte für DTHETA im Rahmen der Niederschlags-Abfluss-Modellierung verwendet. Weitere Erläuterungen hierzu erfolgen unter Punkt 4.2.3.

4.1.2 Abflusskonzentration

Die Phase der *Abflusskonzentration* (Durchflussbildung), also das Translationsverhalten, wird durch ein dimensionsloses Einheitganglinienverfahren beschrieben. Die ermittelte Übertragungsfunktion gibt Auskunft darüber, mit welcher zeitlichen Verzögerung ein in Form von Niederschlag die Erdoberfläche erreichendes Wasserteilchen den Gebietsauslass erreicht. Relevanter Parameter der Einheitganglinie ist die Verzögerungszeit (T_{LAG}).

Da für die betrachteten Einzugsgebiete keine gemessenen Niederschlags-Abfluss-Daten zur Ermittlung der Einheitganglinien vorliegen, mussten diese aus den morphometrischen Daten der Einzugsgebiete ermittelt werden. Zu den das Einzugsgebiet charakterisierenden morphometrischen Kenngrößen zählen insbesondere:

- Einzugsgebietsfläche (A)
- Einzugsgebietsgefälle (I_{EZ})
- Maximaler Fließweg Auslass – Einzugsgebietsgrenze bzw. hydraulische Länge (L)
- Gefälle über die hydraulische Länge (I)
- Vorflutlänge (L_V)
- Durchschnittliches Vorflutgefälle (I_{LV})

Für die Berechnung der Verzögerungszeit nach dem Ansatz von DYCK werden die hydraulische Länge der Einzugsgebiete sowie das Gefälle über die hydraulische Länge benötigt. Die Berechnung der Verzögerungszeit erfolgt nach der folgenden Beziehung:

$$T_{LAG} = 0,0195 \cdot \frac{L^{0,77}}{\sqrt{I}}$$

mit

L hydraulische Länge der Einzugsgebiete in m

I Gefälle über die hydraulische Länge im m/m

T_{LAG} Verzögerungszeit in h

4.1.3 Abflussverlauf im Fließgewässer

Der Ablauf einer Hochwasserwelle im Gewässer wird dadurch gekennzeichnet, dass eine aus dem Gebietsabfluss resultierende und eine von stromoberhalb zufließende Wassermenge vom Gebietsauslass zum nächsten Gebietsauslass bzw. Gewässerpunkt im Gerinne weitergeleitet werden. Dabei kommt es zu einer zeitlichen Verzögerung und einer Streckung der Abflusskurve, verbunden mit einer Verringerung des Scheitelabflusses. Im englischen bzw. englisch-amerikanischen Sprachgebrauch wird dieser Prozess als *Routing* (von: to route = leiten, weiterleiten) bezeichnet. Zur Berücksichtigung des Abflussverlaufes im Fließgewässer kommt das MUSKINGUM- CUNGE-Verfahren zum Einsatz.

- MUSKINGUM-CUNGE-Verfahren

Zum einen sind die Parameter des Verfahrens physikalisch begründet, sie leiten sich aus den geometrischen Eigenschaften des betrachteten Fließgewässerabschnittes und der Durchflussprofile sowie den Rauigkeitsbeiwerten ab. Zum anderen liefert das Verfahren über einen weiten Bereich der Eingangsgrößen sehr gute Ergebnisse im Vergleich mit sogenannten dynamischen Verfahren, die die vollständigen Saint-Venant'schen Gleichungen verwenden. Darüber hinaus sind beim MUSKINGUM-CUNGE-Verfahren die Ergebnisse nicht vom vorgegebenen Berechnungsintervall abhängig. Grenzen der Anwendung stellen die Berücksichtigung von Stau- oder Rückflusseffekten sowie die Widerspiegelung von zeitlich stark variierenden Durchflüssen in Gewässerabschnitten mit sehr geringem Sohlgefälle dar.

Nachfolgend werden in kurzer Form die Grundlagen des Verfahrens dargestellt. Die grundlegenden Gleichungen sind zum einen die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L$$

mit

A durchströmte Querschnittsfläche (Gewässerprofil)

Q Durchfluss

t Zeit

q_L lateraler Zufluss zum Gewässer

x Fließlänge

und zum anderen die Bewegungsgleichung (nur Diffusionsterm)

$$S_f = S_o - \frac{\partial Y}{\partial x}$$

mit

Y Gewässertiefe

S_f Reibungsgefälle

S_o Sohlgefälle.

Die Kombination der beiden obigen Gleichungen ergibt die folgende Konvektions-Diffusions-Gleichung, die den Abfluss einer Welle in einem Fließgewässerabschnitt unter Berücksichtigung eines seitlichen Zuflusses über den betreffenden Abschnitt beschreibt.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + c q_L$$

mit

c Wellengeschwindigkeit in Fließ(x-)richtung.

Diese Gleichung wird auf einer x-t-Ebene diskretisiert und über ein iteratives Vier-Punkt-Interpolationsverfahren numerisch gelöst. Als Eingangsdaten setzt die Methode voraus:

- ein repräsentatives Querschnittsprofil des Gewässers
- die Länge des betrachteten Gewässerabschnitts
- den Rauigkeitskoeffizienten nach MANNING für das Gewässerbett und die Vorländer
- das Sohlgefälle des Gewässerabschnittes

Obwohl auch vereinfachte Regelprofile (Quadrat, Rechteck, Trapez, etc.) möglich sind, gewährleistet die Berücksichtigung eines unregelmäßigen Achtpunktprofils eine bessere Abbildung der natürlichen Verhältnisse am Gewässer. Die angesetzten Rauigkeitswerte nach MANNING wurden anhand von Recherchen und Begehungen des Fließgewässers und der Vorländer angesetzt.

Die Berechnung des Abflusses im Gewässer ist in HEC-1 mit der Berechnung der anderen Komponenten des gesamten Abflusssystems gekoppelt, so dass die Abflusswelle der Landphase sofort im Gewässer weitergeleitet und die zeitliche Überlagerung der Wellen durchgeführt wird und damit eine adäquate Widerspiegelung des Gesamtprozesses erfolgt.

4.2 Modellaufbau

4.2.1 Topologie und Modellstruktur zur Beschreibung der Abflusskonzentration

Für die Ermittlung der hydrologischen Bemessungsgrundlagen wurde das Gesamteinzugsgebiet in insgesamt 15 Teileinzugsgebiete unterteilt, die auf Basis des digitalen Geländemodells (Stand 2009, Übergabe durch LHW am 27.05.2010 in digitaler Form) und der Auslasspunkte festgelegt bzw. berechnet wurden. Die Anordnung der Auslasspunkte und damit auch der sich ergebenden Einzugsgebiete orientiert sich an der Gewässerstruktur (z. B. Einmündungen von Nebengewässern), an den Gebietseigenschaften und an der Zielstellung (Ergebnisse sollen für bestimmte Ortspunkte vorliegen). Für jedes Teileinzugsgebiet wurden dann die für den verwendeten Abflusskonzentrationsansatz notwendigen morphometrischen Angaben entsprechend Kapitel 4.1 ebenfalls auf Basis des digitalen Geländemodells mit dem Programm WMS ermittelt.

Die Karte in B14 Anl1.1 zeigt die Modellstruktur (Gewässer, Teileinzugsgebiete, Auslasspunkte). Die für die Berechnung relevanten Parameter und die entsprechend der erörterten Vorgehensweise berechneten Verzögerungszeiten nach DYCK gehen aus der B14 Anl7.4 hervor.

Die Struktur der Teileinzugsgebiete verdeutlicht nochmals, dass nicht alle Bereiche des natürlichen Einzugsgebietes zur Laucha entwässern. Wie bereits unter Punkt 3.1 aufgeführt, betrifft dies insbesondere die Hochhalde Schkopau, das Werksgelände der Dow Olefinverbund GmbH und Teile der Ortslage Schkopau. Dieser Situation wurde durch die Modellstruktur bzw. Modellansätze auf unterschiedliche Art und Weise Rechnung getragen.

Die Flächen der Hochhalde Schkopau, die zum Haldenrandgraben entwässern, wurden entsprechenden Grabenabschnitten gemäß DGM zugeordnet und mit eigenen Auslasspunkten versehen. Große Teile des Plateaus der Hochhalde entwässern aufgrund der Struktur während des Betriebes bis Anfang der 1990er Jahre (Dämme und Spülbecken) und der heute noch bestehenden Geländesenken im derzeitigen Zustand nicht oberflächlich. Für den Bereich der Hochhalde Schkopau ergeben sich somit die drei Einzugsgebiete AE 12, AE 13 und AE 14 entsprechend B14 Anl1.1. Zu diesen Einzugsgebieten gehören entsprechend der Auswertung des DGM auch kleinere, außerhalb der Hochhalde Schkopau liegende Flächen. Alle zu den Einzugsgebieten der Haldenrandgräben gehörigen Flächenanteile werden vom natürlichen Einzugsgebiet der Laucha abgesetzt, d. h., der auf diesen generierte Oberflächenabfluss gelangt nicht in die Laucha.

Der südliche Bereich des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH, der zum natürlichen Einzugsgebiet der Laucha gehört, wird künstlich zur Saale entwässert und liefert somit keinen Beitrag zum Abfluss in der Laucha. Die entsprechenden Flächenanteile wurden ebenfalls nicht in das vom Niederschlags-Abfluss-Modell erfasste Einzugsgebiet einbezogen bzw. vom natürlichen Einzugsgebiet abgesetzt.

Für das Einzugsgebiet AE 11, welches die Ortslage Schkopau beinhaltet, wurde ein Anteil von 90 % der versiegelten Flächen von der Gesamtfläche des Teileinzugsgebietes abgezogen, da diese künstlich zur Saale entwässert werden und somit zum Abfluss der Laucha nicht beitragen.

Des weiteren liegen gemäß der Höhenangaben des DGM einige kleine Flächen vor, die keinen Abfluss zum Gewässer aufweisen. Unter Berücksichtigung der unter Punkt 3.1 getroffenen Aussagen zur anthropogenen Überprägung des Gebietes beträgt die im Niederschlags-Abfluss-Modell zur Laucha entwässernde Fläche 95,2 km².

Die getroffenen Aussagen gelten insbesondere für die zur Modellierung des Ist-Zustandes im Rahmen der Modellplausibilisierung verwendeten Niederschlagsereignisse, die entsprechend der auftretenden Niederschlagssummen keine Extremereignisse darstellen. Weiterhin sind für die beobachteten und zur Modellplausibilisierung verwendeten geringen Niederschläge und Abflüsse Rückstaueffekte im Lauchabett nicht zu erwarten. Entsprechend sind im Modell des Istzustandes im Rahmen der Modellplausibilisierung derartige Effekte nicht berücksichtigt.

Wie bereits dargelegt, entwässern die Flächen der Hochhalde Schkopau im Istzustand zum Haldenrandgraben oder generieren auf Grund der Struktur keinen Direktabfluss. Für den Planzustand wird die vorgegebene Gestaltung der Oberfläche der Hochhalde im Niederschlags-Abfluss-Modell auf Basis der Planunterlagen berücksichtigt (B14 Anl10.5). Die Flächen entwässern dann zur Laucha und werden entsprechend im Niederschlags-Abfluss-Modell erfasst und abgebildet. Weitere Ausführungen zur Morphologie der Hochhalde Schkopau im Planzustand erfolgen unter Punkt 6.1.

4.2.2 Parameter zur Beschreibung des Abflussverlaufes im Gewässer

Die Wellenabflachungsphase, d. h. die Verzögerung des Abflusses im Gewässer wird im Niederschlags-Abfluss-Modell unter Berücksichtigung der Routing-Parameter nach dem gewählten MUSKINGUM-CUNGE-Verfahren berechnet. Mit diesem Modellierungsansatz wird im Rahmen der Niederschlags-Abfluss-Untersuchung nicht das Ziel einer genauen Wasserspiegellagenberechnung verfolgt, es soll vielmehr die zeitliche Verzögerung der Abflusswelle durch den Fließvorgang im Gewässer abgebildet werden.

Als Ausgangsgrößen für die Ermittlung der Routingparameter gehen die im betrachteten Gewässerabschnitt ermittelten Angaben, wie im Kapitel 3.1 beschrieben, ein. Die Zuordnung der Routingabschnitte geht aus B14 Anl6 hervor. Die Karte und die zugehörigen Graphiken veranschaulichen darüber hinaus die Lage und die Geometrie der berücksichtigten Querprofile. Die weiteren zur Berechnung erforderlichen Ausgangsdaten der Gewässerabschnitte und Querprofile sind in B8 Anl7.5 zusammengestellt. Das jeweilige Querprofil gilt vom stromobersten Punkt des Gewässerabschnittes bis zum nächsten stromunterhalb liegenden Profil.

In Folge der bedeutenden Gewässerlänge (Hauptgewässer Laucha ca. 32 km) hat die Wellenabflachung einen erheblichen Einfluss (dämpfende Wirkung) auf die sich ergebenden Abflussscheitelwerte.

4.2.3 Flächennutzungen und Bodenparameter zur Beschreibung der Abflussbildung

Zur Berücksichtigung der im Untersuchungsgebiet vorliegenden Bodenarten standen die Angaben aus der bodenkundlichen Kartierung BÜK 200 und BK 50 zur Verfügung. Der Vergleich beider Kartenwerke zeigt für das Untersuchungsgebiet, dass nur sehr geringe Unterschiede in Hinblick auf die relevanten Bodenarten vorliegen. Entsprechend wurde die BÜK 200 verwendet.

Aufgrund der nur sehr geringen Variabilität der Bodenarten in den Teileinzugsgebieten erfolgte eine nahezu einheitliche Berücksichtigung der Parameter für den verwendeten Infiltrationsansatz nach GREEN & AMPT. Aufgrund der dominierenden Schwarzerdeböden wird von mittleren Infiltrationsbedingungen ausgegangen, die sandigen Lehme bzw. Lößbildungen sind durch eine im unverdichteten Zustand relativ hohe Wasserleitfähigkeit gekennzeichnet. Wie bereits unter Punkt 3.3 dargelegt wurde, ist aber für die intensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen mit einem gewissen Grad der Verdichtung zu rechnen. In B14 Anl7.2 wurden deshalb neben den k_f -Werten des unverdichteten Bodens auch die Werte für die jeweils höhere Lagerungsdichte angegeben. In der Realität liegen die k_f -Werte zwischen diesen beiden Grenzen. Hinzu kommt die hohe Dauer der beobachteten Niederschlagsereignisse, welche für die Plausibilisierung des Istzustandes genutzt wurden. Hier ist mit Effekten des Quellens bindiger Bestandteile des Bodens und damit der Abnahme des Boden- k_f -Wertes zu rechnen. Für die Teileinzugsgebiete mit fast ausschließlichem Anteil der Tschernosem-Böden kam ein k_f -Wert (XKSAT) von 6,6 mm/h zum Ansatz, bei den wenigen Gebieten, die gewisse Anteile an Pararendzina-Böden aufweisen, wurde ein etwas geringerer k_f -Wert von 6,2 mm/h angesetzt. Damit wird dem gering durchlässigen zweiten C-Horizont der Pararendzinen Rechnung getragen (vergl. B14 Anl7.2 und B14 Anl.7.3).

Angaben zur Gesamtporosität der Böden liegen aus der BÜK 200 nicht vor. Die Angaben zur Feldkapazität schwanken gemäß B14 Anl7.2 zwischen 27 % und 43 % für Tschernosem bzw. 27 % und 38 % für Pararendzina. Da die Feldkapazität nur den nicht gravitativ entwässerbaren Hohlraumanteil des Bodens charakterisiert, ist auch der Hohlraumanteil zu berücksichtigen, über den der (schnelle) Transport des Sickerwassers stattfindet. Wie bei der Herleitung des Boden- k_f -Wertes ist bei der Modellierung des Istzustandes im Rahmen der Modellplausibilisierung für die beobachteten Niederschlagsereignisse zu beachten, dass es sich um lange Regen handelt, die im Winterhalbjahr fallen. Hier ist mit einer höheren Vorfeuchte und damit einem verringerten Wasserspeichervermögen des Bodens zu rechnen. Auf Grundlage dieser Angaben

wird im Niederschlags-Abfluss-Modell ein mittlerer Wert von 20 % berücksichtigt, welcher als Speicher im Falle des Auftretens eines Niederschlagsereignisses zur Verfügung steht.

Es ist hier nochmals darauf hinzuweisen, dass diese Porositäten bei einer erheblichen Vorfeuchte der Böden gelten. Bei sehr hoher Vorfeuchte kann sich die effektive Porosität weiter verringern. Bei sehr geringer Vorfeuchte bzw. kurzer Regendauer, insbesondere im Sommerhalbjahr, ist mit höheren Porositäten und auch höheren Boden- k_f -Werten zu rechnen. Eine entsprechende Diskussion wird bei der Darstellung der Modellierung des Istzustandes mit den KOSTRA-Regen (Punkt 5.3) geführt. Neben den Verlusten, die sich infolge der Infiltration des Niederschlagswassers in den Böden ergeben, spielen ebenso Anfangsverluste durch Muldenspeicher und der Einfluss der Vegetationsform eine Rolle. Auf Grund der unter Punkt 3.3 beschriebenen, z. T. sehr dichten Vegetation (verbuschtes Grasland) und der erheblichen Gliederung der Oberfläche vor allem in den Talstrukturen wurden die Anfangsverluste mit 6 mm bis 7 mm angesetzt.

In B14 Anl7.3 sind die sich ergebenden Parameter zur Ermittlung der Abflussverluste nach dem GREEN & AMPT-Verfahren für alle Teileinzugsgebiete zusammengestellt. Variiert wurden aufgrund der weitgehend einheitlichen Bodeneigenschaften vor allem der Versiegelungsgrad und z. T. der Anfangsverlust und der k_f -Wert.

4.2.4 Berücksichtigung von urbanen / wasserwirtschaftlichen Einflüssen

Eine detaillierte Berücksichtigung der Flächenentwässerung in den urban geprägten Gebieten über Kanalnetzmodelle oder ähnliche Ansätze war nicht vorgesehen. Auf Grund des geringen Anteils der Siedlungsflächen und des dörflichen Charakters der Ortschaften mit wenigen versiegelten Flächen ist dies von geringer Relevanz. Im Modell wurde der Versiegelungsgrad somit nur über die Angabe des versiegelten Flächenanteils für die einzelnen Teileinzugsgebiete berücksichtigt. D. h., dass für diesen Flächenanteil keine Abflussverluste ausgewiesen werden. Die Angaben zum versiegelten Flächenanteil gehen aus B14 Anl7.3 hervor.

4.2.5 Niederschlagsdaten

4.2.5.1 Allgemeine Angaben

Zur Ermittlung von Hochwasserabflüssen werden i. A. synthetische Regen, d. h. Regen, deren Niederschlagssumme und zeitliche Niederschlagsverteilung anhand verschiedener Regelwerke (z B. KOSTRA-Atlas) abgeleitet werden, als Bemessungsniederschläge verwendet.

Derartige Bemessungsniederschläge lassen sich durch folgende Größen charakterisieren:

- Wiederholungszeitspanne T
- Niederschlagsdauer D
- Zeitlicher und räumlicher Niederschlagsverlauf $I(t)$
- Niederschlagshöhe N

Die Größe der Wiederholungszeitspanne T richtet sich i. A. nach der wasserwirtschaftlichen Zielstellung. Die Niederschlagsdauer D orientiert sich an der jeweiligen Konzentrationszeit T_c (Fließzeit vom Gebietsrand bis zum Gebietsauslass) im zu betrachtenden Einzugsgebiet sowie an möglichen Einflüssen auf die Parameter des Verlustansatzes, wie unter Punkt 4.1.1 beschrieben.

Die Modellplausibilisierung erfolgt dagegen auf der Basis beobachteter Niederschlagsdaten.

Hinweis: Prüfung der Unterschiede zwischen den Bemessungsansätzen für den Niederschlag (KOSTRA 2000 versus 2010R):

Für die Modellberechnung wurde als Datenbasis der KOSTRA 2000 – Datensatz verwendet. Im Rahmen einer Modellprüfung hinsichtlich der Modellaktualität wurden aktuelle KOSTRA-Niederschlagsdaten mit dem verwendeten KOSTRA - Datensatz verglichen. Der Vergleich der Summen der Niederschlagshöhen zwischen den Angaben nach KOSTRA 2000 und 2010R erfolgte für die relevanten Niederschlagsereignisse (Wiederkehrwahrscheinlichkeiten und Dauerstufen) für das Rasterfeld Spalte = 50, Zeile = 50, welches in seiner Lage Bad Lauchstädt und damit dem zentralen Bereich des Lauchaeinzugsgebietes entspricht. Dies sind die Ereignisse mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit $T = 2a, 5a, 10a, 50a, 100a$ und den Dauerstufen $D = 60\text{min}, 90\text{min}, 2h, 4h$ und $6h$. Die Angaben zu den Differenzen der Summen der Niederschlagshöhen zwischen KOSTRA 2000 und KOSTRA 2010R als Absolutwerte und prozentuale Werte sind in der nachfolgenden Tabelle abgebildet.

Tabelle 3: Absolutwerte der Differenz (rote Zahlen stehen für negative Werte) KOSTRA2010R minus KOSTRA2000

T in a		2	5	10	50	100
D		hN	hN	hN	hN	hN
60	min	0,70	1,70	2,30	4,00	4,70
90	min	0,20	0,90	1,50	2,60	3,20
2	h	0,20	0,30	0,70	1,50	1,90
4	h	1,40	1,50	1,50	1,80	1,80
6	h	2,30	2,80	3,20	4,20	4,50

Prozentangabe

T		2	5	10	50	100
D		hN	hN	hN	hN	hN
60	min	104	106	107	109	110
90	min	101	103	104	106	106
2	h	99	101	102	103	103
4	h	95	96	96	97	97
6	h	92	93	93	93	93

Im Falle der Niederschlagsereignisse mit längerer Dauer (4h, 6h) liegen die Werte nach KOSTRA 2010R unter den Werten nach KOSTRA 2000. Die Berechnungsergebnisse des Niederschlags-Abfluss-Modells sind somit als konservativ in Hinblick auf die Bewertung der Abflusssituation einzuordnen. Die Summen der Niederschlagshöhen für die Ereignisse mit einer Dauer von 2h und 90min weichen nur in geringem Maß voneinander ab, hier sind auch für das Abflussgeschehen nur geringfügige Änderungen zu erwarten. Höhere Abweichungen liegen nur für die Niederschlagsereignisse mit kürzerer Dauer (60min) vor. Bei den Ereignissen mit geringer bis sehr geringer Wiederkehrwahrscheinlichkeit (T=10a, 50a, 100a) sind die Summen der Niederschlagshöhen nach KOSTRA 2010R höher als nach KOSTRA 2010. Hier sind auch entsprechend höhere Abflüsse aus dem Bereich der Hochhalde Schkopau zu erwarten. Da aber ohnehin ein nahezu vollständiger Rückhalt des im Bereich der Hochhalde Schkopau anfallenden Niederschlagswassers im Zuge der Stilllegung realisiert wird, die Einleitmenge in die Laucha ist auf 0,5 m³/s begrenzt, ist die zu erwartende modelltechnische Erhöhung der Abflussmengen für die Beurteilung der Situation nicht von Bedeutung. Im Ergebnis der fachtechnischen Prüfung ist festzustellen, dass eine Neuberechnung des Niederschlags-Abfluss-Modells auf Grundlage der aktuelleren KOSTRA-Daten nicht erforderlich ist, weil die verwendeten Daten einen konservativen Ansatz darstellen und keine wesentliche Änderung des Modellergebnisses gegenüber einer Neuberechnung erwarten lassen.

4.2.5.2 Beobachtete Niederschlagsereignisse

Die Ermittlung der Abflüsse der Laucha, insbesondere für den Pegel Schkopau, erfolgt für den Istzustand im Rahmen der Modellplausibilisierung auf der Basis der Angaben für verschiedene Niederschlagsereignisse, die an der Station Mücheln (Geiseltal) beobachtet wurden. In einem weiteren Arbeitsschritt werden Modellberechnungen anhand von KOSTRA-2000-Daten für Regen mit Wiederkehrintervallen von $T = 5$ a, $T = 10$ a und $T = 100$ a durchgeführt (Punkt 4.2.5.3). Die Auswahl der Niederschlagsereignisse für die Modellplausibilisierung wurde zunächst entsprechend den durch den GLD übergebenen Abflussganglinien für vier Hochwasserereignisse am Pegel Schkopau vorgenommen. Ganglinien des gemessenen Durchflusses liegen für den Pegel Schkopau ab dem Jahr 1997 vor. Die vier ausgewählten Abflussereignisse liegen in den Zeiträumen

- 10.06.2000 bis 15.06.2000
- 29.12.2002 bis 06.01.2003
- 21.07.2007 bis 23.07.2007
- 19.01.2008 bis 22.01.2008.

Im Ergebnis der Recherche zu den Niederschlagsdaten zeigte sich, dass die dem Einzugsgebiet der Laucha nächstgelegene Niederschlagsmessstation mit einer geeigneten Erfassung der Daten Mücheln/Geiseltal ist. Die Entfernung Mücheln/Geiseltal-Bad Lauchstädt beträgt ca. 10 km. Für diese Station liegen bei der Meteomedia AG stündliche Niederschlagswerte bis 2007 und danach 10minütige Werte vor. Entsprechend wurden für die oben angeführten Zeiträume der beobachteten Abflüsse am Pegel Schkopau die zugehörigen Niederschlagsdaten angefordert. Deren Auswertung ergab, dass für den Zeitraum 10. 6. 2000 bis 15. 6. 2000 keine verwertbaren Daten vorliegen, da es nach Angaben der Meteomedia AG seinerzeit zu einem Ausfall des Regenmessers kam. Somit wurden die verbleibenden drei den Abflussereignissen zugehörigen Niederschlagsperioden zunächst einer weiteren Aufbereitung und Datenanalyse unterzogen.

Die Niederschlagswerte wurden dahingehend aufbereitet, dass aus dem jeweiligen Zeitraum der betrachteten Niederschlagsperiode das eigentliche Ereignis (mit jeweils kürzerer Dauer als die übernommene Datenreihe) separiert und die zugehörigen Daten für das Niederschlags-Abfluss-Modell aufbereitet wurden. Die Ganglinien der kumulativen Summen der Niederschlagshöhen sind in B14 Anl3 grafisch dargestellt. Wie die Ganglinien zeigen, unterscheiden sich die drei Ereignisse hinsichtlich der Dauer, der kumulativen Niederschlagshöhe und der Intensitätsverteilung erheblich.

Das Niederschlagsereignis zur Jahreswende 2002/2003 weist eine in Summe hohe Niederschlagsmenge auf (45,4 mm), ist aber aufgrund der großen Regendauer (ca. 34 h) nur wenig intensiv. Da die Monate Dezember 2002 und Januar 2003 durch häufige Niederschläge geprägt

waren, wurde als Ausgangsgröße für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung als ein eigenständiges Niederschlagsereignis der Regen vom 29. 12. 2002, 22:00 Uhr bis zum 31. 12. 2002, 8:00 Uhr separiert. Die Intensitätsverteilung entspricht weitestgehend einem Blockregen.

Das Niederschlagsereignis im Juli 2007 weist eine deutlich niedrigere Gesamtmenge des gefallenen Niederschlags (22,8 mm) aber auch eine kürzere Dauer und damit ähnliche Intensität auf. Aufgrund der stark abweichenden Intensitätsverteilung, diese entspricht etwa einer Verteilung nach DVWK bzw. DWA (DWA, 2014), ist aber der Zeitraum vom 21.07.2007, 23:00 Uhr bis zum 22.07.2007, 3:00 Uhr durch deutlich intensivere Niederschläge geprägt als der Gesamtzeitraum des Ereignisses von ca. 17 Stunden. Bei der Korrelation der Niederschlagsdaten mit den am Pegel Schkopau beobachteten Abflüssen zeigte sich für das Ereignis eine starke Abweichung im zeitlichen Verlauf. Die Abflussspitze am Pegel Schkopau wird beobachtet, wenn erst ca. 50 % des Niederschlages gefallen sind. Dies weist darauf hin, dass der beobachtete Sommerniederschlag trotz der relativ geringen Entfernung zwischen dem Lauchaeinzugsgebiet und der Station Mücheln zu signifikant anderen Zeiten fiel. Damit kann das Niederschlagsereignis für die Modellplausibilisierung nicht genutzt werden und geht somit in die weiteren Untersuchungen nicht ein.

Das Niederschlagsereignis im Januar 2008 ist bei einer deutlich kürzeren Dauer (ca. 11 h) trotz einer geringen Gesamtniederschlagsmenge (18,6 mm) intensiver als das zum Jahreswechsel 2002/2003. Die Intensitätsverteilung ähnelt einem Blockregen, weist aber doch, insbesondere zu Beginn, Bereiche sehr unterschiedlicher Intensität auf. Von der 40. bis zur 70. Minute fallen ca. 6 mm Niederschlag und damit ein beträchtlicher Teil der Gesamtmenge!

Die Niederschlagsereignisse zum Jahreswechsel 2002/2003 und im Januar 2008 weisen eine akzeptable zeitliche Korrelation zu den beobachteten Abflüssen der Laucha am Pegel Schkopau auf und werden im Weiteren für die Modellierung des Istzustandes im Rahmen der Modellplausibilisierung genutzt. Allerdings muss auch in diesen Fällen mit gewissen zeitlichen Verschiebungen aufgrund der räumlichen Entfernung der Station Mücheln zum Einzugsgebiet der Laucha gerechnet werden. Korrekturen im zeitlichen Verlauf der modellierten Abflusswelle erscheinen damit aus fachlicher Sicht begründet und angezeigt. Weitere Ausführungen zu dieser Problematik erfolgen unter Punkt 5.3.

4.2.5.3 Betrachtete KOSTRA-Regen

Im Rahmen der Modellierung des Istzustandes wurden Berechnungen auf Basis von KOSTRA-2000-Daten für die Wiederkehrwahrscheinlichkeiten $T = 5$ a, $T = 10$ a und $T = 100$ a durchgeführt. Ausgewählt wurde das Rasterfeld Spalte = 50, Zeile = 50, welches in seiner Lage Bad Lauchstädt und damit dem zentralen Bereich des Lauchaeinzugsgebietes entspricht. Die zugehörige Tabelle mit den Niederschlagshöhen und –spenden ist in B14 Anl2.4 enthalten.

Anhand der Niederschlagshöhen wurden entsprechend der Blockregenverteilung Niederschlagsganglinien mit einer zeitlichen Diskretisierung von 30 min erstellt. Diese sind in B14 Anl2.5, 2.6 und B14 Anl2.8 grafisch veranschaulicht.

Da im Zuge der Modellberechnung für den Istzustand auf Basis der KOSTRA-Regen nach Abstimmung mit dem GLD (Vgl. Punkt 5.2) für den westlichen Teil des Einzugsgebietes (Rand der Querfurter Platte) gewitterartige Starkregen berücksichtigt werden sollten, wurden zusätzlich synthetische Regen auf Basis einer um 10 % gegenüber der KOSTRA-Tabelle erhöhten Niederschlagshöhe generiert. Dies entspricht den Empfehlungen im KOSTRA-Atlas, die bei Extremereignissen bzw. der Verwendung für Planungszwecke eine entsprechende Variation in einer Spanne von $\pm 10\%$ bis 20% vorsehen. Die generierten Verteilungskurven für $T = 10$ a und $T = 5$ a sind in B14 Anl2.7 und 2.9 enthalten. Da für das Ereignis HQ100 nach Abstimmung mit dem GLD die Annahme von gewitterartigen Starkregen kürzerer Dauer nicht zur Anwendung kommen sollte, erfolgten die Berechnungen in diesem Fall ohne den 10 %igen Aufschlag gegenüber den KOSTRA-Angaben.

Auf Grund der unter Punkt 4.2.1 ausführlich erörterten Sachverhalte der Größe und Morphologie des Einzugsgebietes (Konzentrationszeit) und der vorliegenden Beobachtungsergebnisse am Pegel Schkopau (die beobachteten Hochwasserabflüsse aus der Reihe ab 1997 wurden durch Regen höherer Dauer hervorgerufen) wurden in die Betrachtungen zunächst nur Regen mit größerer Dauer (6 h, 9 h, 12 h und 18 h) einbezogen. Entsprechend den Ergebnissen der mit dem GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt geführten Abstimmungen (Vgl. Punkt 5.2) wurden in einer zweiten Bearbeitungsphase auch Regen mit kürzerer Dauer ($D = 3$ h) betrachtet. Wie bereits dargelegt, entspricht dies dem Ansatz einer Teilüberregnung des Gesamtgebietes durch gewitterartige Starkniederschläge.

Weitere auf Basis von KOSTRA-2000-Daten generierte synthetische Regen für kürzere Regendauern und für ein Wiederkehrintervall von $T = 2$ a wurden bei den Berechnungen für den Planzustand der Hochhalde Schkopau verwendet. Entsprechende Erläuterungen zu dieser Problematik erfolgen unter Punkt 6.3.

5 Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Berechnungen für den Istzustand

5.1 Ermittelte Abflussganglinien, beobachtete Ereignisse

Die auf Basis der unter Punkt 5.1 erläuterten Untersuchungen zur Modellplausibilisierung gewonnenen Ergebnisse sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 sowie ergänzend in B14 Anl8.1 und 8.2 in Form der ermittelten Abflussganglinien am Auslasspunkt AP 8 (entspricht Pegel Schkopau der Laucha) dargestellt. Der Auslasspunkt AP 8 erfasst das gesamte betrachtete Einzugsgebiet und ist damit für die Auswertung bzw. Einschätzung der hydrologischen Situation von besonderer Bedeutung. Darüber hinaus ist nur hier ein Vergleich zwischen beobachteten und berechneten Abflussganglinien möglich.

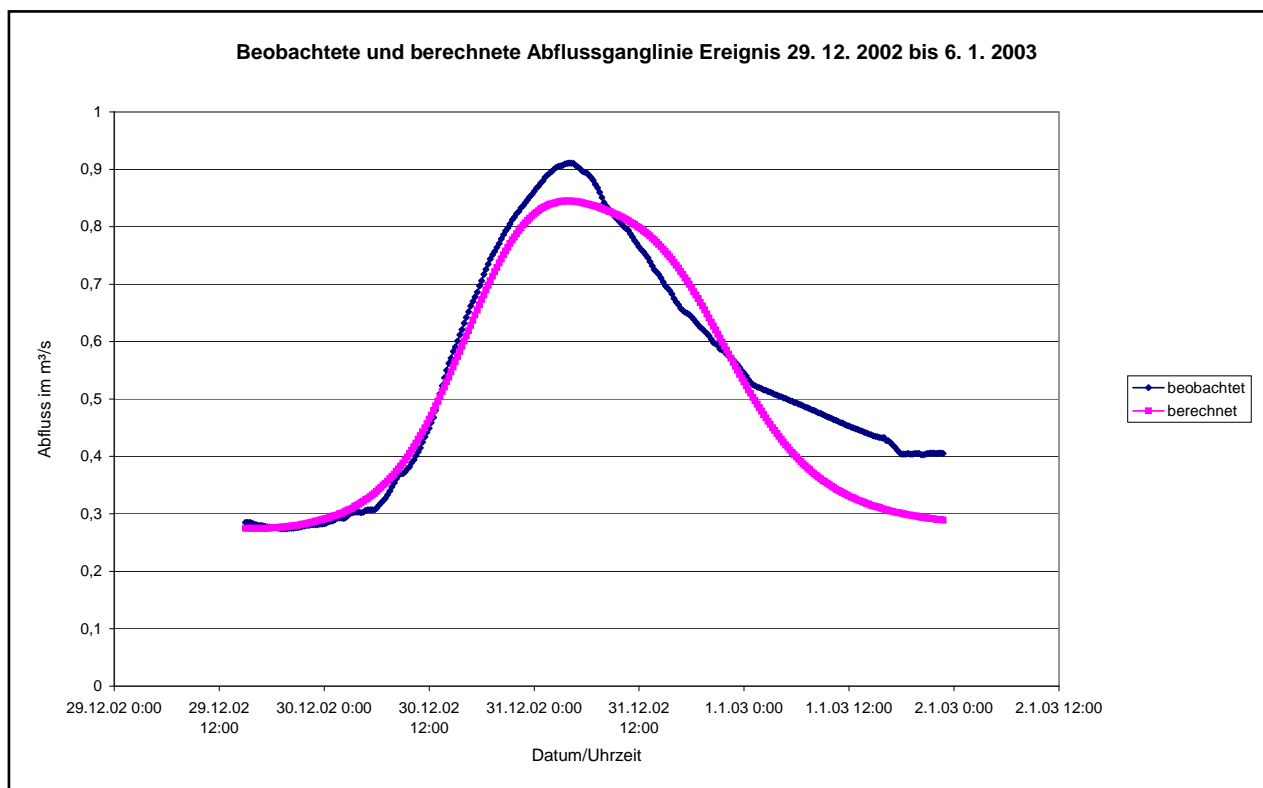


Abbildung 1: Vergleich der Abflussganglinien am Pegel Schkopau, Ereignis vom 29. 12. 2002 bis 6. 1. 2003

Wie die mit dem GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt geführten Abstimmungen ergaben, ist der Pegel Schkopau aber nur bedingt geeignet, um das Gesamteinzugsgebiet zu repräsentieren. Dies trifft insbesondere auf das Abflussgeschehen im Oberlauf der Laucha zu. Die Abflusswelle wird im Unterlauf der Laucha (Bereich etwa zwischen Bündorf und Freimfelde) infolge ausgedehnter Retentionsflächen stark gedämpft und verzögert. Somit sind am Pegel Schkopau vergleichsweise niedrige Abflussscheitel zu erwarten. Diese begründeten Annahmen sind nicht durch Messwerte belegt, da entsprechende Pegel im Oberlauf der Laucha nicht existieren.

Wie bereits erläutert (Punkt 3.1), sind im Ist-Zustand die Abflüsse der Einzugsgebiete des Haldenrandgrabens der Hochhalde Schkopau nicht dem Pegel Schkopau bzw. der Laucha zuzuordnen. D. h. große Teile der Fläche der Hochhalde Schkopau entwässern im Ist-Zustand nicht zur Laucha. Für diese Teileinzugsgebiete wurden gleichfalls Modellberechnungen durchgeführt, die Ergebnisse sind aber für die Modellplausibilisierung von untergeordneter Relevanz. Aufgrund der fehlenden Vergleichsmöglichkeiten im Sinne der Modellplausibilisierung erfolgt keine Darstellung.

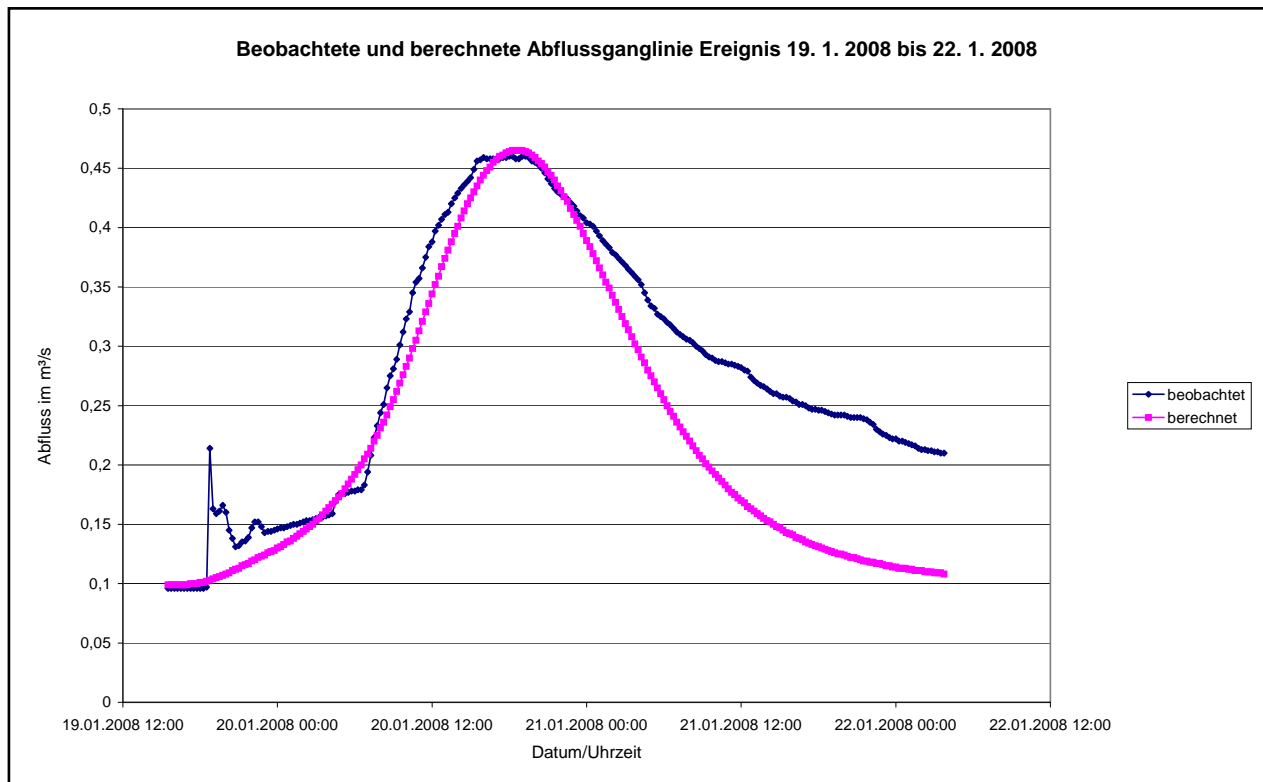


Abbildung 2: Vergleich der Abflussganglinien am Pegel Schkopau, Ereignis vom 19. 1. 2008 bis 22. 1. 2008

Wie bereits unter Punkt 4.2.5.2 dargelegt, wurde für das Ereignis zum Jahreswechsel 2002/2003 der Regen vom 29. 12. 2002, 22:00 Uhr bis zum 31. 12. 2002, 8:00 Uhr separiert und als ein eigenständiges Niederschlagsereignis modelliert. Entsprechend wurde nur der erste Teil der am Pegel Schkopau im Zeitraum vom 29. 12. 2002 bis 6. 1. 2003 beobachteten, doppelgipfligen Abflusskurve nachgerechnet. Auf Basis des Modells wurde ein Abflussscheitelwert von 0,85 m³/s bzw. ein abgeflossenes Wasservolumen von ca. 168.000 m³ ermittelt. Aufgrund der Auswertung der beobachteten Abflussganglinie am Pegel Schkopau, die vor dem Ereignis über mehrere Tage einen kontinuierlichen Abfluss von 0,28 m³/s zeigte, wurde dieser Wert als Basisabfluss angesetzt und ist im berechneten Scheitelabflusswert enthalten.

Für das Ereignis im Januar 2008 ergaben die Modellberechnungen einen Abflussscheitelwert von 0,47 m³/s bei einem abgeflossenen Wasservolumen von ca. 63.900 m³. Auch in diesem Fall

ist der im Vorfeld über mehrere Tage beobachtete Abflusswert von 0,1 m³/s als Basisabfluss im berechneten Scheitelabflusswert enthalten.

5.2 Ermittelte Abflussganglinien auf Grundlage der KOSTRA-Regen

Im Zuge der Modellierungsarbeiten zum Istzustand (Modellplausibilisierung, Ermittlung der HQ(T)-Werte für den Istzustand) erfolgten Abstimmungen mit der zuständigen Behörde (GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt). Diese Abstimmungen betrafen die Themenbereiche Abgrenzung des Einzugsgebietes, digitales Geländemodell (DGM), beobachtete Hochwasserereignisse als Grundlage der Modellplausibilisierung, Datengrundlagen der Landnutzung und Bodenbeschaffenheit, Gewässervermessung der Laucha und Hochwasserschutzmaßnahmen im Einzugsgebiet der Laucha (Beratung am 18. 5. 2010, E-mails vom 26. 5. 2010 und 8. 6. 2010, Schreiben vom 25. 5. 2010 und 31. 5. 2010).

Basierend auf dem anhand der beobachteten Niederschlagsereignisse plausibilisierten Modell erfolgten die Berechnungen der HQ(T)-Werte (HQ5, HQ10 und HQ100) in einem ersten Bearbeitungsschritt. Die Ergebnisse wurden dem GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt zur Beurteilung übergeben. Im Prozess der Abstimmung dieser Modellergebnisse mit dem GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt wurden in Hinblick auf das methodische Vorgehen bei der Modellierung von Niederschlagsereignissen mit geringer Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ5, HQ10) eine Reihe von Modifikationen vorgenommen bzw. Konventionen in Hinblick auf die Modellansätze berücksichtigt. In Bezug auf die vorgenommenen Änderungen besteht fachliches Einvernehmen mit dem GLD (Protokoll zur Besprechung beim GLD Sachsen-Anhalt am 18. 10. 2010 in Anlage 15.1). Die folgenden Annahmen bzw. Konventionen wurden modelltechnisch umgesetzt:

- Insbesondere die häufigeren Hochwässer entstehen durch lokal enger begrenzte Niederschläge im Bereich der Randlagen der Querfurter Platte. Entsprechend wurden nur die Teileinzugsgebiete AE1, AE2, AE4, AE5 und AE3 gemäß B14 Anl1.1 mit den Niederschlägen für T5, T10 und T100 nach KOSTRA überregnet. Alle weiteren Teileinzugsgebiete bleiben niederschlagsfrei.
- Auf Grund der Annahme, dass es sich bei den relevanten Regen mit geringerem Wiederkehrintervall (T5, T10) um Gewitter oder gewitterähnliche Niederschläge handelt, wurde eine vergleichsweise geringe Regendauer von drei Stunden ($D = 3$ h) angesetzt.
- Für die Regen mit Wiederkehrintervall T5 und T10 erfolgte gemäß der KOSTRA-Anleitung ein Aufschlag von 10 % der Niederschlagssumme. Da für hohe Wiederkehrwahrscheinlichkeiten (T100) von einer anderen Charakteristik der Niederschlagsereignisse auszugehen ist, wird in diesem Fall kein Aufschlag auf die Niederschlagssumme nach KOSTRA angesetzt.
- Da der Abfluss der Laucha stromunterhalb des AP 6 gemäß B14 Anl1.1 (etwa ab der Ortslage Bündorf) stark durch Retention auf Flächen im südlichen Vorfeld der Hochhalde

Schkopau und des Werksgebietes der Dow Olefinverbund GmbH (im Bereich und stromunterhalb der Mündung des Wertsgrabens) geprägt ist, werden die stromoberhalb zu erwartenden Hochwasserscheitel im weiteren Verlauf stark gedämpft. Zur Widerspiegelung des Retentionsverhaltens wurden die Fließgeschwindigkeiten im Gewässer im Bereich Bündorf bis Schkopau stark verringert.

- Die im Ergebnis der Modellüberarbeitung vorliegenden HQ(T)-Werte gelten für HQ100 nur bis zum AP 6. Für den Vergleich mit den durch den LHW Sachsen-Anhalt ermittelten Abflusswerten am Pegel Schkopau werden stromunterhalb des AP 6 die Ergebnisse der Berechnungen aus der ersten Bearbeitungsphase berücksichtigt.

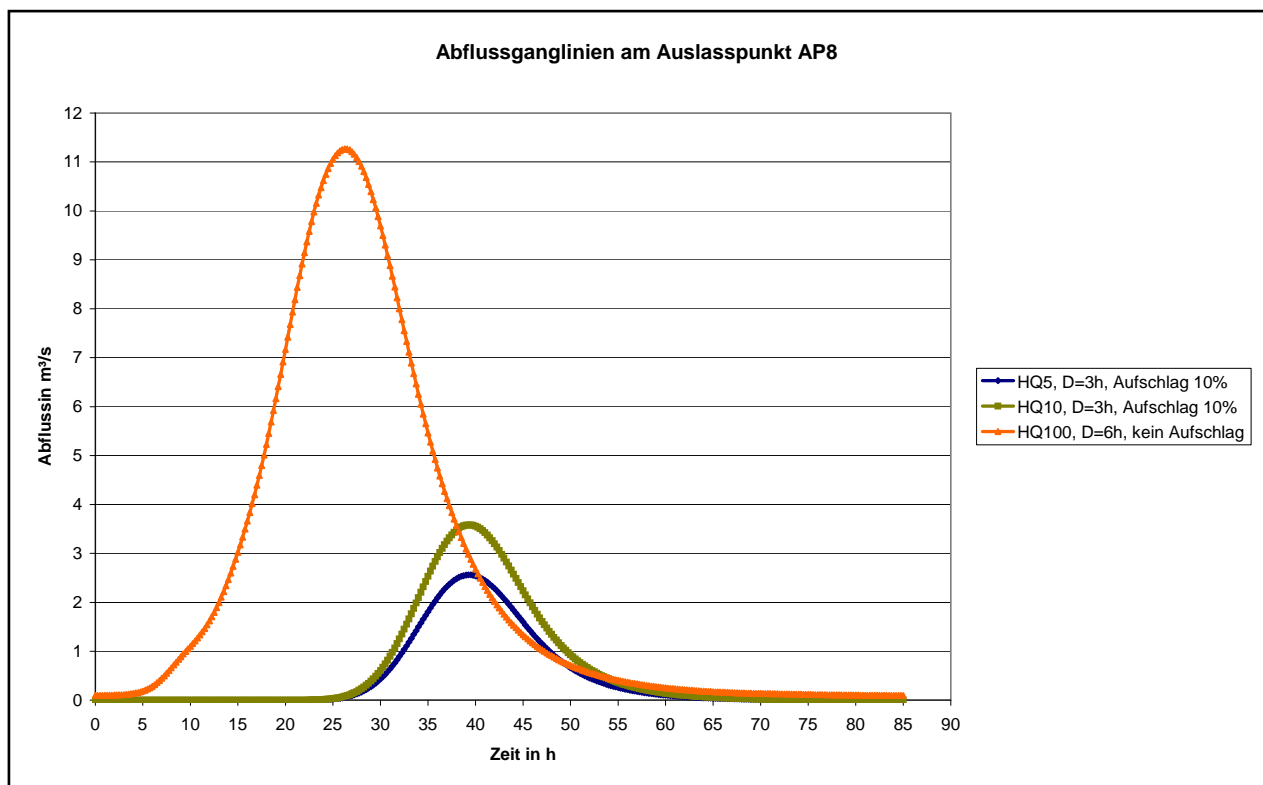


Abbildung 3: Berechnete Abflussganglinien für HQ5, HQ10 und HQ100 am Auslasspunkt AP 8 (Istzustand)

Wie bereits unter Punkt 4.2.5.3 dargelegt, wurden in der ersten Bearbeitungsphase zunächst nur Niederschlagsereignisse mit einer Dauer von 6 h, 9 h, 12 h und 18 h betrachtet. Nach den fachlichen Abstimmungen mit dem GLD (Protokoll zur Beratung am 18. 10. 2010 in Anlage 15.1) erfolgten die Berechnungen auf Basis der oben beschriebenen Modifikationen des Modells.

In Tabelle 4 sind die Scheitelabflüsse im Ergebnis der Modellberechnungen für HQ5, HQ10 und HQ100 zusammengestellt. Dargestellt sind hier auch die unter Berücksichtigung der geplanten HRB westlich von Schafstädt ermittelten Werte (weitere Erläuterungen hierzu unter Pkt. 6.3.2). Des Weiteren enthält Tabelle 4 die Scheitelabflusswerte nach Angaben des GLD bzw. LHW.

Sachsen-Anhalt und ermöglicht somit den Vergleich. Eine entsprechende Diskussion der Ergebnisse erfolgt unter Punkt 6.3.

Eine grafische Darstellung der berechneten Abflussganglinien für die Auslasspunkte AP 6 (Mündung der Schwarzeiche in die Laucha), AP 7 (Mündung Wertsgraben in die Laucha) und AP 8 (Mündung Laucha in die Saale, etwa Pegel Schkopau) für die Ereignisse HQ5, HQ10 und HQ100 ist in B14 Anl9.1 bis 9.3 enthalten. Die Abflusskurven für den AP 8 sind zusätzlich in Abbildung 3 dargestellt. Der AP 6 charakterisiert das Abflussverhalten vor dem Einsetzen der Retentionswirkung im Unterlauf der Laucha.

Entsprechend den in Tabelle 4 enthaltenen Werten ergeben sich die folgenden jeweils höchsten Scheitelabflusswerte bzw. HQ (T) und die zugehörigen Abflussfüllen am AP 8:

HQ 5: 2,6 m³/s (D = 3 h), abgeflossenes Volumen: 137.730 m³

HQ 10: 3,6 m³/s (D = 3 h), abgeflossenes Volumen: 188.550 m³

HQ 100: 11,3 m³/s (D = 6 h), abgeflossenes Volumen: 642.590 m³.

Tabelle 4: Berechnete HQ(T)-Werte auf Basis der KOSTRA-Regen (Istzustand)

Auslasspunkt gemäß B14 Anl1.1	Ergebnisse N-A-Modell				Angaben LHW/GLD		
		HQ5 in m³/s	HQ10 in m³/s	HQ100 in m³/s	HQ5 in m³/s	HQ10 in m³/s	HQ100 in m³/s
AP1	o. HRB	1,3	1,8	3,4	1,3	1,6	3,4
	m. HRB			1,6	1,3	1,47	1,8
AP2		1,5	2,1	4,0			
AP3	o. HRB	2,1	2,9	5,4	1,8	2,3	4,7
	m. HRB			3,3	1,8	2,1	2,7
AP6		2,8	3,9	7,3	2,0	3,26	8,1
AP7		2,6	3,7	11,3	3,9	5	11,3
AP8		2,6	3,6	11,3	4,0	5,1	11,6

Die Ermittlung des Abflusswertes für MQ ist anhand des Niederschlags-Abfluss-Modells nicht möglich, da in diesem Fall nicht der Direktabfluss, sondern der Basisabfluss bzw. der Abfluss von dem Gewässer zutretendem Grundwasser entscheidend ist. Die Abschätzung des MQ-Wertes ist somit über eine Betrachtung zur Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Laucha möglich. Auf Grund der hydrogeologischen Gegebenheiten kann das unterirdische Einzugsgebiet in etwa dem oberirdischen Einzugsgebiet gleichgesetzt werden. Hierbei spielt die urbane Beeinflussung von Teilen des Einzugsgebietes eine untergeordnete Rolle.

Bei einer Einzugsgebietsgröße von 100,7 km² (gemäß den durch den GLD übergebenen Daten) und einer mittleren Grundwasserneubildungsrate von 1,5 l/s*km² (nach IHU 2007) ergibt sich der Abfluss MQ zu

$$MQ = 1,5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2 \cdot 100,7 \text{ km}^2$$

$$MQ = 151 \text{ l/s bzw.}$$

$$MQ = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Der ermittelte MQ-Wert von 151 l/s entspricht recht gut dem für den Pegel Schkopau auf Basis der Reihe 1998 bis 2010 ausgewiesenen Wert von 121 l/s (Angaben des GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt).

5.3 Modellplausibilisierung und Diskussion der Ergebnisse

Wie bereits ausführlich dargestellt wurde, konnte die Modellplausibilisierung anhand von zwei Niederschlagsereignissen bzw. den korrespondierenden Beobachtungen des Abflusses der Laucha am Pegel Schkopau durchgeführt werden. Die vergleichende Darstellung der beobachteten Abflussganglinien und der Berechnungsergebnisse des Niederschlags-Abfluss-Modells in B14 Anl8.1 und 8.2 zeigt eine insgesamt gute Übereinstimmung. Hinsichtlich der Scheitelabflusswerte beträgt der Messwert am 31.12.2003 – 0,91 m³/s, 0,85 m³/s wurden berechnet. Am 20.01.2008 wurde ein Scheitelabfluss von 0,46 m³/s beobachtet, das Modell weist einen Wert von 0,47 m³/s aus. Die grafischen Darstellungen der Abflusskurven (B14 Anl8.1 und 8.2) zeigen ebenfalls eine befriedigende Übereinstimmung der Kurvenerstreckung, welche die Abflussfülle bzw. das Abflussvolumen charakterisiert. Die beobachteten Kurven weisen ein etwas stärkeres Tailing auf, welches für Nachlaufeffekte durch langsamere Abflusskomponenten charakteristisch ist. Aufgrund des geringen Ausmaßes dieser Effekte ist der Einfluss auf die Bewertung der Abflussscheitel vernachlässigbar.

Auf die Auswirkungen einer möglichen Abweichung im zeitlichen Verlauf der Ereignisse zwischen der Station Mücheln (Niederschlagsbeobachtung) und dem Einzugsgebiet der Laucha wurde bereits unter Punkt 4.2.5.1 hingewiesen. Die auftretenden Zeitdifferenzen zwischen dem beobachteten und dem berechneten Abflussscheitel betrugen 2 h bis 3 h und wurden in den vergleichenden Gangliniendarstellungen korrigiert.

Ein generelles Problem für die Modellplausibilisierung ergibt sich daraus, dass die zur Verfügung stehenden Niederschlagsereignisse nur geringe Intensitäten aufweisen. In Relation zum relativ hohen Infiltrationsvermögen der vorkommenden Böden ist die Niederschlagsintensität nicht hoch genug, um Oberflächenabfluss von den natürlichen, unbefestigten Flächen in relevanter Größenordnung generieren zu können. Damit resultieren die beobachteten Abflüsse der Laucha für die untersuchten Ereignisse, bis auf den oben diskutierten Basis-

abfluss, überwiegend aus der Flächenversiegelung. Insofern zeigen die Ergebnisse des Vergleichs der Beobachtungen mit den Modellergebnissen, dass die gewählten Bodenparametersätze für die Verlustberechnung im Falle von Niederschlägen geringer Intensität zutreffend sind. Die Gültigkeit bei extremen Starkniederschlägen konnte aufgrund fehlender Ausgangsdaten nicht überprüft werden.

In Hinblick auf die verwendeten KOSTRA-Regen wird darauf hingewiesen, dass für das Untersuchungsgebiet eine offensichtliche Diskrepanz zwischen den beobachteten Niederschlagsereignissen und den Angaben nach KOSTRA 2000 besteht. Über den betrachteten Zeitraum von 2000 bis 2009 wurden keine Niederschlagssummen größer 25 mm in 12 h aufgezeichnet. Die KOSTRA-Tabelle gibt bereits für $T = 2$ a einen Wert von 41,5 mm und für $T = 10$ a einen Wert von 63,5 mm als Niederschlagshöhe für die gleiche Zeitdauer an. Möglicherweise liegt hier ein erhebliches Risiko für die Überschätzung der Scheitelabflüsse bei Modellberechnungen auf Basis der KOSTRA-Daten vor.

Zusammenfassend kann das Ergebnis der Modellplausibilisierung als befriedigend eingeschätzt werden. Die beobachteten Abflüsse am Pegel Schkopau konnten anhand des Modells des Ist-Zustandes gut nachvollzogen werden.

Generell wurden die Parametersätze für den Verlustansatz entsprechend der vorhandenen Daten zur Flächennutzung und zur Bodenbeschaffenheit angesetzt. Mit diesen Parametersätzen konnten die beobachteten Abflussereignisse mit guter Näherung nachgerechnet werden. Obwohl das Modell bei den beobachteten Abflussereignissen nur wenig sensibel auf die Bodenparameter (insbesondere den Boden- k_r -Wert) reagiert, spricht dennoch nichts gegen eine Verwendung auch bei der Modellierung von Ereignissen mit höheren Abflüssen bzw. kleinerem Wiederkehrintervall. Dies trifft vorrangig auf die geforderte Berechnung des HQ100 zu. Im Ergebnis der Berechnungen zur Modellplausibilisierung kann somit eingeschätzt werden, dass das Modell des Istzustandes mit den Parametersätzen des Verlustansatzes auch bei der Berechnung von Ereignissen mit größerem Wiederkehrintervall ohne Einschränkungen verwendet werden kann. Das vorliegende Modell ist somit geeignet, um im Weiteren Prognoseberechnungen durchzuführen. Die nachfolgenden Betrachtungen zur Plausibilität des Modells im Zuge der Abstimmungen mit dem GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt bestätigen die Prognosefähigkeit des Modells.

Die in B14 Anl9.1 bis 9.3 dargestellten Ergebnisse der HQ(T)-Berechnungen für den Istzustand (Abflusskurven an den Auslasspunkten AP 6, AP 7 und AP 8) zeigen deutlich die Retentionswirkung im südlichen Vorfeld der Hochhalde Schkopau und des Werksgeländes der Dow Olefinverbund GmbH. Während die Abflussscheitel am Auslasspunkt AP 6 nur mit geringen zeitlichen Differenzen eintreffen, zeigt sich an den Auslasspunkten AP 7 und AP 8 sehr deutlich die für die Ereignisse HQ5 und HQ10 angesetzte Verringerung der Fließzeit. Dies

führt gleichfalls zu einem geringeren Abflussscheitelwert am AP 8. Die berechneten Abflussscheitelwerte am AP 8 betragen für HQ5 2,6 m³/s und für HQ10 3,6 m³/s.

Die Berechnungen auf Basis der KOSTRA-Regen ergaben für das HQ100 am Auslasspunkt AP 8 bzw. den Pegel Schkopau einen Scheitelabfluss von 11,3 m³/s. Dieser Wert erscheint in Hinblick auf die Charakteristik des Einzugsgebietes zwar hoch, es ist aber zu beachten, dass die Basis der Berechnung der KOSTRA-Regen mit T = 100 a und D = 6 h ist. Dieser weist sowohl eine beträchtliche Niederschlagssumme (70,7 mm) als auch eine hohe Intensität auf (durchschnittlich 11,78 mm/h).

Der Vergleich der berechneten Abflussscheitelwerte mit den Angaben des GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt (Tabelle 4) zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung. Auch an den im Oberlauf der Laucha gelegenen Auslasspunkten AP 1 und AP 2 liegen die Differenzen in einem tolerablen Rahmen. Auch der HQ100-Wert am AP 8 (Gesamtgebiet) differiert mit 11,3 m³/s (Niederschlags-Abfluss-Modell) nur geringfügig von den Angaben des GLD (11,6 m³/s).

Sowohl die verwendeten Modellansätze als auch die ermittelten HQ(T)-Werte für den Istzustand und damit die Akzeptanz des Niederschlags-Abfluss-Modells wurde durch den GLD mit der E-mail vom 21. 10. 2010 (B14 Anl5.2) bestätigt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden die Modellberechnungen für den Planzustand der Hochhalde Schkopau durchgeführt.

6 Niederschlags-Abfluss-Modellierung für den Planzustand

6.1 Erläuterungen zum Planungskonzept für die Hochhalde Schkopau

Die Planungen im Rahmen der Sanierung der Hochhalde Schkopau umfassen im Wesentlichen zwei Vorhaben. Zum einen laufen z. Z. die Planungsarbeiten im Rahmen der Generalplanung zur Stilllegung der Hochhalde Schkopau. Dabei werden insbesondere das Oberflächenabdeckungssystem einschließlich der Böschungsgestaltung und das Entwässerungssystem (Fassung und Ableitung des Oberflächenwassers sowie die Fassung, Aufbereitung und Ableitung des aus dem Haldenbereich abströmenden kontaminierten Grundwassers) planerisch weiterentwickelt.

Als zweites wesentliches Vorhaben plant die MDSE GmbH im Rahmen der Sanierung der Hochhalde Schkopau die Umverlegung der Laucha aus dem eigentlichen Deponiebereich heraus.

In Bezug auf die Niederschlags-Abfluss-Modellierung ergeben sich daraus mehrere Ansätze für die Modifizierung des Modells des Istzustandes bzw. die zu modellierenden Planvarianten. Die folgenden Änderungen betreffen alle betrachteten Planvarianten:

- Profilierung der Oberfläche der Hochhalde Schkopau mit den Veränderungen in der Morphologie der Haldenoberfläche
- Anlage der Entwässerungsgräben zur Sammlung und Ableitung des auf der Haldenoberfläche anfallenden Niederschlagswassers
- Umverlegung der Laucha im südlichen Vorfeld der Hochhalde Schkopau
- Die bereits erfolgte Umlagerung der Altdeponie 1 mit der resultierenden Geländeänderung ebenfalls im südlichen Vorfeld der Hochhalde Schkopau

Folgende Varianten wurden für die Gestaltung der Oberflächenabdeckung untersucht:

- Oberflächenabdeckung bzw. Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
- Oberflächenabdeckung bzw. Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert $9 \cdot 10^{-6}$ m/s (natürliche Böden aus dem Umland der Hochhalde Schkopau)
- Oberflächenabdeckung bzw. Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert $2 \cdot 10^{-6}$ m/s (natürliche Böden aus dem Umland der Hochhalde Schkopau).

Die Planung des Oberflächenabdeckungssystems einschließlich der Böschungsgestaltung und des Entwässerungssystems gingen zunächst davon aus, dass ein Rückhalt des von der Hochhalde Schkopau über Fassungselemente abfließenden Niederschlagswassers nicht realisiert wird (Planungsstand 2011). Im Weiteren ergab sich in Abstimmung mit der zuständigen Behörde die Notwendigkeit, den Einleitwert für die Summe der punktuellen Einleitungen

von Niederschlagswasser in die Laucha für die Hochhalde Schkopau auf 0,505 m³/s zu begrenzen. Damit machten sich Anpassungen bzw. Fortschreibungen der Planung unter Berücksichtigung von Rückhaltemaßnahmen verbunden mit zusätzlichen Untersuchungen zu den verwendeten Abdeckungsmaterialien und zur Struktur des Entwässerungssystems erforderlich. Diese Planungen sind derzeit noch in Bearbeitung, endgültige Ergebnisse liegen noch nicht vor. Gesichert ist aber, dass infolge der Rückhaltungen die von den Flächen der Hochhalde Schkopau abfließende Welle nicht unmittelbar in die Laucha eingeleitet wird. Für die Laucha wird vielmehr der Drosselabfluss wirksam, der am Auslass der Rückhaltungen auftritt. D. h., die in die Laucha eingeleitete Wassermenge bzw. der Scheitel der eingeleiteten Welle ist nicht vom Flächenabfluss abhängig, sondern allein vom Drosselabfluss der Rückhaltungen. Die Veränderungen infolge der geänderten Planungen hinsichtlich der verwendeten Abdeckungsmaterialien und der Struktur des Entwässerungssystems haben somit keine Auswirkungen auf die Beeinflussung der Laucha durch Einleitungen von Niederschlagswasser aus dem perspektivischen Entwässerungssystem der Hochhalde Schkopau.

6.2 Modifikation des Niederschlags-Abfluss-Modells für den Planzustand

Um die Auswirkungen der geplanten Gestaltung der Hochhalde Schkopau modelltechnisch abbilden zu können, wurde das Modell des Istzustandes entsprechend modifiziert. Dies betraf vorrangig die Gestaltung der Morphologie der Hochhalde Schkopau und das System der geplanten Entwässerungsgräben. Grundlage für die Änderungen waren die durch die ICL GmbH erarbeiteten Planunterlagen zur Profilierung der Oberfläche der Hochhalde Schkopau und zum Entwässerungskonzept. Die entsprechenden Daten (Stand Oktober 2010) wurden durch die ICL GmbH in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Wie bereits dargestellt, berücksichtigte dieses Entwässerungskonzept keinen Rückhalt des von der Hochhalde Schkopau abfließenden Niederschlagswassers.

Auf Grund der Struktur des Gesamtmodells (Flächengröße, Fließgewässerlängen) kann das Entwässerungskonzept nicht in allen Details im Niederschlags-Abfluss-Modell umgesetzt werden. Hinsichtlich der Entwässerungsflächen und –gräben ist es erforderlich, die zahlreichen, detaillierten Einzelflächen und –gräben zu größeren Einheiten zusammenzufassen. Dies wurde so ausgeführt, dass die grundlegenden Strukturen erhalten bleiben. Die Zuordnung der Teilflächen der Hochhalde Schkopau zu den Hauptentwässerungsgräben und über diese letztlich zu den im Entwässerungskonzept definierten Übergabepunkten zur Laucha entspricht dem Entwässerungskonzept.

Eine Vorstellung zu den Veränderungen in der Morphologie der Haldenoberfläche vermitteln die 3D-Ansichten in B14 Anl10.1 und 10.2. Alle 3D- Ansichten in B14 Anl10.1 bis 10.4 sind mit fünffacher Überhöhung dargestellt. Während die Oberfläche der Hochhalde Schkopau im jetzigen Zustand (B14 Anl10.1) Senken aufweist, auf denen kein Oberflächenabfluss entsteht, ist nach der Profilierung (B14 Anl10.2) ein allseitiger Oberflächenabfluss gewährleistet. Ziel der

Profilierung ist u. a. die Minimierung des Sickerwasseranfalls auf der Hochhalde Schkopau. Den allseitigen Abfluss zeigen auch die 3D-Darstellungen der Fließwege von auf der Haldenoberfläche gestarteten Wasserteilchen (B14 Anl10.3 und 10.4). Zu beachten ist das steile Gefälle aller Böschungen des Haldenkörpers im Planzustand. Das Gefälle der geplanten Böschungen wird durchschnittlich zwischen minimal 10 % und maximal 20 % liegen, wobei die Neigungen meist zwischen 12 % und 15 % betragen. Die Hochhalde Schkopau stellt nach der Oberflächengestaltung/Profilierung damit eine sehr steile Aufragung in einem ansonsten durch flache Hangneigungen geprägten natürlichen Einzugsgebiet dar. Diese sehr großen Unterschiede zwischen der Morphologie des natürlichen Einzugsgebietes der Laucha und der Hochhalde Schkopau im Planzustand bedingen ein stark differierendes Abflussverhalten. Der Oberflächenabfluss von der Hochhalde Schkopau wird um Größenordnungen schneller erfolgen als der aus dem natürlichen Einzugsgebiet.

Anhand des DGM des Planungszustandes und des Systems der Entwässerungsgräben aus dem Entwässerungskonzept wurde das modifizierte Niederschlags-Abfluss-Modell für den Bereich der Hochhalde Schkopau aufgebaut. B14 Anl10.5 veranschaulicht die sich ergebende Modellstruktur (Teileinzugsgebiete, Entwässerungselemente, Übergabe- bzw. Auslasspunkte). Im Ergebnis liegen für den Haldenbereich elf Teileinzugsgebiete mit Flächengrößen zwischen 0,01 km² und 0,74 km² vor. In B14 Anl11.1 sind die allgemeinen Angaben zu den Einzugsgebieten zusammengestellt. Übergabepunkte bezeichnen im Rahmen des Entwässerungskonzeptes Ortspunkte, an denen das auf der Haldenoberfläche anfallende Niederschlagswasser vom Entwässerungssystem an die Laucha übergeben werden soll.

Entsprechend der Charakteristik der Abdeckung der Hochhalde Schkopau durch natürliche Böden und in Anlehnung an die bei der Wasserhaushaltsmodellierung verfolgte Methodik wurde für den Haldenbereich im Planzustand nicht der Verlustansatz nach GREEN & AMPT, sondern nach dem SCS-Verfahren umgesetzt. Der wesentliche Parameter dieses Verfahrens ist der CN-Wert, de facto ein Abflussbeiwert, der in erster Linie in Abhängigkeit vom vorgesehenen k_f -Wert der Abdeckung angesetzt wurde. Es wurden drei Szenarios des Materials zur Abdeckung der Hochhalde Schkopau untersucht. Zum einen war dies eine Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s zum anderen zwei Bodenarten, die im Umfeld der Hochhalde Schkopau verfügbar sind. Die natürlichen Böden weisen k_f -Werte von $9 \cdot 10^{-6}$ m/s und $2 \cdot 10^{-6}$ m/s auf. Die abgeleiteten CN-Werte der Teileinzugsgebiete der Hochhalde Schkopau sind in B14 Anl11.2 zusammengestellt.

Für die neuen Teileinzugsgebiete der Hochhalde Schkopau mussten des Weiteren die Verzögerungszeiten als Parameter der Einheitsganglinien zur Beschreibung der Abflusskonzentration berechnet werden. Abweichend von der Vorgehensweise bei der Betrachtung der natürlichen Einzugsgebiete kam hier das Verfahren nach TAYLOR & SCHWARTZ, welches in Hinblick auf die vorliegende Morphologie besser zur Beschreibung des Prozesses geeignet ist,

zum Einsatz. Die Angaben zu den morphometrischen Kenngrößen der Gebiete und die sich ergebenden Verzögerungszeiten sind in B14Anl11.3 zusammengestellt.

Wie bereits unter Pkt. 6.1 erläutert, wurden die weiteren Fortschreibungen der Planungen nach 2011 im Niederschlags-Abfluss-Modell nicht nachvollzogen, da die Rückhaltemaßnahmen nur für Niederschlagsereignisse bis zu einem Wiederkehrintervall $T = 10$ a bemessen werden. Zum anderen wird infolge der Rückhaltungen die von den Flächen der Hochhalde Schkopau abfließende Welle nicht unmittelbar in die Laucha eingeleitet. Für die Laucha wird damit nur der Drosselabfluss wirksam, der am Auslass der Rückhaltungen auftritt und die in die Laucha eingeleitete Wassermenge bzw. der Scheitel der eingeleiteten Welle ist nicht vom Flächenabfluss abhängig, sondern allein vom Drosselabfluss der Rückhaltungen.

Weitere Änderungen der Modellstruktur (TIN zur Beschreibung der Geländeoberfläche) im Planungszustand waren im südlichen Umfeld der Hochhalde Schkopau erforderlich. Diese betrafen die umverlegte Laucha, die Umlagerung der Altdeponie 1 und den Lauchaaltverlauf zwischen Abzweig der umverlegten Laucha und dem Canyon. Diese Änderungen bezogen sich ausschließlich auf die Morphologie der natürlichen Einzugsgebiete. In der 3D-Ansicht (mit fünffacher Überhöhung) in B14 Anl10.2 ist beispielsweise der Einschnitt der umverlegten Laucha unmittelbar südlich der Altdeponie 2 deutlich zu erkennen. B14 Anl10.5 gibt einen Überblick zur Lage der von den Änderungen betroffenen Strukturelemente des Geländes.

Eine weitere Änderung des Niederschlags-Abfluss-Modells war erforderlich, um die geplanten HRB westlich der Ortslage Schafstädt, also im Oberlauf der Laucha, in den Berechnungen zum Planzustand abzubilden. Zu diesem Zweck wurden an den beiden Beckenstandorten (Laucha und Springbach) zusätzlich Auslasspunkte eingefügt und diesen die Speicherbecken zugeordnet. Die Lage der geplanten HRB geht aus B8 Anl1.2 hervor.

Die Abbildung der Becken im Niederschlags-Abfluss-Modell erfolgt über Abfluss-Speichervolumen-Ganglinien. Die erforderlichen Angaben zur Aufstellung der Ganglinien konnten den Angaben nach INROS LACKNER AG, 2010 entnommen werden. Auf eine detaillierte Abbildung der Drosselabflussganglinien, die auf Grund der geregelten Drossel sehr komplex sind, wurde im Niederschlags-Abfluss-Modell verzichtet. Die gewählte Näherungslösung weist eine in Hinblick auf die Zielstellung ausreichende Genauigkeit auf. D. h. der Einfluss der HRB auf die Abflusswelle der Laucha im Unterlauf (Bereich der Hochhalde Schkopau), insbesondere auf deren Überlagerung mit der Abflusswelle von den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau, kann mit hinreichender Genauigkeit untersucht werden. Die Abfluss-Speichervolumen-Ganglinien der beiden geplanten HRB sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Abfluss-Speichervolumen-Ganglinien der geplanten HRB westlich Schafstätt

HRB Laucha				
Abfluss Q in m ³ /s	0,65	0,72	0,8	0,83
Speichervolumen V in m ³	2.500	6.500	14.500	35.000
HRB Springbach				
Abfluss Q in m ³ /s	0,47	0,54	0,6	0,7
Speichervolumen V in m ³	3.000	7.500	15.000	42.000

Aus den Angaben des GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt (Tabelle 4) und auch aus den Planungsunterlagen nach INROS LACKNER AG, 2010 (die Drosselabflüsse der beiden HRB bewegen sich im Bereich der HQ5- bis HQ25-Abflüsse der Teileinzugsgebiete ohne Rückhalt) wird deutlich, dass eine nennenswerte Auswirkung der Rückhaltemaßnahme erst bei HQ(T) größer HQ10 zu erwarten ist. Die Berücksichtigung der Auswirkung der HRB erfolgte entsprechend nur in einer Modellvariante für die Berechnung des HQ100.

6.3 Ergebnisse des modifizierten Niederschlags-Abfluss-Modells für den Planzustand

6.3.1 Nachrechnung der Abflüsse von der Hochhalde Schkopau

In einem ersten Bearbeitungsschritt der Niederschlags-Abfluss-Modellierung für den Planzustand der Hochhalde Schkopau erfolgte ein Abgleich mit den Ergebnissen der Untersuchungen nach ICL, 2010 (keine Berücksichtigung von Rückhaltemaßnahmen). Mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell wurden dementsprechend zunächst allein die Abflüsse von den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau (ohne Kombination mit den Abflüssen aus dem natürlichen Einzugsgebiet) berechnet. Der gesamte Abfluss von der Hochhalde Schkopau wird dabei in einer Ganglinie zusammengefasst, obwohl die Einleitung in die Laucha tatsächlich an mehreren Übergabepunkten stattfinden soll.

Die Niederschlags-Abfluss-Modellierung betrachtet die hydrologischen Zustände HQ5, HQ10 und HQ100. Die Untersuchungen bei ICL, 2010 erfolgten aber für die Zustände HQ2, HQ10 und HQ50, d. h., dass nur das HQ10 in beiden Bearbeitungen zu untersuchen war. Um eine bessere Grundlage für den Abgleich zwischen dem Niederschlags-Abfluss-Modell und den Wasserhaushaltsberechnungen (ICL, 2010) zu schaffen, wurde in die Berechnungen mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell zusätzlich die Untersuchung für HQ2 aufgenommen.

In ICL, 2010 erfolgten umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung der maßgebenden Regendauern für die verschiedenen hydrologischen Zustände. Im Ergebnis wurde für das Ereignis HQ2 eine maßgebliche Regendauer von ca. 90 min und für die Ereignisse mit geringerer Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ10, HQ50) von ca. 1 h ermittelt. Diese Angaben wurden im Weiteren auch den Modellberechnungen mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell zu Grunde gelegt. In den Untersuchungen zur Wasserhaushaltsmodellierung (ICL, 2010) erfolgten keine Auf- oder Abschlüsse auf die bzw. von den Niederschlagssummen nach KOSTRA. Da die Vergleichbarkeit zu deren Ergebnissen gewahrt werden musste, wurde bei der Niederschlags-Abfluss-Modellierung analog verfahren. Die Niederschlagsverteilungen für die Regen $T = 5$ a, $T = 10$ a und $T = 100$ a mit jeweils $D = 1$ h sind in B14 Anl2.5, 2.6 und 2.8. und für den zusätzlich betrachteten Regen $T = 2$ a ($D = 90$ min) in B14 Anl2.10 dargestellt.

Im Ergebnis der Berechnungen liegen die Abflusskurven für die gesamte Hochhalde Schkopau im Planzustand für die drei untersuchten Varianten der Oberflächenabdeckung und die hydrologischen Zustände HQ2, HQ5, HQ10 und HQ100 vor (B14 Anl12.1, 12.3 und 12.5). Exemplarisch sind die berechneten Ganglinien für den Fall der Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit k_f -Wert $= 1 \cdot 10^{-7}$ m/s in Abbildung 4 dargestellt. Auf Grund der Struktur des Entwässerungssystems, der nördliche Teil der Hochhalde entwässert über den ÜP 4 entsprechend B14 Anl10.5, der südliche Teil zur umverlegten Laucha, ist der erste Auslasspunkt, der alle Abflüsse von der Hochhalde Schkopau erfasst, der AP 7 gemäß B14 Anl1.1. Die dargestellten Ganglinien sind entsprechend dem AP 7 zuzuordnen.

Der Vergleich der ermittelten Abflussscheitelwerte des Niederschlags-Abfluss-Modells mit denen nach ICL, 2010 für die Oberflächenabdeckung mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s zeigt für die hydrologischen Zustände HQ2 und HQ10 eine gute Übereinstimmung (vgl. Abbildung 4 und B14 Anl12.1). Für die weiteren Varianten der Oberflächenabdeckung (B14 Anl12.3 und 12.5) sind die Abweichungen zwar etwas höher, liegen aber in einem tolerablen Bereich.

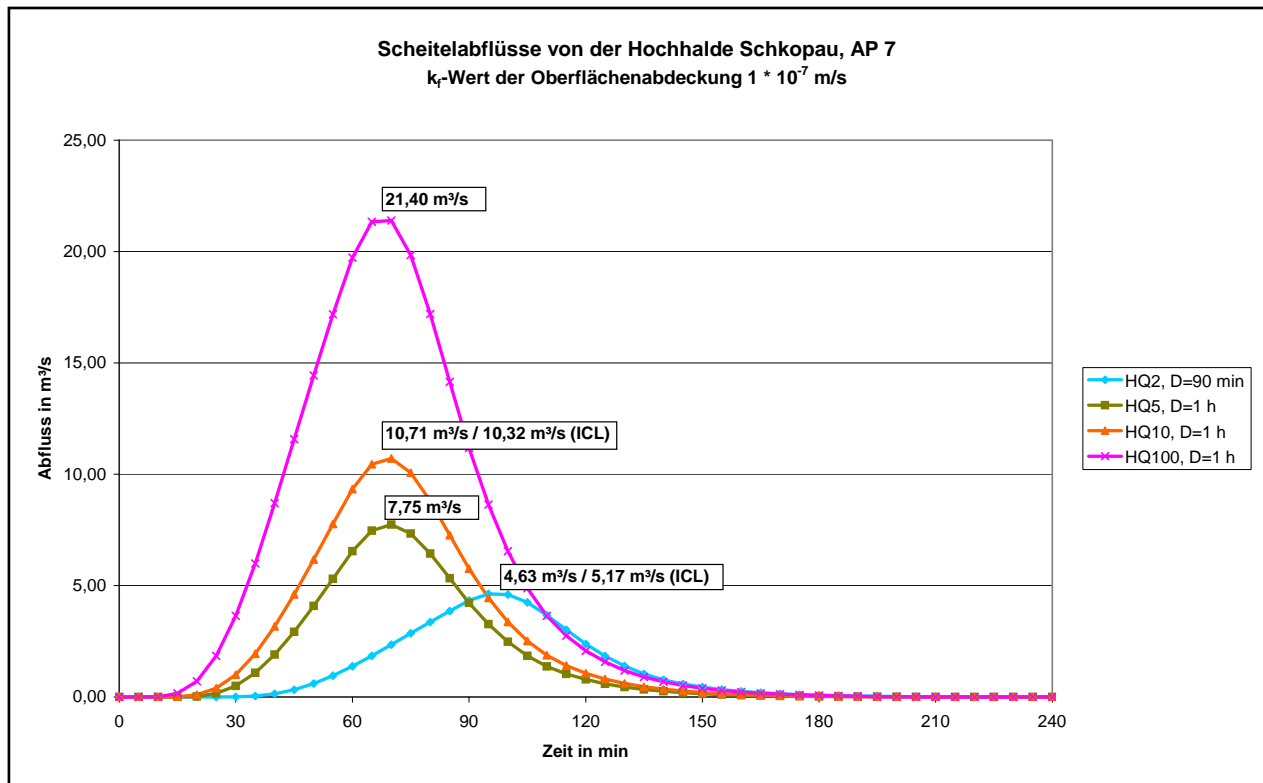


Abbildung 4: Abflussganglinien für HQ 2, HQ 5, HQ 10 und HQ 100, Planzustand
 (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA
 ohne Aufschlag)

Die Berechnungsergebnisse für HQ100 zeigen, dass die geplante Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert = $1 \cdot 10^{-7}$ m/s zu einem sehr hohen Scheitelabfluss (21,4 m³/s) führt. Auf Grund der kurzen Regendauer mit hoher Intensität und der Morphologie der Hochhalde Schkopau im Planzustand (starke Hangneigungen der profilierten Flächen) ist die Abflusswelle aber sehr kurz. Nach ca. 3 h ist sie fast vollständig abgeklungen.

Diese Berechnungsvariante (Regen $T = 100$, $D = 1$ h, Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert = $1 \cdot 10^{-7}$ m/s) stellt in Bezug auf die kurzfristige hydraulische Belastung der Laucha stromunterhalb der Einleitungen durch die Hochhalde Schkopau im Planzustand den ungünstigsten Fall dar. Auf Grund der kurzen Dauer der Abflusswelle und des damit verbundenen relativ geringen Abflussvolumens von ca. 67.000 m³ (vgl. B14 Anl12.2) ist hier aber ein sehr starker Einfluss der Retention stromunterhalb der Einleitung und damit verbunden eine starke Dämpfung des Abflussscheitels zu erwarten. Die Berechnungen zu den weiteren Varianten der Oberflächenabdeckung der Hochhalde Schkopau (Bodenmaterialien aus dem Umland mit $k_f = 9 \cdot 10^{-6}$ m/s bzw. $2 \cdot 10^{-6}$ m/s) ergeben deutlich geringere Scheitelabflüsse als bei Berücksichtigung der Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit einem k_f -Wert = $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Beim Bodenmaterial mit einem k_f -Wert von $9 \cdot 10^{-6}$ m/s sinkt der Scheitelabfluss für HQ100 nahezu auf die Hälfte (vgl. B14 Anl12.3) und entspricht mit 11,4 m³/s fast genau dem Scheitelwert des HQ100 aus dem

natürlichen Einzugsgebiet der Laucha. Bei einem k_f -Wert der Oberflächenabdeckung von $2 \cdot 10^{-6}$ m/s liegt der Scheitelabfluss für HQ100 mit 14,8 m³/s noch deutlich über dem Wert des natürlichen Einzugsgebietes. Etwa proportional zur Abnahme der Scheitelabflüsse verringern sich die Abflussvolumen (B14 Anl12.4 und B14 Anl12.6) bei Erhöhung der k_f -Werte der Oberflächenabdeckung. In Hinblick auf die Retentionswirkung der Flächen stromunterhalb der geplanten Einleitungen von der Hochhalde Schkopau ist bei den verringerten Abflussvolumina mit einer noch wesentlich stärkeren Dämpfung der Abflussscheitelwerte zu rechnen, als dies beim k_f -Wert der Oberflächenabdeckung von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s der Fall ist. Die zu erwartenden Ausuferungen werden demnach geringer sein.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die ermittelten Scheitelabflüsse, die sich als kumulative Werte der Abflüsse aller Teileinzugsgebiete der Hochhalde Schkopau ergeben, sehr hoch sind und für HQ100 das Doppelte des Abflusses aus dem natürlichen Einzugsgebiet betragen. Allerdings weisen die Abflüsse aufgrund der kurzen Regendauer nur eine geringe Fülle (abfließendes Wasservolumen) auf. Dies ist in Hinblick auf das vorhandene, hohe Retentionspotential von Bedeutung und lässt aufgrund dessen vergleichsweise geringe Ausuferungen der Laucha erwarten.

Die Scheitelabflüsse, welche aus den Wassermengen, die perspektivisch vom geplanten Entwässerungssystem der Hochhalde Schkopau in den Abschnitt der umverlegten Laucha südlich der Hochhalde Schkopau eingeleitet werden sollen, resultieren, sind im Fall des HQ100 ebenfalls sehr hoch. Sie werden aber kleiner sein als der Scheitelabfluss aus dem natürlichen Einzugsgebiet, da der Flächenanteil der Hochhalde, der nach Süden entwässert, deutlich kleiner ist, als der nördlich entwässernde Bereich. Aus hydrologischer Sicht ist damit bei der Auslegung der Querbauwerke für HQ100 in diesem Bereich der Scheitelanfluss aus dem natürlichen Einzugsgebiet maßgebend. Eine abschließende Aussage zu dieser Problematik ist aber nur auf Grundlage der hydraulischen Modellierung (vergl. Band B14) möglich.

6.3.2 Nachrechnung der Abflüsse für das gekoppelte System Gesamteinzugsgebiet der Laucha und Hochhalde Schkopau im Planzustand

In einem zweiten Bearbeitungsschritt wurde die Berechnung mit der Überlagerung der Abflüsse aus dem Gesamteinzugsgebiet der Laucha mit denen für die Hochhalde Schkopau im Planzustand vorgenommen. Auch hier berücksichtigen die Szenarios keine Rückhaltemaßnahmen. Es wurden wiederum die drei Varianten der Oberflächenabdeckung der Hochhalde Schkopau für die hydrologischen Zustände HQ5, HQ10 und HQ100 betrachtet. Da das HQ100 für das natürliche Gesamteinzugsgebiet durch einen Regen mit einer Dauer von 6 h hervorgerufen wird, erfolgte in diesem Fall auch die Überregnung der Einzugsgebiete der Hochhalde Schkopau mit diesem Regen. Durch die Kombination Oberflächenabdeckung mit einem k_f -Wert von $1 \cdot 10^{-7}$ m/s und Überregnung mit dem Regen $T = 100$ a, $D = 6$ h wird insbesondere in Hinblick auf die Wirkung der Retention stromunterhalb des Bereiches der Hochhalde Schkopau

der ungünstigste Fall bezüglich möglicher Ausuferungen und Überflutungen untersucht, da es hierbei zum größten abfließenden Wasservolumen kommt.

Die berechneten Abflussganglinien für den Auslasspunkt AP 7, der das Gesamteinzugsgebiet bis zum AP 6 und die stromabwärts liegenden Bereiche einschließlich der Hochhalde Schkopau bis zum Ende der verlegten Laucha erfasst, sind in B14 Anl13.1 bis 13.9 dargestellt. Abbildung 5 zeigt exemplarisch die Abflussganglinie für das Ereignis HQ100.

Zunächst zeigt die Auswertung für alle HQ (T) eindeutig, dass es aufgrund der sehr unterschiedlichen Charakteristik des natürlichen Einzugsgebietes und der Einzugsgebiete der Hochhalde Schkopau im Planzustand zu keiner relevanten Überlagerung der beiden Abflusswellen kommt.

Das HQ100 des natürlichen Einzugsgebietes stellt auch nach Umgestaltung der Hochhalde Schkopau einschließlich der Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht mit k_f -Wert = $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, den ungünstigsten Fall in Hinblick auf die Beanspruchung des Retentionsraumes und daraus resultierender Ausuferungen dar. Der Einfluss des vorlaufenden Abflusses aus den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau auf die Retentionswirkung ist aufgrund der geringen Abflussfülle nur klein. In diesem Fall liegt auch der Abflussscheitelwert des Abflusses von der Hochhalde Schkopau unter dem des Wertes für das natürliche Einzugsgebiet (B14 Anl13.3). Bei den weiteren Varianten der Oberflächenabdeckung (k_f -Wert = $9 \cdot 10^{-6}$ m/s und $2 \cdot 10^{-6}$ m/s) liegt für die Betrachtung des HQ100 sowohl das abfließende Volumen als auch der Scheitelabfluss von den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau sehr deutlich unter denen des natürlichen Einzugsgebietes der Laucha. Eine Verschlechterung der Hochwassersituation durch die zusätzliche Einleitung des von der Hochhalde Schkopau abfließenden Oberflächenwassers ist somit nicht zu befürchten.

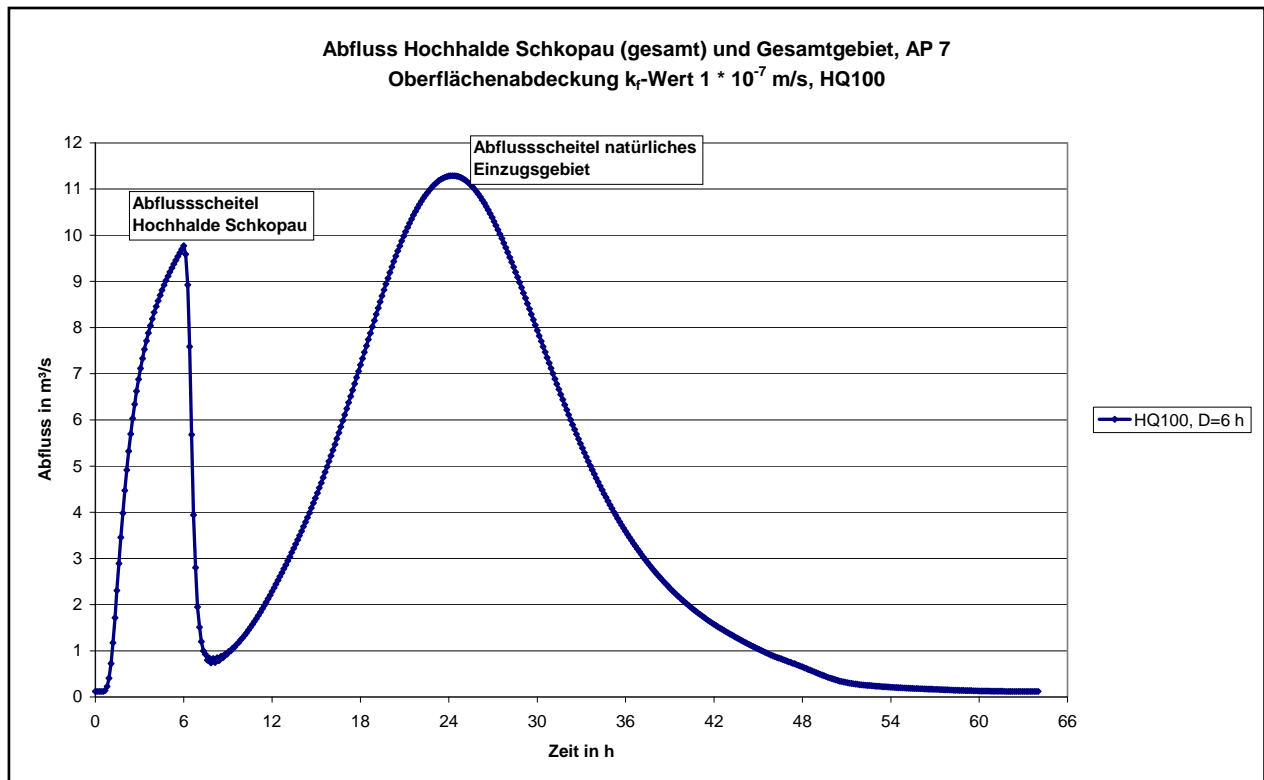


Abbildung 5: Berechnete Abflussganglinie für HQ 100, Planzustand (Oberflächenabdeckung k_f -Wert $1 \cdot 10^{-7}$ m/s, Niederschlagssumme nach KOSTRA ohne Aufschlag)

Im Falle der Ereignisse HQ5 und HQ10 liegen zwar die Scheitelabflusswerte für die Einzugsgebiete der Hochhalde Schkopau insgesamt über denen des natürlichen Einzugsgebietes der Laucha, die abfließenden Wasservolumina sind aber deutlich geringer. Für den Fall mit der größten Differenz zwischen dem Scheitelabflusswert von den Einzugsgebieten der Hochhalde Schkopau ($7,75 \text{ m}^3/\text{s}$) und aus dem natürlichen Einzugsgebiet ($2,6 \text{ m}^3/\text{s}$), dieser tritt bei HQ5, Oberflächenabdeckung mit einer Wasserhaushaltsschicht von k_f -Wert $= 1 \cdot 10^{-7}$ m/s auf, beträgt das abfließende Volumen von der Hochhalde Schkopau im Planzustand nur 22.300 m^3 gegenüber 137.700 m^3 (vergl. Punkt 6.2) aus dem natürlichen Einzugsgebiet der Laucha. Bei Abdeckung der Hochhalde Schkopau mit den weiteren untersuchten Bodenmaterialien (höhere k_f -Werte) wird die Differenz der Abflussscheitelwerte immer geringer und die der abfließenden Wasservolumina immer größer. D. h., die Situation stellt sich hinsichtlich der zu erwartenden Einflüsse der Abflüsse von der Hochhalde Schkopau auf das Hochwassergeschehen immer günstiger dar.

Wie bereits dargelegt, verändert sich das Abflussverhalten unter Berücksichtigung von Maßnahmen zum Rückhalt des von der Hochhalde abfließenden Niederschlagswassers dahingehend, dass sich der auf Basis des z. Z. vorgegebenen Einleitwertes in die Laucha erforderliche Drosselabfluss von $0,505 \text{ m}^3/\text{s}$ mit dem Scheitelabfluss aus dem natürlichen Einzugsgebiet aller Voraussicht nach überlagern wird. D. h. der Scheitelabfluss von $11,3 \text{ m}^3/\text{s}$ gemäß dem Ergebnis der Niederschlags-Abfluss-Modellierung wird sich um $0,505 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $11,805 \text{ m}^3/\text{s}$

erhöhen. Dieser Wert liegt aber noch deutlich unter dem für HQ(EXTREM) von 12,4 m³/s. Damit wird sich die Hochwassersituation stromunterhalb der Hochhalde Schkopau durch die Einleitungen des Niederschlagswassers von der Hochhalde Schkopau in Hinblick auf die Verhältnisse bei HQ(EXTREM) nicht verschlechtern. Im Fall des Versagens der Rückhaltungen wird der Abfluss von der Hochhalde Schkopau wesentlich schneller erfolgen als der aus dem natürlichen Einzugsgebiet. Dadurch kommt es nicht zu einer Überlagerung der beiden Teilwellen des Gesamtabflusses (natürliches Einzugsgebiet der Laucha, Einzugsgebiet der Hochhalde Schkopau) und damit nicht zu einer Erhöhung des Scheitelwertes des Gesamtabflusses über den Wert des natürlichen Einzugsgebietes hinaus.

Auch die berechneten Abflussganglinien für die Abflüsse von der Hochhalde Schkopau gekoppelt mit dem Abfluss aus dem natürlichen Einzugsgebiet der Laucha wurden dem Bearbeiter des hydraulischen Modells der Laucha als Randbedingungen zur Verfügung gestellt. Im Ergebnis der instationären, zweidimensionalen Modellierung des Abflussgeschehens in der Laucha erfolgt die Bewertung der Ausuferungen und Überflutungen durch die Laucha für die verschiedenen Hochwasserszenarios.

In einer weiteren Modellvariante wurde der Einfluss der geplanten HRB westlich der Ortslage Schafstädt auf die Abflusswelle aus dem Gesamteinzugsgebiet gekoppelt mit den Abflüssen von der Hochhalde Schkopau untersucht. Wie bereits unter Punkt 7.1 dargelegt, erfolgt die Betrachtung nur für HQ100. Die berechnete Abflussganglinie am AP 7 ist B14 Anl14.1 dargestellt. Zusätzlich werden die Abflussganglinien für die Auslasspunkte AP 1 und AP 3 in B14 Anl14.2 und 14.3 dargestellt, um die Auswirkungen der HRB auf das Abflussgeschehen im Oberlauf der Laucha zu verdeutlichen.

Die Berechnungsergebnisse zeigen in Hinblick auf die Rückhaltewirkung der HRB bei HQ100 eine gute Übereinstimmung mit den vom GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt ermittelten Werten (vergl. Tabelle 4). Der Abfluss am AP 1 beträgt nach Angaben des GLD 1,8 m³/s, lt. Berechnung mit dem Niederschlags-Abfluss-Modell liegt er bei 1,6 m³/s. Für den AP 3 wird vom GLD ein Wert von 2,7 m³/s angegeben, die Modellberechnungen ergaben einen Scheitelabfluss von 3,3 m³/s.

Die Auswirkungen der HRB auf den Abfluss der Laucha stromunterhalb der Hochhalde Schkopau (AP 7) veranschaulicht B14 Anl14.1. Der Scheitelabfluss verringert sich um ca. 0,5 m³/s von 11,3 m³/s auf 10,8 m³/s. Die dargestellte Abflusskurve zeigt desweiteren eine Verbreiterung bzw. ein Nachlaufen infolge des verzögerten Wellenablaufs im Oberlauf der Laucha durch die Wirkung der HRB. Insgesamt ist die Auswirkung der HRB auf den Hochwasserabfluss im Unterlauf der Laucha unter Beachtung der Einleitungen von der Hochhalde Schkopau im Planzustand als gering einzuschätzen. Dies deckt sich mit den Angaben des GLD bzw. LHW Sachsen-Anhalt zur Wirkung der HRB (E-mail vom 14. 3. 2011 in B14 Anl15.3). Damit sind auch die Auswirkungen der HRB auf den Abschnitt der umverlegten

Laucha südlich der Hochhalde Schkopau als gering einzuschätzen. Die Wirkung der HRB ist somit aus hydrologischer Sicht für die Auslegung der Querbauwerke in diesem Bereich von untergeordneter Bedeutung. Eine abschließende Aussage zu dieser Problematik ist aber nur auf Grundlage der hydraulischen Modellierung (Band B14) möglich.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Brigham Young University (2004): Watershed Modeling System (WMS v. 6.1). Reference Manual. Engineering Computer Graphics Laboratory. Provo. 2004.
- BK 50 (VBK 50): Vorläufige Bodenkarte von Sachsen-Anhalt, Maßstab 1 : 50.000, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, 2018
- BÜK 200: Bodenübersichtskarte von Sachsen-Anhalt, Maßstab 1 : 200.000, Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt, 2018
- CIR Luftbildinterpretationsdaten, 2. Befliegung 2005, Maßstab 1 : 10.000, Neukartierung 2009
- DDMMC (1991): Drainage Design Manual for Maricopa County (DDMMC), Arizona (Volume I, Hydrology). Flood Control District of Maricopa County, (pages 4-1 through 4-19). 1991.
- DWA (2014) DWA-A 117 Bemessung von Regenrückhalteräumen, Ausgabe 02/2014
- DYCK, S. und G. PESCHKE (1995): Grundlagen der Hydrologie. 3. stark bearbeitete Auflage. Verlag für Bauwesen. Berlin. 1995.
- ICL (2010): Generalplanung Hochhalde Schkopau, Entwicklung und Planung der Oberflächenwasserfassung und –ableitung, Wasserhaushaltliche Untersuchungen zum langjährigen Verhalten und zum Starkniederschlagsfall, Dynamische Modellierung der Oberflächenwasserbildung. ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH/Dr. Dunger, TU Bergakademie Freiberg. Leipzig und Freiberg. 2010.
- IHU (2007): Ökologisches Großprojekt Buna, Kontrolle und Überwachung der Kontaminationssituation TM 01.03/05, 3D-Grundwasserströmungs- und Transportmodell, 2006, Jahresbericht 2006. Nordhausen. 2007
- INROS LACKNER AG (2010): Genehmigungsunterlagen gemäß § 31 Abs. 2 WHG für den Neubau der Hochwasserrückhaltebecken an Laucha und Springbach, INROS LACKNER AG, Dresden, 2010.
- LfU - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2005): Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes. Bd. 92. Karlsruhe. 2005
- MANIAK, U. (1997): Hydrologie und Wasserwirtschaft, Eine Einführung für Ingenieure. 4. überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1997.
- U. S. Army Corps of Engineers (1990): HEC-1 Flood Hydrograph Package. User's Manual. Hydrologic Engineering Center. Davis. 1990.