

HPC AG
Am Stadtweg 8
06217 Merseburg
Telefon: +49(0)3461-341-0
Telefax: +49(0)3461-341-332

Projekt-Nr.

Ausfertigungs-Nr.

Datum

2154330

1 / 4

15. Januar 2016

Aschedeponien II/III und IV in Halle-Trotha

Verträglichkeit der Errichtung und des Betriebes einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber

EVH GmbH
Bornknechtstraße 5
06108 Halle (Saale)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Harald Kubatz
Dipl.-Geol. Thomas Schwengfelder

Inhaltsverzeichnis

Text	Seite
1. Anlass und Aufgabenstellung	3
2. Vorliegende Unterlagen	3
3. Lage des Standortes und Flurstückssituation	4
4. Standorthistorie	5
5. Standsicherheitsbetrachtungen	5
5.1 Böschungsstandsicherheit	5
5.2 Befahrbarkeit der Deponieoberflächen	10
6. Wasserhaushaltsbetrachtungen	15
7. Zusammenfassende Bewertung	18

Anlagen

- 1 Übersichtslageplan
- 2 Detallageplan mit Aufschlüssen
- 3 Belegungskonzept PVA

Anhang

- 1 Aufschlussprofile
- 2 Wasserhaushaltsberechnung

1. Anlass und Aufgabenstellung

Die Stadtwerke Halle, EVH GmbH, beabsichtigen eine Nachnutzung ihrer ehemaligen Aschedeponien II/III und IV in Halle-Trotha als Standorte für die Energiegewinnung aus Photovoltaikanlagen. Mit diesem Projekt möchte die EVH einen Beitrag zum Klimaschutz in Deutschland leisten und gleichzeitig das Klima in der Stadt Halle (Saale) verbessern. Die installierte Leistung soll zwischen 8 bis 10 MW liegen. Ziel ist es, die Anlage noch in 2016 an das Netz der öffentlichen Versorgung anzuschließen.

Die Aschedeponien sind mit einer Rekultivierungsschicht abgedeckt, die wasserhaushaltlich wirksam ist. Das im Rahmen der Stilllegung und Nachsorge zuständige Landesverwaltungsamt LVwA Sachsen-Anhalt fordert eine Untersuchung zur Verträglichkeit der Errichtung und des Betriebs einer Photovoltaikanlage auf dem Standort insbesondere hinsichtlich der Wirkungen auf die Rekultivierungsschicht sowie unter den Gesichtspunkten der Böschungsstandsicherheit sowie der Tragfähigkeit.

Die HPC AG wurde am 30.11.2015 beauftragt, folgende Prüfungen vorzunehmen:

- Beurteilung der Standsicherheitssituation unter Berücksichtigung vorliegender Altgutachten sowie Durchführung von Untersuchungen zur Setzungsempfindlichkeit und Tragfähigkeit
- Beurteilung der wasserhaushaltlichen Wirkung der Rekultivierungsschicht nach Belegung der Deponieflächen mit Photovoltaikerelementen in weitem, d.h. begrünungsbegünstigendem Aufstellungsrastraster mit herkömmlicher Gründung

Die Anlaufberatung mit dem Planungsbüro fand am 02.12.2015 bei der EVH statt.

2. Vorliegende Unterlagen

Nachfolgend sind die Quellen aufgeführt, auf die bei den Ausführungen Bezug genommen wird.

- /1/ Untersuchung der Standsicherheit für die Aschepülbecken II/III der Energieversorgung Halle in Halle-Trotha, GFE Geologische Forschung und Erkundung GmbH, Halle (Saale), Februar/März 1995
- /2/ Ascheeinspülbecken II/III der Energieversorgung Halle in Halle-Trotha Standsicherheitsuntersuchung Stand 03/96, HPC AG, 25.03.1996
- /3/ Vierter Sachstandsbericht zur Grundwasserüberwachung im Umfeld der Halde II/III in Halle Trotha, HPC AG, Merseburg, 03.07.1998

- /4/ Dokumentation zur Errichtung von 2 Setzungspegeln und der Ersatzgrundwassermessstelle 3E/06 (für und bei MST 3/93), HPC AG, 13.04.2006
- /5/ Stilllegung Deponie II/III, Genehmigungsantrag für ein endgültiges Abdecksystem Deponie II/III in Halle Trotha, HPC AG, Merseburg, 19.09.2008
- /6/ Stilllegung Deponie IV, Genehmigungsantrag für ein endgültiges Abdecksystem Deponie II/III in Halle Trotha, HPC AG, Merseburg, 19.09.2008
- /7/ Kurzbericht Grundwassermonitoring EVH – Aschedeponie Halle-Trotha Beprobung II. Quartal 2008, Wessling GmbH Beratende Ingenieure, 28.07.2008

3. Lage des Standortes und Flurstückssituation

Die Aschedeponien II/III und IV befinden sich westlich der Köthener Straße zwischen den Ortslagen Halle-Trotha und Sennewitz.

Gemarkung Trotha: Flur 5, Flurstücke 25 und 10/2 sowie 13/1, Flur 7, Flurstück 45

Gemarkung Sennewitz: Flur 9, Flurstücke 4/7, 71, 7/4, 8/1, 9/13 und 39/5

Die Kreisgrenze zwischen der Stadt Halle (Saale) und dem Saalekreis verläuft von Norden nach Süden durch die Deponie.

Die Zufahrt zur Deponie erfolgt über die Köthener Straße.

Tabelle 1: Größenangaben der Deponien

Maßangaben	Deponie II/III	Deponie IV
Nord-Süd-Erstreckung	400 m	350 m
Ost-West-Erstreckung	220 m	280 m
Gesamtfläche (Haldenfuß)	9,4 ha	9,8 ha
Fläche Einspülungsbereich	7,7 ha	5,5 ha
Oberfläche Deponiegut	ca. + 91 mHN	ca. +84 mHN
Gelände im Umfeld	ca. +81 ... +86 mHN	ca. +82 ... +83 mHN

Die Lage der o.g. Deponien ist in Anlage 1 und 2 ersichtlich.

4. Standorthistorie

Die Aschedeponien waren Spülhalden des ehemaligen Braunkohlenkraftwerks Rudolf-Breitscheid. Nach Stilllegung des Kraftwerks erfolgte auch die Einstellung der Ascheneinspülung und die Stilllegung der Deponien.

1995 wurde die EVH beauftragt, die Deponie temporär abzudecken. In den Folgejahren wurde schrittweise eine Rekultivierungsschicht aufgebracht, die als Wasserhaushaltsschicht wirksam ist. Die Rekultivierungsmaßnahmen wurden 2005 abgeschlossen.

2008 wurde die temporäre Abdeckung aufgrund der zwischenzeitlich belegten Eignung und Wirksamkeit sowie aufgrund des Abklingens der Setzungen des Deponiekörpers auf Antrag der EVH als endgültige Abdeckung genehmigt.

5. Standsicherheitsbetrachtungen

5.1 Böschungsstandsicherheit

1995 wurde eine Standsicherheitsuntersuchung für die Aschedeponie II/III durch GFE durchgeführt. Die Standsicherheitsberechnungen erfolgten auf der Basis von Kernwertermittlungen anhand von 9 Bohrsondierungen, 5 geoelektrischen Drucksondierungen und 3 leichten Rammsondierungen.

Die Untersuchungen wurden an sichtlichen Schwachstellen in den Dammbereichen, die durch gegangene Rutschungen und Abrisse gekennzeichnet sind, durchgeführt. Hierfür wurden vier Schnitte in die Dammbereiche mit Instabilitäten im Böschungsbereich gelegt.

GFE belegte anhand von Berechnungen an diesen 4 repräsentativen Schnitten Standsicherheiten, die aufgrund der hohen Wasserstände in der Deponie an zwei Böschungsabschnitten noch Unterschreitungen des erforderlichen Sicherheitskoeffizienten (damals $\eta > 1,3$), im Falle der Westböschung von Aschedeponie III sogar nur $\eta = 1,0$ auswiesen.

Das bedeutete, dass für zwei Böschungsabschnitte keine Dauerstandsicherheit bestand und letztgenannter Böschungsabschnitt sich nur im Grenzgleichgewicht befand.

Als Basis der Berechnungen ist die nachfolgend tabellarisch aufgestellte Kennwertsituation dokumentiert:

Tabelle 2: Bodenkennwerte (φ' , c' - dräniert, c_u - undränniert) aus /1/

Bodenart	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	φ' °	c' kN/m ³	c_u kN/m ³
Dammmaterial					
weich	19,8	10	27	5	
steif	19,8	10	27	10	
steif/halbfest	19,8	10	27	12	
locker	19,8	10	27	8	
Asche					
locker/weich	14	4	15	0,15	10
steif	14	4	15	0,15	20
mitteldicht/dicht	17	7	30	0,05	80
Gewachsenes					
Mutterboden/Auffüllung	19,8	9	27	5	
Löß/Lößlehm	20,5	11	25	5	
Schluff	20,5	11	18	18	
Sand	18	10	30	0	
Ton	18,9	8	26	16	

Die folgende Tabelle führt die 1995 auf der Basis der o.a. Kennwerte berechneten Standsicherheiten der ausgewählten Profile auf.

Tabelle 3: Sicherheitskoeffizienten der Dammprofile 1995 aus /1/

Profil	Sicherheit η (dräniert)	Sicherheit η (undränniert)
I	1,46	1,46
II	1,13	1,14
III	1,73	1,96
IV	1,00	1,03

Fett hervorgehoben sind die Werte die den geforderten Sicherheitskoeffizienten für eine Dauerstandsicherheit von $\eta \geq 1,3$ zum damaligen Zeitpunkt nicht erreichten.

Die Lage der Dammprofile ist in der nachfolgenden Abbildung 1 ersichtlich.

Die auffälligsten Wasserspiegelschwankungen zeigt Messstelle 3/95. Der Grundwasserstand zeigt nach anfänglichem Absinken ab dem III. Quartal 2007 wieder einen stärkeren Anstieg, so dass im Anstrom kein Absenkungsbetrag für den Betrachtungszeitraum ausgewiesen werden kann. Im Zeitraum von 1996 bis 2005 sind aber aufgrund der Einstellung der Ascheneinspülung und der Aufbringung der Rekultivierungsschicht die Wasserstände im Deponebereich sowie im Abstrom um bis zu 2 m abgesunken.

Es ist zu bemerken, dass seit Beginn der Messungen 1993, sofern Daten vorliegen, die Grundwasserstände in allen Messstellen tendenziell abgesunken sind.

HPC /2/ konnte durch die ergänzenden Standsicherheitsuntersuchungen nachweisen, dass sich 1996 in allen Böschungsbereichen die erforderlichen Standsicherheiten eingestellt hatten. Dieser Umstand wurde, wie erwartet, auf die markante Absenkung des Wasserspiegels zurückgeführt.

Tabelle 5 zeigt die Sicherheitskoeffizienten für die jeweiligen Böschungsprofile anhand der Berechnungen von 1995 und 1996. Am Dammprofil III fanden keine erneuten Untersuchungen statt, da hier bereits 1995 der höchste Sicherheitskoeffizient nachgewiesen wurde.

Tabelle 5: Vergleich der errechneten Standsicherheit aus 1995 und 1996

Profil	Sicherheit η	
	Berechnung 1995 /1/	Berechnung 1996 /2/
I	1,46	1,66
II	1,13	1,48
III	1,73	>1,73
IV	1,00	1,83

Der gesamte Dammbereich wurde aufgrund der entspannten hydrologischen Situation 1996 als sicher bewertet /2/. Die aufgezeigten Werte belegen auf der Grundlage der zwischen 1995 und 1996 abgesunkenen Wasserstände in allen Dammbereichen eine ausreichende Dauerstandsicherheit, bezogen auf das Nachweisformat der DIN 4084:1981-07.

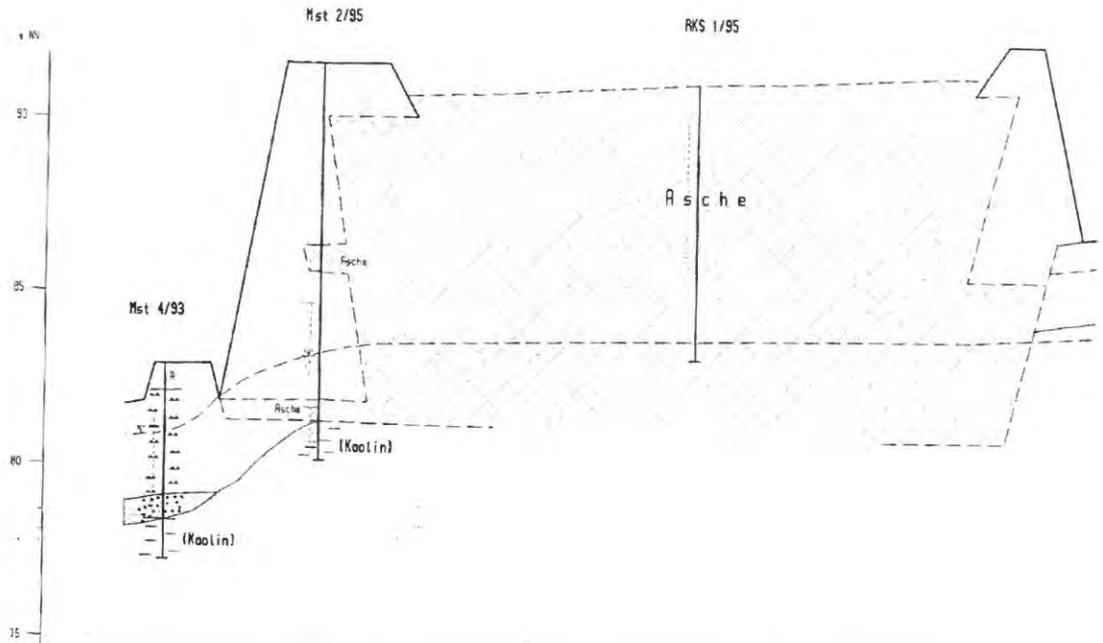


Abbildung 2: Hydrogeologischer Schnitt 1996 (Ausschnitt, /2/, Lage siehe Abb. Abbildung 1)

Der hydrologische Lastfall gestaltet sich zudem aktuell und künftig sicherheitsverbessernd, da die Wasserstände seit 1996 weiter gesunken sind. Die Sondierungen DPH1 und DPH von 2015 weisen aktuell die Wasserstände in der Aschendeponie bei ca. 9 m unter Gelände nach.

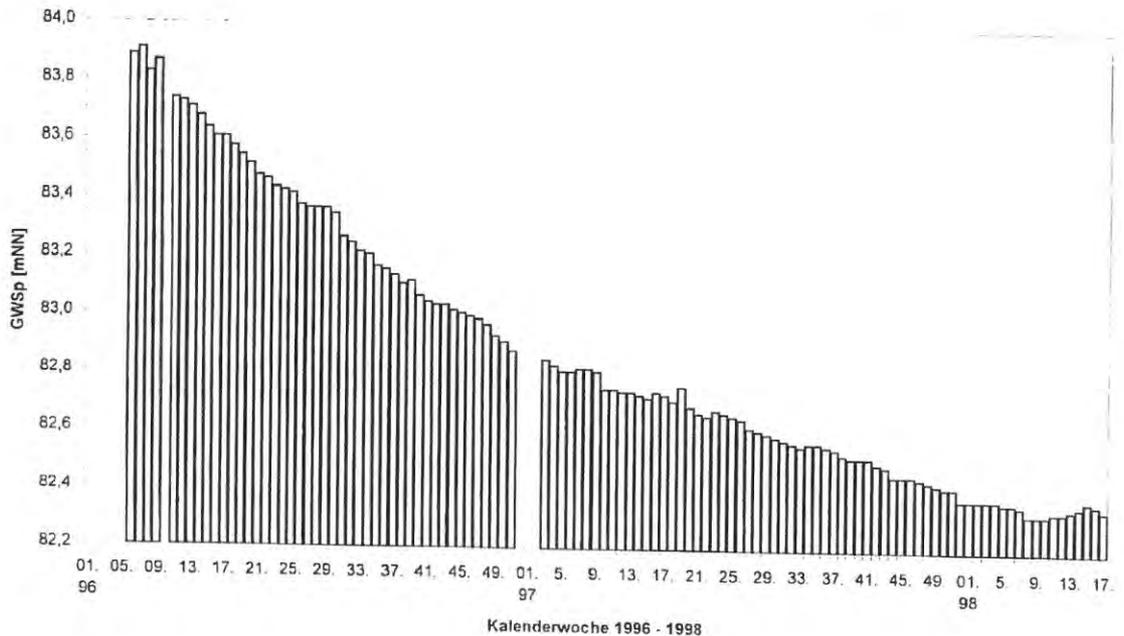


Abbildung 3: Wasserstandsganglinie Messstelle 1/95 im Zeitraum 1996 - 1998 /3/

Betrachtungen zum zusätzlichen Lasteintrag

Durch die geplante Bebauung der Deponien kommt es zu einem zusätzlichen Lasteneintrag.

Der Bereich der Deponie II/III (Baufeld B) wird laut Aufstellungskonzept mit 22 kleinen Modultischen mit einem Gewicht von jeweils 840 kg und 350 großen Modultischen mit einem Gewicht von jeweils 1600 kg belegt (siehe Anlage 3).

Daraus ergibt sich ein rechnerisches Gesamtgewicht von ca. 580 t als zusätzliche Auflast auf den Deponiebereich II/III.

Zum Vergleich: bei einer Grundfläche von 77.000 m² (7,7 ha) erfolgt ein Lasteintrag von ca. 7,53 kg/m². Dieser Lasteintrag würde einem flächendeckenden Bodenauftrag von 0,4 cm entsprechen. Eine neue Standsicherheitsberechnung ist aufgrund der vernachlässigbar geringen Lasteintragung nicht erforderlich.

Aufgrund des seit 1995 weiter abgesunkenen Wasserspiegels können für die Dammabschnitte hinreichende Sicherheitskoeffizienten in der Größenordnung von $\eta > 1,4$ auf der Basis der vorliegenden Berechnungen (vgl. Tabelle 5) bestätigt werden. Die zusätzlichen Auflasten durch die Baumaßnahme sind aufgrund ihrer Geringfügigkeit vernachlässigbar.

5.2 Befahrbarkeit der Deponieoberflächen

Setzungsmessungen

2006 wurden durch die HPC AG 2 Setzungspegel auf den Aschedeponien in Halle – Trotha installiert. Der Setzungspegel SP1/06 befand sich auf der Deponie II/III und der Setzungspegel SP2/06 auf der Deponie IV.

Die ehemaligen Lagedaten der inzwischen wieder rückgebauten Setzungspegel sind in der folgenden Tabelle festgehalten:

Tabelle 6: Lage der Setzungspegel nach LS 150

Pegel	Rechtswert	Hochwert
SP 1/06	4496913.7	5711546.9
SP 2/06	4496890.6	5711212.4

Die folgende Tabelle fasst die erfassten Setzungsbewegungen von 2006 bis zur Einstellung 2012 zusammen:

Tabelle 7: Messergebnisse der Setzungspegel

Datum der Messung	Deponie II/III			Deponie IV		
	Höhe OK Rohr SP 1/06			Höhe OK Rohr SP 2/06		
	NN	HN	Diff	NN	HN	Diff
30.03.2006	91.701	91.552	0	86.072	85.923	0
12.07.2006	91.701	91.552	0.000	86.075	85.926	0.003
09.11.2006	91.693	91.544	-0.008	86.069	85.920	-0.006
21.02.2007	91.681	91.532	-0.012	86.065	85.916	-0.004
31.05.2007	91.677	91.528	-0.004	86.066	85.917	0.001
16.08.2007	91.671	91.522	-0.006	86.061	85.912	-0.005
28.11.2007	91.664	91.515	-0.007	86.059	85.910	-0.002
26.02.2008	91.660	91.511	-0.004	86.061	85.912	0.002
25.06.2008	91.656	91.507	-0.004	86.061	85.912	0.000
08.10.2008	91,652	91,503	-0,004	86,058	85,909	-0,003
15.12.2008	91,645	91,496	-0,007	86,058	85,909	0,000
<i>Diff 2006-2008</i>			<i>-0,056</i>			<i>-0,014</i>
24.03.2009	91,641	91,492	-0,004	86,057	85,908	-0,001
18.06.2009	91,989	91,840	*	86,053	85,904	-0,004
07.09.2009	91,982	91,833	-0,007	86,059	85,910	0,006
23.12.2009	90,488	90,339	*	86,050	85,901	-0,009
25.03.2010	90,484	90,335	-0,004	86,054	85,905	0,004
01.07.2010	90,483	90,334	-0,001	86,056	85,907	0,002
29.09.2010	90,480	90,331	-0,003	86,054	85,905	-0,002
21.01.2011	90,475	90,326	-0,005	86,055	85,906	0,001
15.04.2011	90,478	90,329	0,003	86,056	85,907	0,001
03.08.2011	90,479	90,330	0,001	86,058	85,909	0,002
27.10.2011	90,475	90,326	-0,004	86,055	85,906	-0,003
<i>Diff 2009-2011</i>			<i>-0,024</i>			<i>-0,003</i>
09.02.2012	90,471	90,322	-0,004	86,053	85,904	-0,002
12.06.2012	90,460	90,311	-0,011	86,053	85,904	0
Summe in m			-0,095			-0,019

* Punkt musste repariert und neu eingemessen werden

Die Gesamtsetzungen im Zeitraum 2006 – 2012 liegen im Bereich der Deponie II/III mit 9,5 cm höher als in Deponie IV mit nur 1,9 cm.

Vergleicht man die dreijährigen Zeitabschnitte, nehmen die Setzungsraten ab.

Für den Bereich Deponie II/III kann eine Setzungsrate (konservativ) von 1 cm/a für die nächsten Jahre prognostiziert werden. Im Bereich der Deponie IV sind die Setzungen vernachlässigbar gering.

Befahrbarkeit

Generell wurde durch die Rebo Umwelttechnik nach Herstellung der Rekultivierungsschicht die Pflege der Deponieflächen gewährleistet. Die Grünfläche wurde 1 bis 2 mal im Jahr maschinell gemäht. Es sind keine Probleme bekannt geworden, dass die Rekultivierungsschicht keine ausreichende Tragfähigkeit für entsprechende Fahrzeuge aufweisen könnte.

Ein Befahren der Deponien war bei den 2015 durchgeführten Erkundungsmaßnahmen mit dem Raupenfahrzeug oder PKW jeweils ohne Ausbildung von relevanten Fahrspuren in der Rekultivierungsschicht möglich.



Abbildung 4: Foto vom Befahren der Deponie IV mit Raupensondiergerät



Abbildung 5: Foto vom Befahren der Deponie IV mit PKW

Erkundungsmaßnahmen Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Neben den Rammsondierungen wurden zur Erkundung der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht für die Wasserhaushaltsbetrachtungen flache Rammkernsondierungen bis in die Ascheschicht abgeteuft.

Tabelle 8: Erkundete Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Aufschluss	Endteufe in m	Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht in m
RKS 1	2,0	1,6
RKS 2	2,0	1,7
RKS 3	2,0	1,6
RKS 4	2,0	0,6
RKS 5	2,0	1,5
RKS 6	2,0	1,25
RKS 7a	0,8 (Hindernis)	0,75
RKS 7b	1,0 (Hindernis)	-
Summe	13,8	

Die Profile der Rammkernsondierungen sind im Anhang dargestellt.

RKS 4 wurde in einem Bereich angesetzt, der in den Vermessungsunterlagen eine randliche Hochlage der Einspülmassen aufweist. Offensichtlich handelt es sich dabei um den Bereich einer Einspülstelle, an der relativ grobe Asche abgesetzt wurden. Insofern ist die im Vergleich zu den anderen Aufschlüssen deutlich geringere Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht erklärbar und als lokale Aussage zu werten. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Mächtigkeit der Deponieabdeckung mit ca. 1,5 m anzunehmen.

Für die Wasserhaushaltsberechnung wurde im Sinne einer konservativen Betrachtung die mit 1,4 m errechnete mittlere Mächtigkeit unter Einbezug der geringen Mächtigkeit an RKS4 verwendet.

Erkundungsmaßnahmen Tragfähigkeit und Ablagerungsmächtigkeit

In der Vergangenheit waren ausschließlich einige wenige und zudem flache Aufschlüsse in den Aschedeponien abgeteuft worden (zuletzt durch HPC mit RKS1/95 und RKS2/95 und jeweils 8 m Teufe, /2/).

Aus diesem Grunde wurden durch HPC im Rahmen der laufenden Bewertung 6 Rammsondierungen zur Erkundung der Tragfähigkeit bzw. der Lagerungsdichte angesetzt (siehe Anlage 2).

Die Profile der Sondierungen sind im Anhang dargestellt.

Die geplanten Endteufen der Rammsondierungen sollten durchschnittlich 10 m betragen, jedoch nach dem Erreichen der Beckensohlen eingestellt werden. Mindestens in jedem Teilbecken sollte die Aschemächtigkeit ermittelt werden.

Tabelle 9: Erkundete Mächtigkeit der Ablagerung

Aufschluss	Endteufe in m	Teufe mit Schlagzahl > 10
DPH 1	11,0	-
DPH 2	11,0	-
DPH 3	19,0	17,7
DPH 4	11,0	10,7
DPH 5	12,0	11,2
DPH 6	13,0	ab 10, 7 m > 5 (schwere RS)
Summe	77,0	

Als erste Sondierung wurde DPH 6 in Deponie IV als Schwere Rammsondierung abgeteuft. Unerwartet tief, erst zwischen 12-13 m Teufe wurde das Gewachsene erreicht.

Außerdem waren die Schlagzahlen so niedrig, dass bei den folgenden Sondierungen das Gewicht auf Mittelschwere Rammsondierung reduziert wurde.

DPH 4 und DPH 5 wurden als Mittelschwere Rammsondierungen ebenfalls bis ins Gewachsene getrieben, wobei Schlagzahlen > 10 erst ab ca. 11 m Teufe angetroffen wurden.

In Deponie II/III wurde DPH 3 bis 19 m Tiefe gerammt, wobei Schlagzahlen >10 ab ca. 18 m zu verzeichnen waren. DPH 1 und 2 wurden teufenmäßig vorab auf 11 m begrenzt, ohne dass der Beckengrund erreicht wurde. Die Schlagzahlen betragen jeweils < 10 .

Die Ablagerungsmächtigkeiten inkl. Rekultivierungsschicht können daher für Deponie II/III auf ca. 18 m und für Deponie IV auf ca. 11 m angenommen werden.

Weiterhin kann anhand der Rammsondierungen belegt werden, dass unter der geringer tragfähigen Rekultivierungsschicht ein Anstieg der Lagerungsdichten zu verzeichnen ist. In größerer Tiefe treten jedoch, möglicherweise aufgrund der Wasserführung wieder geringere Lagerungsdichten auf, die wahrscheinlich auf Aschen in weicher bis breiiger Konsistenz schließen lassen.

Aufgrund der Einspannung der Massen mit den geringeren Lagerungsdichten durch die standsicheren Dämme und eine geringer durchfeuchtete tragfähige Deckschicht spricht nichts gegen die geplante Bebauung unter Verwendung von Technik mit vergleichsweise geringen Lasteinträgen.

Das Befahren mit schwerem Gerät sollte auch bei hinreichender allgemeiner Tragfähigkeit des Untergrundes zur Verhinderung von schädlichen Verdichtungserscheinungen in der Rekultivierungsschicht unterbleiben.

6. Wasserhaushaltsbetrachtungen

Grundsätzlich können PV-Anlagen auf Oberflächensicherungen von Deponien installiert werden, wenn es durch den Bau und den Betrieb der PV-Anlage zu keiner signifikanten Beeinträchtigung der Wirksamkeit des Oberflächensicherungssystems kommt.

Im Qualitätsstandard BQS 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ (Laga, 2012) wird ausgeführt, dass die Beschattung durch die Module und die Gefahr einer verstärkten Erosion unter den Abtropfkanten die wesentlichen Einwirkungen auf die Begrünung einer Rekultivierungsschicht sowie deren wasserhaushaltliche Wirksamkeit darstellen.

Die Wasserhaltekapazität des für die Abdeckung eingesetzten Substrates weist eine relativ hohe nutzbare Feldkapazität auf.

Aufgrund des hohen Wasserspeichervermögens der Abdeckschicht wird Niederschlagswasser daher aufgenommen und über die Pflanzen insbesondere in Trockenzeiten wieder verdunstet. Die vergleichsweise niedrigen mittleren Jahresniederschläge der Region (im 30jährigen Zeitraum 1961-1990 Niederschlagswerte um 500 mm) wirken sich förderlich auf die Wirksamkeit der aufgebrachten Abdeckung aus. .

Setzt man auf Brachflächen übliche 20 % Versickerungsanteil an, erhält man eine auf der nicht abgedeckten Ascheffläche anfallende mittlere Sickerwasserbildung von ca. 100 mm.

Ziel der Abdeckung war die Minimierung dieser Sickerwassermenge, da mit dem Sickerwasser gelöste Aschebestandteile (Schwermetalle, Sulfat und Chlorid) ins Grundwasser eingetragen werden könnten.

Die hinreichende Wirksamkeit der Rekultivierungsschicht als Wasserhaushaltsschicht wurde bislang auf der Basis der Untersuchungen an 2 installierten Sickerwassersammlern belegt /5/, /6/.

Auf der Aschedeponie IV ist im Februar 2001 und auf der benachbarten Deponie II/III schon im Januar 2000 ein Sickerwassersammler eingerichtet worden. Sammler 1 wurde im März/April 2001 erstmals untersucht.

Über den gesamten Zeitraum von Juni 2000 bis Juli 2005 weist das Ergebnis im Sammler 1 auf der Aschedeponie II/III 0,49% und im Sammler 2 auf der Aschedeponie IV 1,35% des Niederschlags als Sickerwasser aus.

Die Messungen aus dem Jahr 2006 ergaben einen Wert von 1,48% Sickerwasser für den Sammler 1 und 1,38% Sickerwasseranteil am Gesamtniederschlag im Sammler 2.

Im Frühjahr 2007 wurden Sickerwassermengen von 2,31% und 3,68% ermittelt. Für den gesamten Zeitraum von April 2007 bis März 2008 beträgt die Sickerwassermenge im Sammler 2 auf Deponie IV 0,56%. Im Sammler 1 war kein Sickerwasser vorhanden.

Zusammenfassend wurden mit den Sickerwassersammlern Sickerraten zwischen 1-4% (im un bebauten Zustand, d.h. ohne PVA) gemessen.

Für die Prognose der Einwirkungen einer Bebauung mit Solarmodulen war eine modellgestützte Betrachtung erforderlich. Dazu wurde als erfahrener Mitarbeiter Herr Dr. Dunger (BOWAHALD) gewonnen.

Die Wasserhaushaltsberechnung ist im Anhang als eigenständiger Bericht detailliert dargestellt.

Im Ergebnis wird dargestellt, dass die konzipierte ökologische Aufstellungsvariante mit Solarmodulen nur eine geringfügige wasserhaushaltliche Auswirkung zeigt und die allgemeine Wirksamkeit des Dichtungssystems durch das Bauwerk nicht signifikant beeinflusst wird.

Die wichtigsten Ergebnisse der Berechnung sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 10: Wasserhaushaltsbilanzen im langjährigen Mittel sowie in Nass- und Trockenjahren als Jahresbilanzen (Modellierungszeitraum 1961 – 1990)

Klimatischer Zustand	Niederschlag P [mm/a]	Evapotranspiration ETR [mm/a]	Oberflächenabfluss RO [mm/a]	Versickerung RU [mm/a]
Langjähriges Mittel	509	485 472	3 3	21 34
Nassestes Jahr	707	522 499	31 31	26 45
Sickerwasserreichstes Jahr	493	483 461	0 0	77 102
Trockenstes Jahr	294	321 322	0 0	0 0
Sickerwasserärmstes Jahr	15 bzw. 12 Jahre ohne Sickerwasserbildung (RU = 0)			

grün: Istzustand (ohne Solarpaneele) blau: Planungszustand (mit Solarpaneele)

Der Bewuchs unter den Solarmodulen ist etwas weniger verdunstungswirksam als im aktuellen unbebauten Zustand und bewirkt im langjährigen Mittel eine um 10 – 15 mm erhöhte Versickerung. Die Sickerwassermenge erhöht sich auf das langjährige Mittel bezogen von rechnerisch 4,1% auf 6,7% des Niederschlags.

Das Ergebnis wird als plausibel eingeschätzt, da die für den aktuellen unbebauten Zustand errechnete Sickerwasserspende von ca. 4 % des Niederschlags im Rahmen der Sickerwassermessungen an den Sickerwassersammlern (1-4% vom Niederschlag) liegt.

7. Zusammenfassende Bewertung

Das geplante Bauvorhaben zur Nachnutzung der Deponieflächen der Aschendeponien II/III und IV in Halle-Trotha war auf seine Verträglichkeit hinsichtlich Standsicherheit und Tragfähigkeit sowie der wasserhaushaltlichen Wirksamkeit der Deponieabdeckung zu prüfen.

Für die Standsicherheitsprüfung wurden zwei relevante vorliegende Gutachten unter dem Gesichtspunkt weiter abgesenkter Wasserstände in der Deponie II/III ausgewertet.

Aufgrund des seit 1995 weiter abgesunkenen Wasserspiegels können für die Dammabschnitte der Deponie II/III hinreichende Sicherheitskoeffizienten in der Größenordnung von $\eta > 1,4$ auf der Basis der vorliegenden Berechnungen bestätigt werden. Die zusätzlichen Auflasten durch die Baumaßnahme sind aufgrund ihrer Geringfügigkeit vernachlässigbar.

Die Sondierergebnisse weisen im tieferen Bereich der Ablagerung Aschen mit geringer Lagerungsdichte aus. Aufgrund der Einspannung durch die standsicheren Dämme und eine geringer durchfeuchtete tragfähige Deckschicht spricht nichts gegen die geplante Bebauung unter Verwendung von Technik mit vergleichsweise geringen Lasteinträgen.

Das Befahren mit schwerem Gerät sollte auch bei hinreichender allgemeiner Tragfähigkeit des Untergrundes zur Verhinderung von schädlichen Verdichtungserscheinungen in der Rekultivierungsschicht unterbleiben.

Durch Rammkernsondierungen wurde eine mittlere Mächtigkeit der wasserhaushaltlich wirksamen Rekultivierungsschicht von mind. 1,4 m nachgewiesen.

Die Wasserhaushaltsberechnungen mit dem Programm BOWAHALD bestätigen die bislang durch Sickerwassermessungen festgestellte Wirksamkeit des Abdecksystems. Im aktuellen Zustand werden bezogen auf das langjährige Mittel Sickerwasserraten von ca. 4 % des Niederschlags (509 mm) ausgewiesen. Die Bebauung mit der konzipierten ökologischen Variante der PVA zeigt sich in den Berechnungen in der Erhöhung der Versickerung im langjährigen Mittel auf 6,7% des Niederschlags.

Die ökologische Bauvariante ist wie folgt charakterisiert:

- weite Abstände der Modulreihen mit folglich minimierter Abschattung,
- geringe Erosionsgefahr, da keine Aufstellung der Module auf geneigten Flächen,
- minimierte Aufstellfläche durch Aufstellung auf Ramppfählen,

- schonende Bauweise ohne schwere Technik zur Vermeidung schädlicher Bodenverdichtung.

Die Versickerung liegt bei der oben definierten Bebauungsvarinate immer noch deutlich unter 10 % des Niederschlags und ist damit als sehr verträgliche Nachnutzungsvariante einzuschätzen.

HPC AG



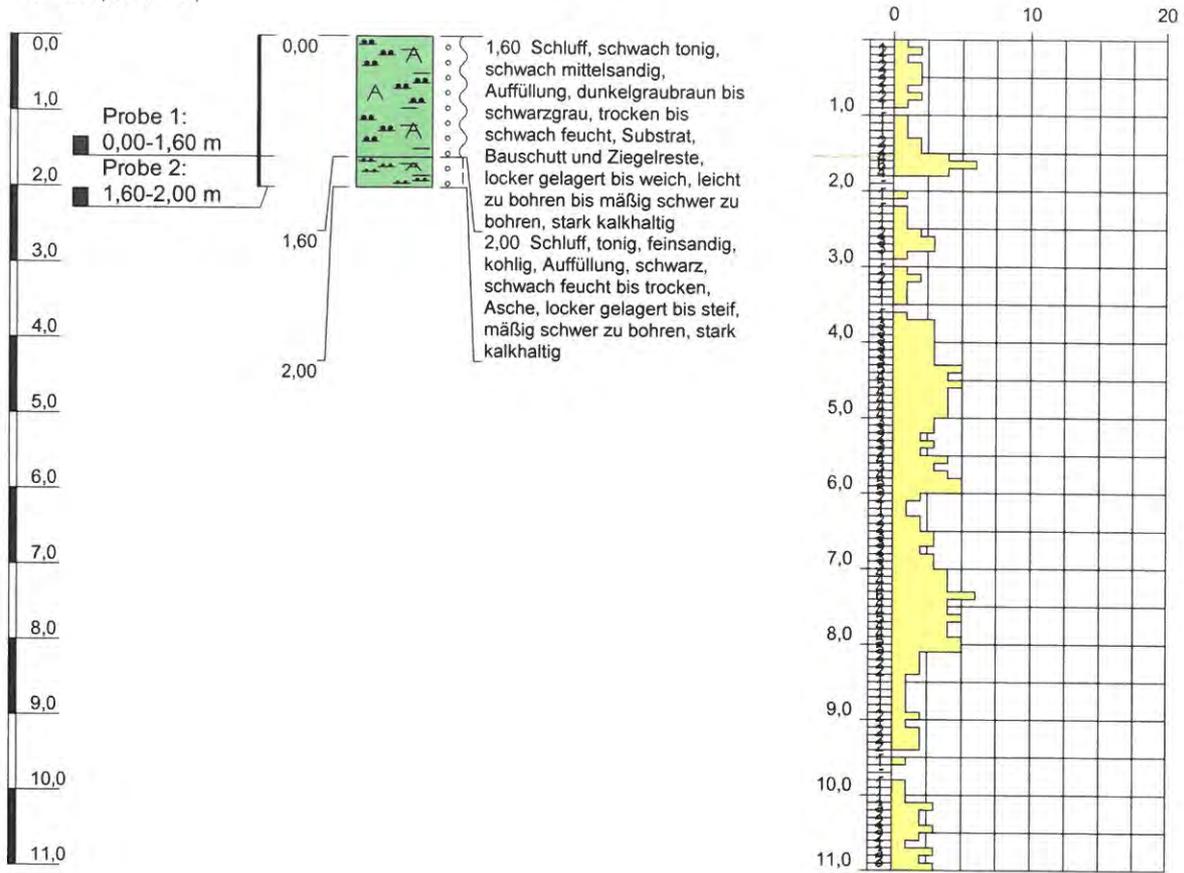
Dipl. Geol. Thomas Schwengfelder
Projektleiter



Dipl.-Ing. Harald Kubitz
Sachverständiger

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 1



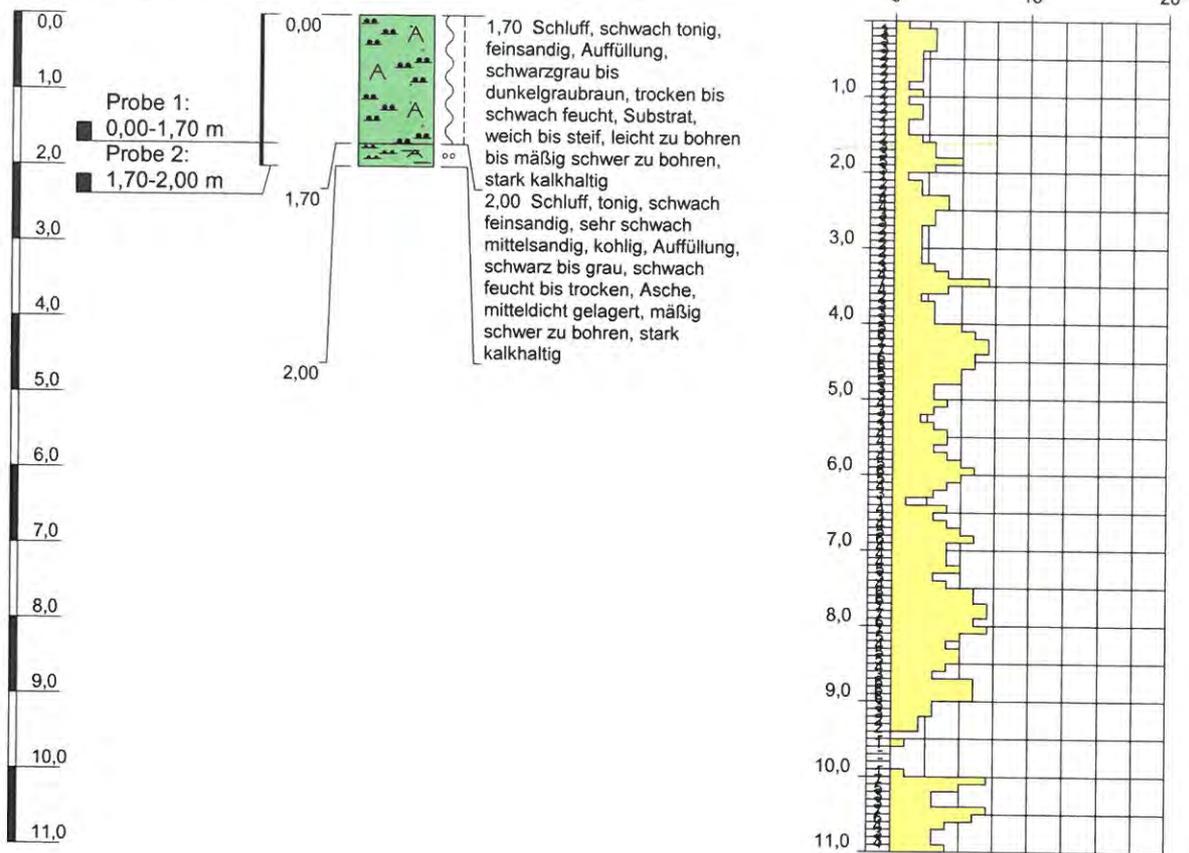
Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		 HPC DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 1		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 04.12.2015	Endtiefe: 2,00 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 2



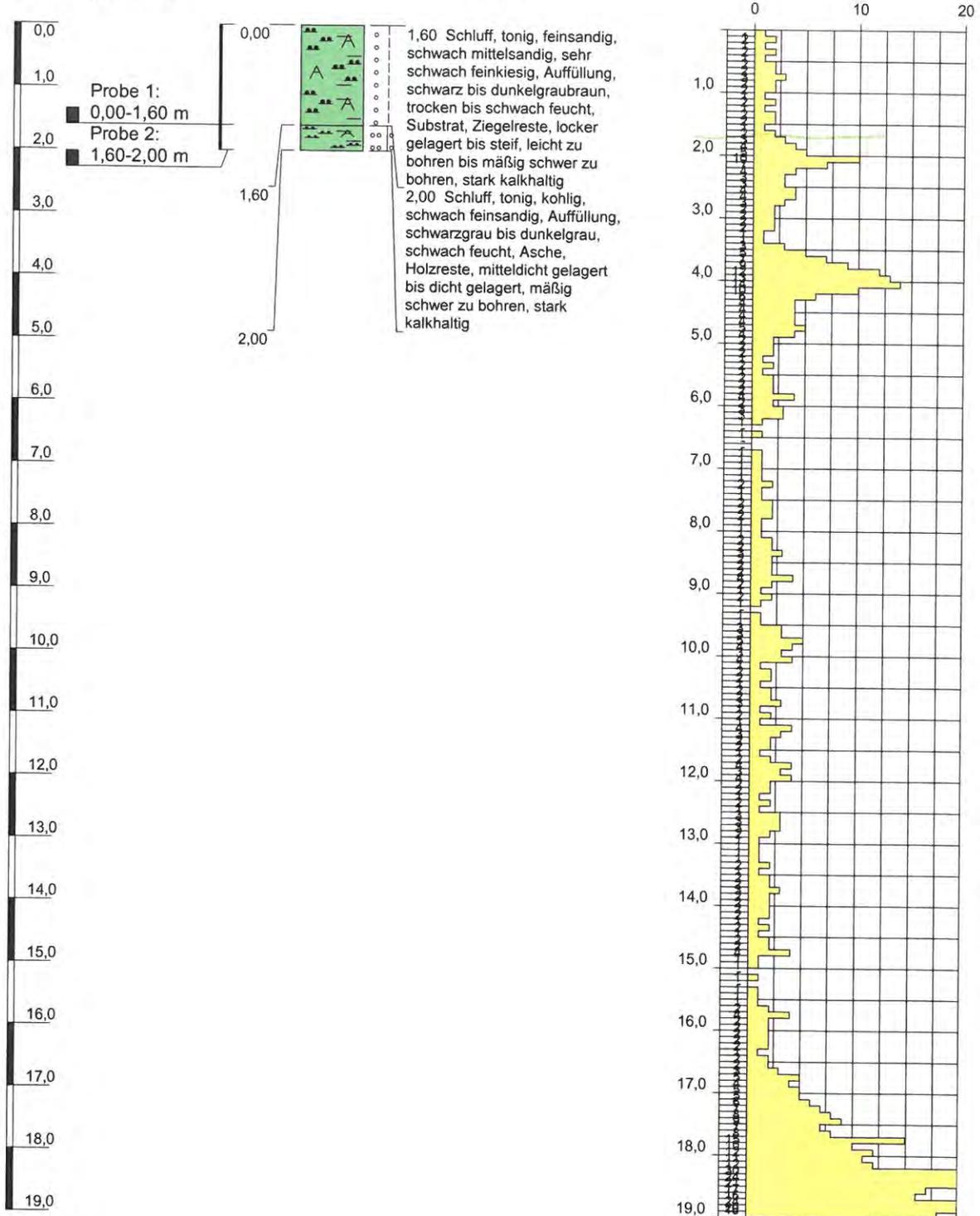
Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 2		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 04.12.2015	Endtiefe: 2,00 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 3



Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha

Bohrung: RKS 3

Auftraggeber: EVH

Rechtswert: 0

Bohrfirma: HPC-AG

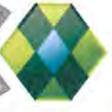
Hochwert: 0

Bearbeiter: Schwengfelder

Ansatzhöhe: +0,00 m NHN

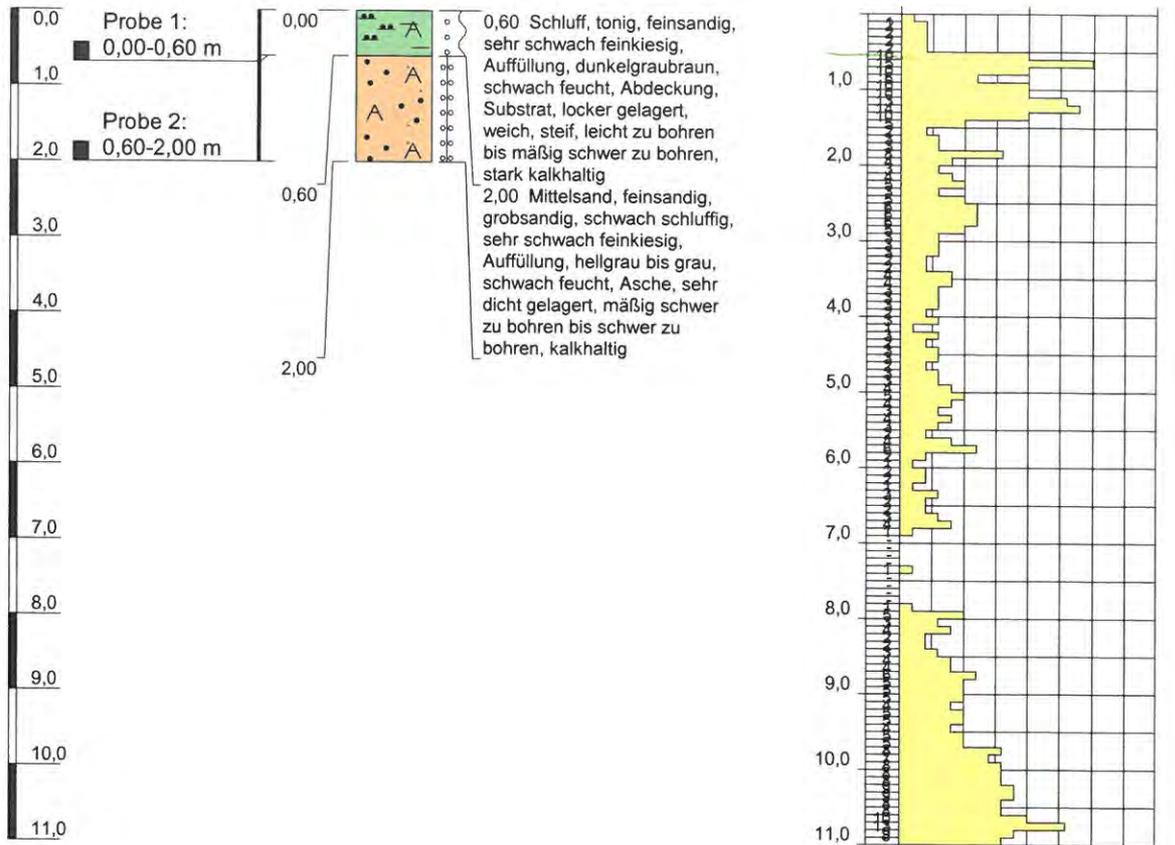
Datum: 04.12.2015

Endtiefe: 2,00 m

HPC 
DAS INGENIEURUNTERNEHMEN

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 4



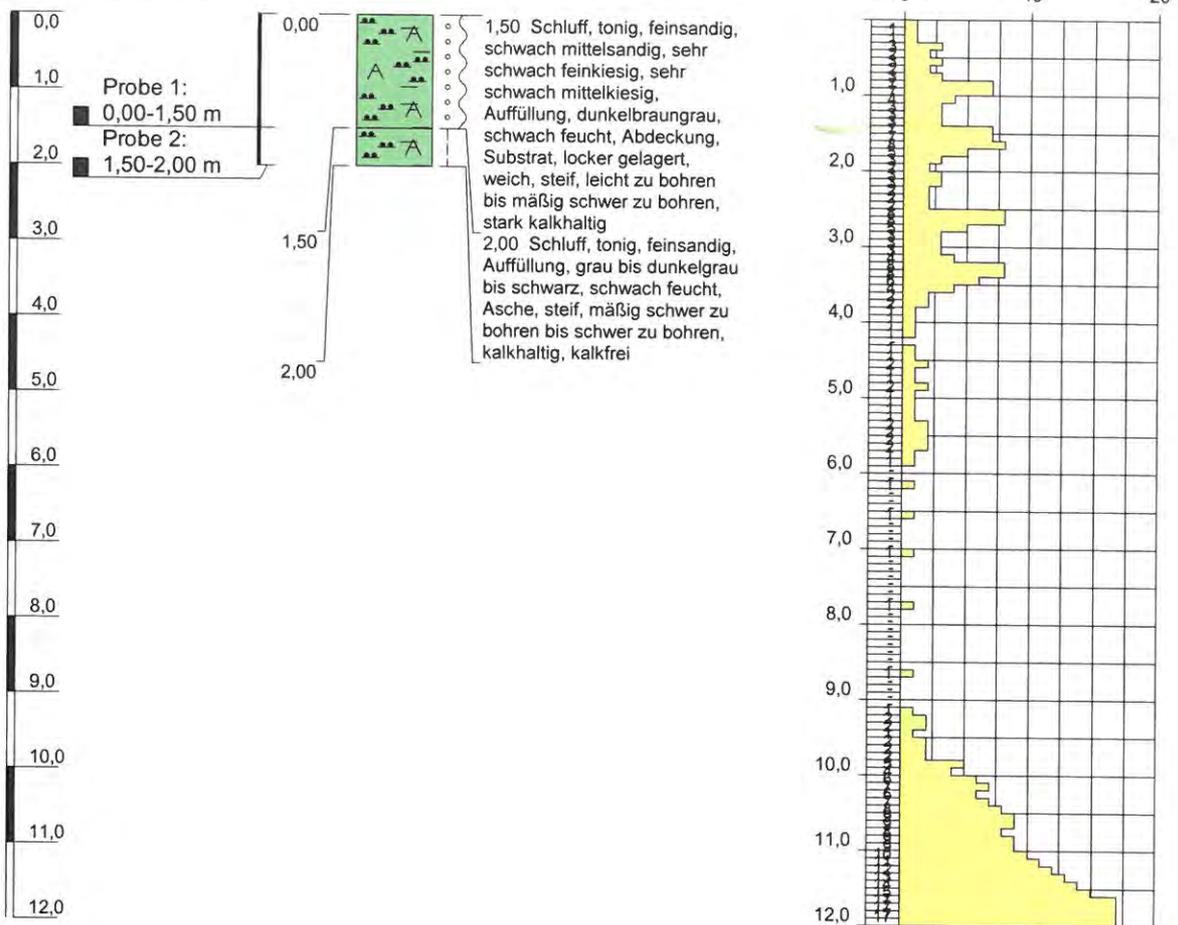
Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 4		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 03.12.2015	Endtiefe: 2,00 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 5



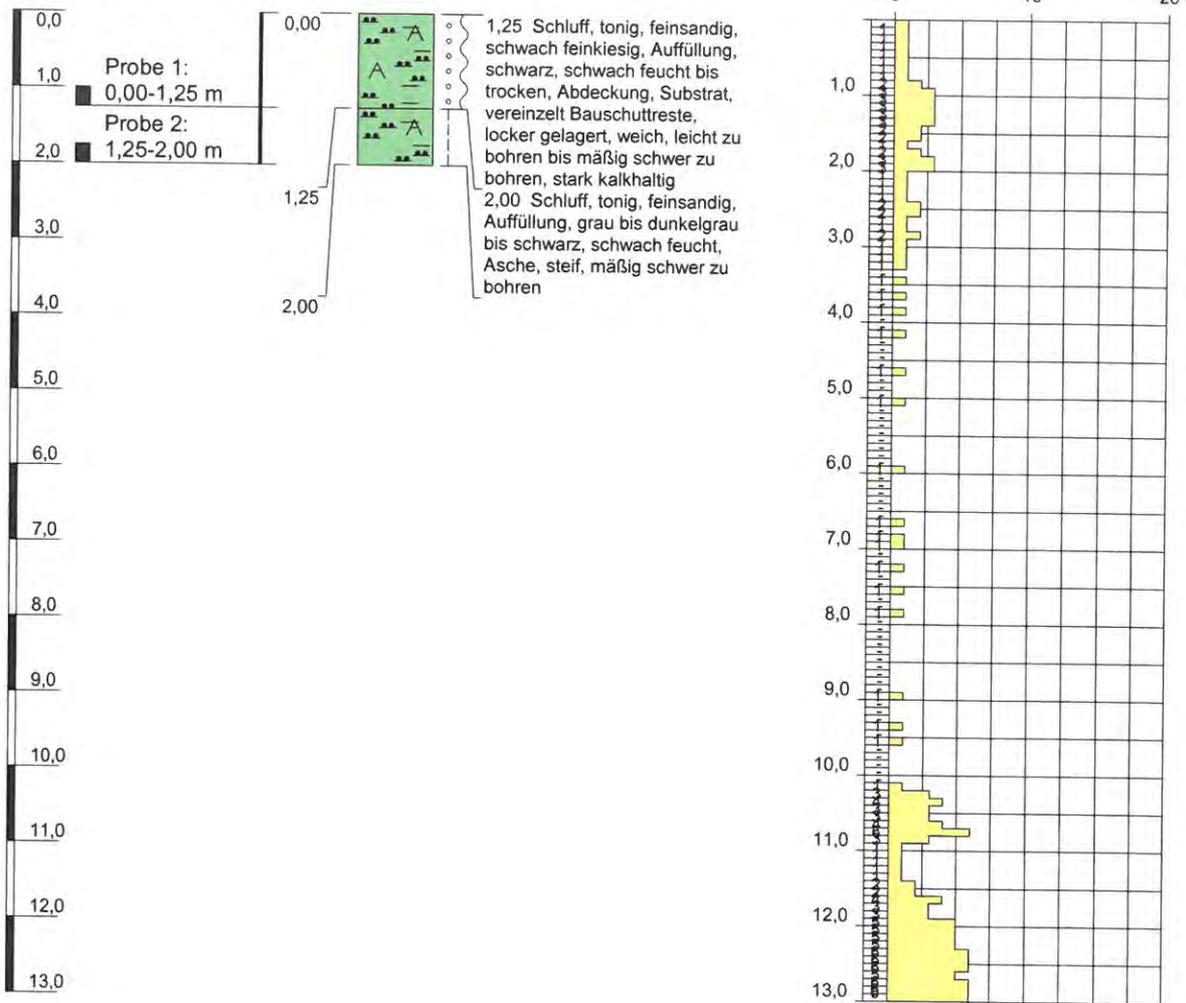
Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 5		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 03.12.2015	Endtiefe: 2,00 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 6



Höhenmaßstab: 1:100

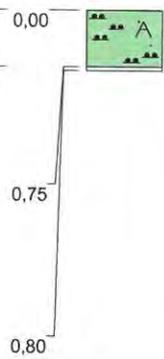
Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		 HPC DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 6		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 03.12.2015	Endtiefe: 2,00 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 7a

0,0
Probe 1:
0,00-0,75 m



0,75 Schluff, schwach tonig, feinsandig, sehr schwach feinkiesig, Auffüllung, schwarz bis schwarzgrau, schwach feucht, locker gelagert, weich, steif, leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, kalkhaltig, stark kalkhaltig
0,80 Beton, Auffüllung, hellgraurot, schwach feucht bis trocken, vorher Ziegelreste, halbfest bis fest, schwer zu bohren bis sehr schwer zu bohren, stark kalkhaltig, Bohrstillstand bei 0,8m

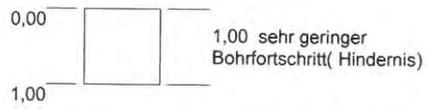
Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		
Bohrung: RKS 7a		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 03.12.2015	Endtiefe: 0,80 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 7b



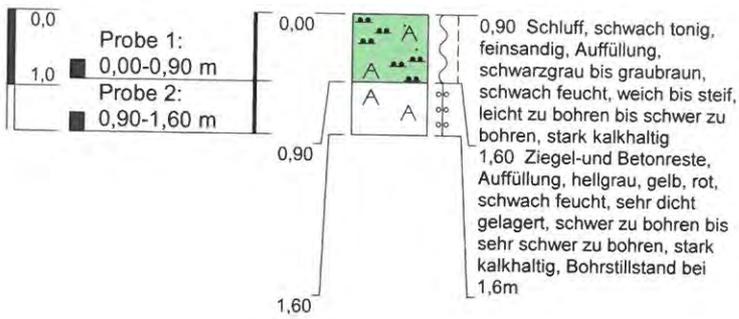
Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		
Bohrung: RKS 7b		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 03.12.2015	Endtiefe: 1,00 m	

m u. GOK (0,00 m NN)

RKS 7c



Höhenmaßstab: 1:100

Blatt 1 von 1

Projekt: Halle-Trotha		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 7c		
Auftraggeber: EVH	Rechtswert: 0	
Bohrfirma: HPC-AG	Hochwert: 0	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +0,00 m NHN	
Datum: 03.12.2015	Endtiefe: 1,60 m	

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 04.12.2015

Bohrung: RKS 1 / DPH 1

1	2			3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe		i) Kalk- gehalt		
1,60	a) Schluff, schwach tonig, schwach mittelsandig			trocken bis schwach feucht	G	1	1,60
	b) Substrat, Bauschutt und Ziegelreste						
	c) locker gelagert bis weich	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) dunkelgraubraun bis schwarzgrau				
	f) Auffüllung	g)	h)				
2,00	a) Schluff, tonig, feinsandig, kohlig			schwach feucht bis trocken	G	2	2,00
	b) Asche						
	c) locker gelagert bis steif	d) mäßig schwer zu bohren	e) schwarz				
	f) Auffüllung	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 04.12.2015

Bohrung: RKS 2 / DPH 2

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
1,70	a) Schluff, schwach tonig, feinsandig				trocken bis schwach feucht	G	1	1,70
	b) Substrat							
	c) weich bis steif	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) schwarzgrau bis dunkelgraubraun					
	f) Auffüllung	g)	h)	i) ++				
2,00	a) Schluff, tonig, schwach feinsandig, sehr schwach mittelsandig, kohlig				schwach feucht bis trocken	G	2	2,00
	b) Asche							
	c) mitteldicht gelagert	d) mäßig schwer zu bohren	e) schwarz bis grau					
	f) Auffüllung	g)	h)	i) ++				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 04.12.2015

Bohrung: RKS 3 / DPH 3

1	2			3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe		i) Kalk- gehalt		
1,60	a) Schluff, tonig, feinsandig, schwach mittelsandig, sehr schwach feinkiesig			trocken bis schwach feucht	G	1	1,60
	b) Substrat, Ziegelreste						
	c) locker gelagert bis steif	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) schwarz bis dunkelgraubraun				
	f) Auffüllung	g)	h)				
2,00	a) Schluff, tonig, kohlig, schwach feinsandig			schwach feucht	G	2	2,00
	b) Asche, Holzreste						
	c) mitteldicht gelagert bis dicht gelagert	d) mäßig schwer zu bohren	e) schwarzgrau bis dunkelgrau				
	f) Auffüllung	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 03.12.2015

Bohrung: RKS 4 / DPH 4

1	2			3		4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges		Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe			i) Kalk- gehalt		
0,60	a) Schluff, tonig, feinsandig, sehr schwach feinkiesig			schwach feucht		G	1	0,60
	b) Abdeckung, Substrat							
	c) locker gelagert, weich, steif	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) dunkelgraubraun					
	f) Auffüllung	g)	h)					
2,00	a) Mittelsand, feinsandig, grobsandig, schwach schluffig, sehr schwach feinkiesig			schwach feucht		G	2	2,00
	b) Asche							
	c) sehr dicht gelagert	d) mäßig schwer zu bohren bis schwer zu	e) hellgrau bis grau					
	f) Auffüllung	g)	h)					
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)					
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)					
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)					

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 03.12.2015

Bohrung: RKS 5 / DPH 5

1	2			3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe				
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe		i) Kalk- gehalt		
1,50	a) Schluff, tonig, feinsandig, schwach mittelsandig, sehr schwach feinkiesig, sehr schwach mittelkiesig			schwach feucht	G	1	1,50
	b) Abdeckung, Substrat						
	c) locker gelagert, weich, steif	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) dunkelbraungrau				
	f) Auffüllung	g)	h)				
2,00	a) Schluff, tonig, feinsandig			schwach feucht	G	2	2,00
	b) Asche						
	c) steif	d) mäßig schwer zu bohren bis schwer zu	e) grau bis dunkelgrau bis				
	f) Auffüllung	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				
	a)						
	b)						
	c)	d)	e)				
	f)	g)	h)				



Schichtenverzeichnis

für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben

Seite: 1

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 03.12.2015

Bohrung: RKS 6 / DPH 6

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
1,25	a) Schluff, tonig, feinsandig, schwach feinkiesig				schwach feucht bis trocken	G	1	1,25
	b) Abdeckung, Substrat, vereinzelt Bauschuttreste							
	c) locker gelagert, weich	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) schwarz					
	f) Auffüllung	g)	h)	i) ++				
2,00	a) Schluff, tonig, feinsandig				schwach feucht	G	2	2,00
	b) Asche							
	c) steif	d) mäßig schwer zu bohren	e) grau bis dunkelgrau bis					
	f) Auffüllung	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 03.12.2015

Bohrung: RKS 7a

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
0,75	a) Schluff, schwach tonig, feinsandig, sehr schwach feinkiesig				schwach feucht	G	1	0,75
	b)							
	c) locker gelagert, weich, steif	d) leicht zu bohren bis mäßig schwer zu	e) schwarz bis schwarzgrau					
	f) Auffüllung	g)	h)	i) ++				
0,80	a) Beton				Bohrstillstand bei 0,8m schwach feucht bis trocken			
	b) vorher Ziegelreste							
	c) halbfest bis fest	d) schwer zu bohren bis sehr schwer zu bohren	e) hellgraurot					
	f) Auffüllung	g)	h)	i) ++				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 03.12.2015

Bohrung: RKS 7b

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen				Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben		
	b) Ergänzende Bemerkungen					Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe	i) Kalk- gehalt				
1,00	a)				sehr geringer Bohrfortschritt(Hindernis)			
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)	i)				

Projekt: Halle-Trotha

Datum: 03.12.2015

Bohrung: RKS 7c

1	2				3	4	5	6
Bis ... m unter Ansatz- punkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen			Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges	Entnommene Proben			
	b) Ergänzende Bemerkungen				Art	Nr	Tiefe in m (Unter- kante)	
	c) Beschaffenheit nach Bohrgut	d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang	e) Farbe					
	f) Übliche Benennung	g) Geologische Benennung	h) Gruppe		i) Kalk- gehalt			
0,90	a) Schluff, schwach tonig, feinsandig			schwach feucht	G	1	0,90	
	b)							
	c) weich bis steif	d) leicht zu bohren bis schwer zu bohren	e) schwarzgrau bis graubraun					
	f) Auffüllung	g)	h)					i) ++
1,60	a) Ziegel-und Betonreste			Bohrstillstand bei 1, 6m schwach feucht	G	2	1,60	
	b)							
	c) sehr dicht gelagert	d) schwer zu bohren bis sehr schwer zu bohren	e) hellgrau, gelb, rot					
	f) Auffüllung	g)	h)					i) ++
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)					i)
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)					i)
	a)							
	b)							
	c)	d)	e)					
	f)	g)	h)					i)

Ehemalige Aschespülhalden II/III und IV

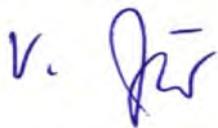
Geplante Errichtung einer Photovoltaikanlage auf der ehemaligen Aschedeponie Trotha – Quantifizierung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Oberflächensicherung

für: HPC AG
Am Stadtweg 8
06217 Merseburg

Ansprechpartner: Herr Dipl.-Geol. Thomas Schwengfelder

von: Herrn Dr. habil. V. Dunger
Neue Hauptstraße 150 a
09618 Brand-Erbisdorf, ST Langenau

Brand-Erbisdorf, den 03. Januar 2016



.....
Dr. habil. V. Dunger
- Dipl.-Hydrologe -

Ehemalige Ehemalige Aschespülhalden II/III und IV:

Geplante Errichtung einer Photovoltaikanlage auf der ehemaligen Aschedeponie Trotha – Quantifizierung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Oberflächensicherung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zielstellung	2
2. Gesetzgeberische und Planungsrandbedingungen	2
3. Methodische Herangehensweise	3
4. Umsetzung der Methodik auf den Untersuchungsstandort	6
4.1. Horizontaldiskretisierung – Hydrotopenanteile	6
4.2. Vertikaldiskretisierung – Schichtenabfolge	6
4.3. Modellparameter	6
4.4. Meteorologische Daten	9
4.4.1. Datenmaterial zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten	9
4.4.2. Starkregelmengen	11
5. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation	11
5.1. Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten	11
5.2. Austrocknung der Rekultivierungsschicht und Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung aus wasserhaushaltlicher Sicht	12
5.3. Verhalten bezüglich Oberflächenabfluss- und Sickerwasserbildung im Starkregenfall	14
6. Zusammenfassung	15
7. Literaturverzeichnis	17
8. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	19
9. Anlagenverzeichnis	20

Anlagen

1. Zielstellung

Die ehemalige Aschedeponie Trotha verfügt über eine Oberflächenabdeckung (HPC, 2008 a, b). Gegenwärtig wird erwogen, eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage) zu errichten. Dem entsprechend ist der quantitative Nachweis zu erbringen, dass hierdurch die wasserhaushaltliche Funktionalität der Rekultivierungsschicht insbesondere bezüglich der Durchsickerungsmengen weitgehend erhalten bleibt.

2. Gesetzgeberische und Planungsrandbedingungen

Prinzipiell spricht nichts dagegen, PV-Anlagen auf Oberflächensicherungen von Deponien zu bauen und zu betreiben. Nach Deponieverordnung (DEPV, 2009) übernimmt die Rekultivierungsschicht in einem solchen Fall Aufgaben im Sinne einer technischen Funktionsschicht. Wesentlich ist, dass es durch den Bau und den Betrieb der PV-Anlage zu keiner Beeinträchtigung der Wirksamkeit des Oberflächensicherungssystems kommen darf.

Bezüglich der Auswirkungen von Solarpaneelen auf den Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen wird im Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard BQS 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ (LAGA, 2012) ausgeführt, dass diese vor allem infolge Beschattung und den am tiefsten Punkt der Paneelen konzentrierten Abfluss von Oberflächenabfluss zu erwarten sind. Ferner wird auf die damit im Zusammenhang stehende Gefahr einer verstärkten Erosion eingegangen und vermerkt, dass eine hinsichtlich Erosion stabile Pflanzendecke erhalten bleiben muss. Hierfür notwendig sind die Einhaltung eines entsprechenden Abstandes zwischen den einzelnen Modulen und eine Aufstellhöhe von 0,8 – 1,0 m.

Eine Nachweispflichtigkeit des Einflusses von PV-Anlagen auf den Wasserhaushalt existiert für die Fälle, in denen die Funktionsfähigkeit der Oberflächensicherung in entscheidendem Maße vom Wasserhaushalt der Rekultivierungsschicht bestimmt wird (wie im vorliegenden Fall, weil die Rekultivierungsschicht die einzige Oberflächensicherungskomponente ist). Gegenwärtig existiert deutschlandweit keine einheitliche Methodik bezüglich dieses Nachweises.

Der Bundeseinheitliche Qualitätsstandard BQS 7-1 (LAGA, 2011) regelt, welche Nachweise bezüglich der Einschätzung der wasserhaushaltlichen Wirksamkeit der Rekultivierungsschicht notwendig sind (Reihenfolge = Wertigkeit):

- die Restdurchsickerung an der Basis der Rekultivierungsschicht (betrifft das langjährige Mittel sowie das Maximum in Nassjahren),
- die Höhe der realen Verdunstung (betrifft das langjährige Mittel sowie Schwankungen in Nass- und Trockenjahren),
- das Verhalten im Starkregenfall (betrifft die Menge an Oberflächenabfluss und die Sickerwassermengen).

Da es im konkreten Untersuchungsfall um gutachtliche Aussagen zum Einfluss der geplanten PV-Anlage auf der bereits rekultivierten Deponie geht, sind o. g. Nachweise für zwei Zustände zu erbringen (ohne und mit PV-Anlage).

3. Methodische Herangehensweise

Es ist gängige Praxis, das wasserhaushaltliche Verhalten von Oberflächensicherungen und die in ihnen ablaufenden hydrologischen Prozesse durch die Anwendung geeigneter Modelle zu beschreiben und zu bilanzieren. Prinzipiell bieten sich hierfür die Deponiewasserhaushaltsmodelle HELP (SCHROEDER ET. AL, 1994, BERGER, SCHROEDER, 2013) bzw. BOWAHALD (DUNGER, 2002 A, 2006 A) an.

Für den konkreten Anwendungsfall wird das Modell BOWAHALD verwendet, weil bezüglich der Parametrisierung der Solarpanelen bereits Erfahrungen aus anderen Projekten vorliegen, die in DUNGER U. A. (2012, 2013, 2015) veröffentlicht sind.

Das Modell BOWAHALD stellt nach Empfehlungen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LFUG, 1999) sowie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL, 1999) eine Alternative zum HELP-Modell dar. Vergleichende HELP/BOWAHALD-Untersuchungen zeigen ein hohes Maß an Ergebnisübereinstimmung (BERGER, DUNGER, 2000, DUNGER, 2001).

Das Modell BOWAHALD wurde speziell zur Modellierung der wesentlichen hydrologischen Prozesse, die innerhalb von wasserungesättigten Halden bzw. Deponien einschließlich Abdeckschichten ablaufen, entwickelt bzw. weiterentwickelt. Auf eine ausführliche Programmbeschreibung wird im Rahmen des Berichtes verzichtet. Verwiesen sei auf die Programmdokumentation (DUNGER, 2002 A) sowie auf Publikationen zum Modellinhalt und zur Modellanwendung (s. z. B. DUNGER, 2001, 2006 A, B sowie DUNGER, MÜLLER, 2010). Im Folgenden soll lediglich ein grober Überblick bezüglich des Modellinhalts gegeben werden.

Für Deponien und deren Sicherungssysteme gilt bezüglich der Quantifizierung der Wasserhaushaltsgrößen die folgende Wasserbilanzgleichung:

$$P = RO + ETR + RH + RU + DS \quad (1)$$

mit:

- P - Niederschlag
- RO - Oberflächenabfluss
- ETR - reale Evapotranspiration
- RH - lateraler Abfluss (z.B. innerhalb von Drainageschichten)
- RU - Abfluss an der Basis (Restdurchsickerung)
- DS - Speicheränderung innerhalb des betrachteten Systems

Beim Modell BOWAHALD handelt es sich um ein Schichtenmodell, welches die in der Gleichung 1 enthaltenen maßgeblichen Prozesse des Wasserhaushalts berücksichtigt. Die zeitliche Diskretisierung der Bilanzierung erfolgt modellintern generell in Tagesschritten, die Ausgabe der Ergebnisse in Tages- bzw. Monatsschritten, je nach dem ob mit Tages- oder Monatswerten der meteorologischen Größen gearbeitet wird.

Wasserbewegungen werden nur in der vertikalen Dimension modelliert, wobei jedoch horizontale Prozesse (Oberflächenabfluss, lateraler Drainabfluss) ebenfalls bilanziert werden. Die Tabelle 1 soll einen Überblick über die wesentlichen Modellansätze geben, die im Modell Verwendung finden.

Tabelle 1: Im Modell BOWAHALD verwendete Modellansätze zur Erfassung der Teilprozesse des Deponiewasserhaushaltes

Teilprozess	Modellansatz
Schnee-schmelze	Tagesgradverfahren (incl. Schmelzwasserretention in der Schneedecke)
Interzeption	Interzeptions-Speichermodell für verschiedene Bewuchsarten (unbewachsen, Grasbewuchs, Wald, landwirtschaftliche Kulturen)
Infiltration/Oberflächenabfluss	Curve-Number-Verfahren in Kombination mit einem Muldenspeichermodell
Versickerung	DARCY-Gesetz für gesättigte Bedingungen (alle Schichten)
Verdunstung	<p><u>potenzielle Verdunstung:</u></p> <p>Formeln nach PENMAN, TURC, HAUDE bzw. IVANOV</p> <p><u>reale Verdunstung:</u></p> <p>Reduktionsfunktionen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte, der Wurzelgeometrie und dem Vegetationsbedeckungsgrad</p>

Im Sinne der im Abschnitt 1 genannten Zielstellung wird es als notwendig erachtet, mittels des Modells BOWAHALD einen möglichst langen Zeitraum zu modellieren, um möglichst gesicherte Aussagen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten abzuleiten.

Zur Ermittlung der sich im Starkregenfall bildenden Oberflächenabflüsse wird das BOWAHALD-Modul ROHALDEP (DUNGER, 2002 B) verwendet. Das Modell ROHALDEP realisiert die Modellierung von Durchflussganglinien für beliebige Entwässerungspunkte.

Die räumliche Modelldiskretisierung orientiert sich horizontal an der Entwässerungsstrategie (Entwässerungsrichtung, ggf. Knotenpunkte) und setzt die Untergliederung des Untersuchungsraumes in Entwässerungsflächen voraus. In vertikaler Richtung geht die Schichtenabfolge in die Modellierung ein. Die zeitliche Modelldiskretisierung beträgt eine Minute. In Abfluss transformiert wird der der Bemessung zugrunde gelegte Starkregen.

In Abhängigkeit von den morphologischen, pedologischen und Bewuchseigenschaften der Deponie werden auf der Grundlage des Bemessungsregens hinsichtlich Form, Scheiteldurchfluss und Durchflussdauer unterschiedliche Durchflussganglinien simuliert. Einen Überblick über die Modellstruktur soll die Abbildung 1 geben. Eine ausführliche Modellbeschreibung ist in DUNGER (2002 B) enthalten.

ABFLUSSBILDUNG AUF DER DEPONIE/HALDE (realisiert im Teilmodell ROHALDE)		
Notwendige Informationen:		
Bemessungsniederschlag		
- Niederschlagsmenge: Daten des KOSTRA-Atlas (BARTELS U. A., 2005) oder Basisregenspende - Bemessungsniederschlagsdauer und -wiederkehrintervall		
Pedologie der Oberfläche	Bewuchs	Vorfeuchte
- k_f -Wert der Oberfläche - Hangneigung - Hanglänge	- unbewachsen - Grasbewuchs - Gras/Strauch/Baum	- gering - mittel - hoch
Methodik: KOSTRA-Atlas (DWD, BARTELS U. A., 2005) bzw. REINHOLD -Formel (REINHOLD, 1940) US-SCS-Verfahren (US SCS, 1972, 1985, 1986), HAAN (1982), MANIAK (2005) Deponie-/Haldenspezifizierung: entsprechend HELP-Modell (SCHROEDER ET AL., 1994) Hangneigung, Hanglänge und Vorfeuchte: WOOLHISER ET AL., 1990, MANIAK (2005)		
ABFLUSSKONZENTRATION (realisiert im Teilmodell ROHALDE)		
Notwendige Informationen:		
Deponie-/Haldenmorphologie und -geometrie		
Methodik: Kirpich-Formel (KIRPICH, 1940), Faltungsintegral, gekoppelt mit einem Parallelkaskadenmodell		
ABFLUSSVERLAUF IM ENTWÄSSERUNGSNETZ (realisiert im Teilmodell ISOCHRON)		
Notwendige Informationen:		
Entwässerungsstrategie, Länge, Gefälle und Bauausführung der Entwässerungsstrecken		
Methodik: Anwendung des Isochronenkonzeptes (s. z. B. DYCK, PESCHKE, 1995)		
DIMENSIONIERUNG VON REGENRÜCKHALTERÄUMEN (realisiert im Teilmodell SPEICHER)		
Notwendige Informationen:		
Zuflussmengen zum zu planenden Rückhalteraum, geplante Regelabgabe (alle notwendigen Informationen werden zuvor modellintern berechnet)		
Methodik: Anwendung der Kontinuitätsgleichung (Speicherbilanzgleichung)		

Abb. 1: Modellstruktur und wesentliche Modellansätze des Starkregen-Entwässerungsplanungsmodells ROHALDEP

Bezüglich der wasserhaushaltlichen Quantifizierung der Solarmodule sind basierend auf den in DUNGER U. A. (2015) veröffentlichten Ergebnissen, die im Zuge einer BOWAHALD-Kalibrierung für das PV-Feld der Deponie Bautzen-Nedelwitz gewonnen wurden, und unter Berücksichtigung der konkreten Gegebenheiten der ehem. Aschedeponie Trotha (SCHWENGFELDER, 2015) folgende Annahmen getroffen worden:

- Auftreffen der sich auf den Modulen bildenden Oberflächenabflüsse auf die Bodenoberfläche am tiefsten Punkt des Moduls (konservative Annahme),
- Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche durch die Solarmodule verkleinert durch eine flächengewichtete Verminderung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) der Bodenoberfläche → Wichtungsfaktor = Fläche [m^2] der Solarmodule je m^2 Bodenoberfläche,
- Verminderung des Bestandskoeffizienten (k_C -Faktor) von 1,0 (Freifläche) auf 0,9 (unter den Solarpanelen) → entsprechend den Beobachtungen vor Ort nur geringfügig eingeschränkte potenzielle Verdunstung unter den Solarpanelen gegenüber den Freiflächen infolge des geringeren Strahlungsangebots,

- Annahme einer ebenfalls nur geringfügigen Reduzierung der maximalen Wurzeltiefe des Bewuchses (Gräser und Kräuter) unter den PV-Modulen von 1,4 m (Freifläche) auf 1,2 m → sowie
- ebenfalls nur geringfügige Abminderung des maximalen Bewuchsbedeckungsgrades von 0,9 (Freifläche) auf 0,8 (unter den PV-Modulen).

4. Umsetzung der Methodik auf den Untersuchungsstandort

4.1. Horizontaldiskretisierung – Hydrotopeninteilung

Auf Grund der Tatsache, dass eine einheitlich ebene Fläche vorliegt, kann im Fall der ehem. Aschedeponie Trotha auf eine detaillierte Hydrotopdifferenzierung verzichtet werden. Die Gesamtfläche der ehem. Aschedeponie (vgl. Anlage 1) wird als Gras-/Krautfläche betrachtet und für die Zustände ohne und mit Solarpanelen modelliert.

4.2. Vertikaldiskretisierung – Schichtenabfolge

Entsprechend der Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 1) wurde lediglich die Rekultivierungsschicht betrachtet. Im Ergebnis von insgesamt 6 Rammkernsondierungen (HPC, 2015) ergibt sich für die Rekultivierungsschicht eine mittlere Mächtigkeit von 1,4 m (Schwankungsbreite: 0,6 bis 1,7 m).

4.3. Modellparameter

Für die Modellierung sind die folgenden Eingabeparameter zu identifizieren:

- geographisch-morphologische Parameter,
- Bewuchsparameter und
- pedologische Parameter.

Geographisch-morphologische Parameter:

- geographische Lage des Deponiestandortes: 51°, 32 n. Br. (nach GOOGLE EARTH)
- Höhenlage: m Mittel etwa 85 m NN
- nahezu ebene Verhältnisse → Hangneigung: 0 %

Nutzungs-/Bewuchsparameter:

Es wurden zwei Nutzungsszenarien betrachtet:

- Nutzungsszenario 1 (Istzustand): Gras-/Krautbewuchs (flächendeckend)
- Nutzungsszenario 2 (Planungszustand): Solarmodule → neben und unter den Modulen Gras-/Krautbewuchs → Flächenanteil der Solarmodule: 48 % (entsprechend der Planungsunterlagen, vgl. Anlage 2)

Für diese Nutzungsszenarien wurden die folgenden Bewuchsparameter angesetzt (vgl. auch Abschnitt 3):

Nutzungsszenario 1 (Istzustand): Gras-Krautbewuchs (flächendeckend):

- Bewuchsentwicklung: normal
- Vegetationsbedeckungsgrad: 90 %
- maximale Wurzeltiefe: 140 cm → Es wurde angenommen, dass insbesondere die Wurzeln der Kräuter in der Lage sind, Bodenwasser bis zur Basis der Rekultivierungsschicht zu erschließen. Diese Annahme basiert auf Ergebnissen, die u. a. in KUTSCHERA, LICHTENEGGER (1982, 1992) und GDA (2010) dokumentiert sind (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Spannweiten üblicher Wurzeltiefen für ausgewählte Grünlandvegetationen (nach KUTSCHERA, LICHTENEGGER, 1982, 1992 und GDA, 2010)

Gräser, Kräuter	Wurzeltiefe [m]
Wiesen-Hornklee	0,3 – 1,2
Gemeine Kratzdistel	bis 2,0
Wiesenrispengras	0,7 – 2,0
Glatthafer	1,0 – 2,0
Löwenzahn	0,7 – 2,4
Ackerkratzdistel	0,4 – 3,0
Mehlige Königskerze	bis 3,2
Krauser Ampfer	0,7 – 3,2

- Bereich der maximalen Wurzeldichte: 0,2 m (oberflächennah, begingt durch die Gräser, die im Allgemeinen nur oberflächennahe Wurzeln ausbilden)
- Bestandskoeffizient (k_C -Faktor): 1,0 (Gras entsprechend)

Nutzungsszenario 2 (Planungszustand): Solarmodule (neben und unter den Modulen Gras-/Krautbewuchs)

- Vegetationsbedeckungsgrade:
 - Gras-Krautbewuchs neben den Solarpanelen: 90 % (wie Nutzungsszenario 1)
 - Gras-Krautbewuchs unter den Solarpanelen: 80 % (Annahme eines etwas eingeschränkten Bewuchses unter den Solarpanelen) → Annahme, dass der Bewuchs unter den Solarpanelen kaum schlechter ausgebildet ist als auf der Freifläche.
 - flächengewichteter Modellwert: 85 %
- Bestandskoeffizienten (k_C -Faktoren):
 - Gras-Krautbewuchs neben den Solarpanelen: 1,0 (wie Nutzungsszenario 1)
 - Gras-Krautbewuchs unter den Solarpanelen: 0,9 (Annahme einer um etwa 10 % eingeschränkten potenziellen Verdunstung unter den Solarpanelen gegenüber den Freiflächen infolge des geringeren Strahlungsangebots)
 - flächengewichteter Modellwert: 0,95

- maximale Wurzeltiefen:
 - Gras-Krautbewuchs neben den Solarpanelen: 1,4 m (wie Nutzungsszenario 1)
 - Gras-Krautbewuchs unter den Solarpanelen: 1,2
 - flächengewichteter Modellwert: 1,3 m
- alle anderen Bewuchsparameter analog Nutzungsszenario 1

Pedologische Parameter der Rekultivierungsschicht:

In Ermangelung konkreter Informationen zu den Wassertransport- und Wasserspeicherparametern des zur Rekultivierung verwendeten tESDA-Substrats wurde in Absprache mit dem AG (SCHWENGFELDER, 2015) die Festlegung getroffen, die im Zuge der Sanierung des Südbeckens der Altdeponie Hochhalde Leuna gewonnenen Parameter zu verwenden (siehe DUNGER, 2010). Dies erscheint unter dem Aspekt, dass sich die Substrate sehr ähnlich sind, gerechtfertigt.

Für die Hochhalde Leuna wurde bezüglich der pedologischen Parameter eine Untergliederung in 3 Bereiche vorgenommen (vgl. DUNGER, 2010):

- Bereich 1: stärker durchwurzelt, höchste k_f , nFK- und LK-Werte der 3 Bereiche,
- Bereich 2: weit weniger durchwurzelt, mittlere k_f , nFK- und LK-Werte der 3 Bereiche und
- Bereich 3: nicht durchwurzelt, geringste k_f , nFK- und LK-Werte der 3 Bereiche.

Dabei sind zwei Dinge zu beachten:

- Für die Hochhalde Leuna ist das Substrat ausschließlich für den Unterboden verwendet worden.
- Der Unterboden ist als nicht komplett durchwurzelt angenommen worden (vgl. Charakteristik des Bereichs 3).

Bezogen auf die Verhältnisse, die für die ehem. Aschedeponie Trotha anzusetzen sind (Rekultivierungsschicht komplett aus tESDA-Substrat sowie sehr wahrscheinlich komplette Durchwurzlung der Rekultivierungsschicht), bedeutet dies, dass es realistischer erscheint, nur von zwei Bereichen auszugehen: Bereiche 1 und 2 (Charakteristik → s. o.).

In Analogie zur Hochhalde Leuna werden den beiden Bereichen folgende Parameter zugeordnet (Details → s. DUNGER, 2010):

- Bereich 1 (Istzustand ohne PV-Module):
 - Mächtigkeit: 30 cm
 - Wassertransportvermögen (k_f -Wert): $1 \cdot 10^{-6}$ m/s
 - Wasserspeichervermögen: nFK = 20 Vol.-%, LK: 10 Vol.-%
 - daraus ableitbare Modellparameter: Sättigungswassergehalt $\Theta_{SAT} = 70$ Vol.-%, Feldkapazität: $\Theta_{FC} = 60$ Vol.-%, permanenter Welkepunkt $\Theta_{PWP} = 40$ Vol.-%
- Bereich 1 (Planungszustand mit PV-Modulen):
 - Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche durch die Solar-

- module verkleinert → flächengewichtete Verminderung des k_f -Wertes der Bodenoberfläche → Wichtungsfaktor = Flächenanteil der Solarmodule = 48 %
- gegenüber dem Ausgangszustand abgeminderter k_f -Wert der Oberfläche der Rekultivierungsschicht → $k_f = 1 * 10^{-6} \text{ m/s} * (1 - 0,48) = 5,2 * 10^{-7} \text{ m/s}$
 - alle anderen Parameter (Mächtigkeit, Wasserspeicherparameter) analog Istzustand
- Bereich 2:
- Mächtigkeit: 110 cm
 - $k_f = 1 * 10^{-7} \text{ m/s}$
 - nFK = 17 Vol.-%, LK: 5 Vol.-%
 - Wassergehalte: $\Theta_{SAT} = 65 \text{ Vol.-%}$, $\Theta_{FC} = 60 \text{ Vol.-%}$, $\Theta_{PWP} = 43 \text{ Vol.-%}$

In der Anlage 3 sind weiterführende Parameter, die insbesondere für die Oberflächenabflussmodellierung im Starkregenfall notwendig sind, aufgeführt. Die maßgebenden Parameter für die Ermittlung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall sind insbesondere der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) der Oberfläche und der Bewuchs (Parameter → s. o.). Die Festlegung der Vorgeuchte vor Beginn des Starkregenereignisses ist entsprechend der DVWK-Anleitung A 113 (DVWK, 1984) als durchschnittlich erfolgt. Als Wiederkehrintervalle wurden alle hinsichtlich KOSTRA-Starkregentabelle möglichen Wiederkehrintervalle zwischen 0,5 und 100 Jahren angesetzt (vgl. Anlage 4).

Die mittlere maßgebende Regendauer für die Oberflächenabflussbildung (Regendauer, für die der Abflussscheitel maximal wird) ist mittels des Modells ROHALDEP ermittelt worden. Das Modell ROHALDEP prüft modellintern durch iterative Veränderung der Regendauer, für welche Regendauer der maximale Scheiteldurchfluss entsteht. Bezüglich der Abflusskonzentration wurde von einer flächenhaften Konzentration ausgegangen. Laufzeitdifferenzen bei der Abflusskonzentration und beim Abflussverlauf blieben auf Grund der im Vergleich zu Wassereinzugsgebieten kleinen Gesamtfläche und der damit im Zusammenhang stehenden kurzen Abflussreaktionszeit unberücksichtigt.

4.4. Meteorologische Daten

4.4.1. Datenmaterial zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten

Neben den Deponieparametern (vgl. Abschnitt 4.3) werden zur Modellierung repräsentative meteorologische Daten benötigt. Im Einzelnen sind dies tägliche Werte für die Größen mittlere Lufttemperatur, mittlere relative Luftfeuchte, Summe der Sonnenscheindauer und Niederschlagssumme.

Im Sinne der im Abschnitt 1 genannten Zielstellung ist es notwendig, mittels des Modells BOWAHALD einen möglichst langen Zeitraum zu modellieren, um gesicherte Aussagen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten ableiten zu können. Zunächst musste eine Station in der Nähe des Deponiestandortes eruiert werden, für die alle modellrelevanten Größen für einen möglichst langen Zeitraum (mehrere Jahrzehnte) vorliegen. Außerdem sollten die Daten im Interesse der Aufwandsminimierung kostenfrei von der Internetseite des DWD (www.dwd.de) herunterladbar sein.

Im konkreten Anwendungsfall sind Internetdaten der DWD-Stationen Halle-Trotha (Größe Niederschlag) und Halle-Kröllwitz (darüber hinaus Temperatur, relative Luftfeuchte und Sonnenscheindauer) verfügbar. Beide Stationen sind nur etwa 2 km vom Untersuchungsstandort entfernt und liegen mit 76 m NN (Trotha) bzw. 93 m NN (Kröllwitz) in etwa auf gleicher Höhe. Die Niederschlagsmessungen in Trotha beginnen im Januar 1969 und enden im Dezember 2001. Fehltag gibt es keine. Der Datensatz liegt vollständig vor. Für die Station Halle-Kröllwitz existieren die Daten vom Dezember 1953 bis heute, allerdings nicht lückenlos. So fehlen Werte der Sonnenscheindauer von Januar 1980 bis Juni 1992. Im Jahr 1991 ist die Station komplett ausgefallen. Danach sind jedoch immer noch große Datenlücken vorhanden. Störungen mit zeitweiligen Ausfällen gab es bis 2002.

Der Deutsche Wetterdienst empfiehlt für langjährige Untersuchungen die Verwendung eines 30-jährigen Zeitraums. Dieser Zeitraum sollte entweder die Reihe 1961 – 1990 (WMO-Referenzreihe) bzw. 1981 – 2010 (DWD-Referenzreihe) umfassen. Beide Referenzzeiträume sind mit dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial nicht ohne weiteres abzudecken. Wegen des Fehlens von Daten für das Jahr 1991 scheidet letztgenannter Referenzzeitraum von vornherein aus.

Der von der Weltmeteorologenorganisation WMO empfohlene Referenzzeitraum 1961 – 1990 kann für den Untersuchungsstandort hingegen betrachtet werden, allerdings nur unter folgenden Voraussetzungen:

- Es werden ausschließlich Daten der DWD-Station Halle-Kröllwitz verwendet. Dies erscheint auf Grund der Tatsache, dass sowohl die Entfernung zur ehem. Aschedeponie nur ca. 2 km beträgt als auch die Höhenlage stimmig ist, legitim.
- Fehlende Werte der Sonnenscheindauer für den Zeitraum 1980 – 1992 werden durch Werte der ca. 22 km entfernt gelegenen DWD-Station am Flughafen Leipzig-Halle aufgefüllt. Da die Sonnenscheindauer der Parameter ist, der von lokalen Einflüssen am wenigsten abhängig ist, kann diese Herangehensweise sicher akzeptiert werden. Die Werteübernahme erfolgt ohne Korrekturen.
- Zwei Fehlwerte der relativen Luftfeuchte (22. und 23.09.1990) werden ebenfalls von der DWD-Station am Flughafen Leipzig-Halle übernommen und dies ebenfalls ohne Wertekorrekturen.

Die Tabelle 3 enthält eine Übersicht über die langjährig mittleren Monats- und Jahreswerte der wasserhaushaltlich relevanten Klimaelemente.

Tabelle 3: Langjährige Monatswerte der für die Modellierung notwendigen Klimaelemente für die DWD-Station Halle-Kröllwitz für die Reihe 1961 – 1990

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
T	-0,0	0,7	4,2	8,3	13,2	16,5	18,0	17,7	14,3	9,8	4,8	1,4	9,1
RLF	84	82	76	72	70	71	70	71	77	81	83	85	77
SSD	43	66	110	152	207	205	209	200	145	106	54	38	1536
P	28	28	33	41	58	61	56	58	42	33	33	36	509

T - Temperatur [°C]

RLF - Relative Luftfeuchte [%]

SSD - Sonnenscheindauer [h]

P - Niederschlag [mm]

In der Tabelle 3 sind die Niederschlagswerte bereits um Messfehler, die durch Überwehungs-, Benetzungs- und Verdunstungseffekte hervorgerufen werden, korrigiert (nach BAUMGARTNER, LIEBSCHER, 1990 mit einem konstanten Faktor von 1,1).

4.4.2. Starkregenmengen

Für die Untersuchungen zum Starkregenfall (Oberflächenabflussbildung) wurden Regenmengen entsprechend Regendauern und Wiederkehrintervallen auf Grundlage des KOSTRA-Starkregenatlas des Deutschen Wetterdienstes (BARTELS U. A., 2005) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind für den Untersuchungsstandort in der Anlage 4 dokumentiert. Die KOSTRA-Regenmengen wurden entsprechend der in BARTELS U. A. (2005) gegebenen Empfehlung je nach Wiederkehrintervall um 10 – 20 % erhöht, um eine zusätzliche Sicherheit resultierend aus der Unsicherheit der Starkregenwerte einzurechnen.

Für die Modellrechnungen zur Oberflächenabflussbildung im Starkregenfall wurden alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle zwischen 1 und 100 Jahre genutzt. Hierdurch ist es möglich, den Einfluss der Solarpaneele auf die Oberflächenabflussbildung in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall zu quantifizieren.

5. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation

5.1. Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten

Die Tabelle 4 enthält eine Übersicht bezüglich der langjährigen Wasserbilanzen für die beiden betrachteten Zustände:

- Istzustand (ohne Solarpaneele) und
- Planungszustand (mit Solarpaneele).

Aufgelistet sind die wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag P (messfehlerkorrigiert), reale Verdunstung ETR, Oberflächenabfluss RO (einschließlich Oberflächenvernässung) und Restdurchsickerung RU (Sickerwassermenge an der Basis der Oberflächensicherung. Eine Zusammenstellung der Detailergebnisse ist in der Anlage 5 enthalten. Betrachtet wurden das langjährige Mittel sowie Nass- und Trockenjahre.

Tabelle 4: Wasserhaushaltsbilanzen im langjährigen Mittel sowie in Nass- und Trockenjahren als Jahresbilanzen (Modellierungszeitraum 1961 – 1990)

Klimatischer Zustand	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RU [mm/a]
Langjähriges Mittel	509	485 472	3 3	21 34
Nassestes Jahr	707	522 499	31 31	26 45
Sickerwasserreichstes Jahr	493	483 461	0 0	77 102
Trockenstes Jahr	294	321 322	0 0	0 0
Sickerwasserärmstes Jahr	15 bzw. 12 Jahre ohne Sickerwasserbildung (RU = 0)			

grün: Istzustand (ohne Solarpaneele) blau: Planungszustand (mit Solarpaneele)

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Die modellierten Bilanzen (s. Tabelle 4) zeigen für den Istzustand folgendes Bild:

- Die vorhandene Gras-/Krautvegetation ist gegenwärtig in der Lage, im langjährigen Mittel von den ca. 500 – 510 mm/a auf die ehem. Aschedeponie fallenden Niederschlägen etwa 480 – 490 mm/a zu verdunsten. Die modellierten Oberflächenabflüsse liegen bei etwa unter 10 mm/a und spielen damit im langjährigen Mittel kaum eine Rolle (dies kann im Starkregenfall anders aussehen, vgl. Abschnitt 5.4). An der Basis der Rekultivierungsschicht kommen ca. 20 – 30 mm/a Sickerwasser an. Dies sind in etwa 4 % von Niederschlag.
- Das Ergebnis von 4 % Sickerwasser bezogen auf den Niederschlag erscheint insofern plausibel, als dass die in den Sickerwassersammlern gemessenen Mengen zwischen etwa 1 und 4 % vom Niederschlag betragen (KLICHE, 2005, REBO, 2007).

Für den Planungszustand sind gegenüber dem Istzustand folgende Veränderungen erkennbar:

- Der weniger verdunstungswirksame Gras-/Krautbewuchs unter den Solarpanelen bewirkt einen Rückgang der langjährig mittleren realen Verdunstung um etwa 10 – 15 mm/a, d. h. um weniger als 5 %. Dieser Rückgang ist als sehr moderat zu bezeichnen und ergibt sich daraus, dass auch unter den Solarelementen von einem immer noch wasserhaushaltlich funktionierenden Gras-/Krautbewuchs ausgegangen worden ist.
- Die Oberflächenabflüsse ändern sich gegenüber dem Istzustand nur marginal. Die Restdurchsickerungsmengen erhöhen sich im Ergebnis der etwas eingeschränkten Verdunstung unter den Paneelen um etwa 10 – 15 mm/a, also ebenfalls nicht dramatisch. Sie liegen auch dann noch in einem Bereich, der sich deutlich unter 50 mm/a bewegt.

5.2. Austrocknung der Rekultivierungsschicht und Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung aus wasserhaushaltlicher Sicht

Die Modellierung der Bodenfeuchteentwicklung in der Rekultivierungsschicht während sommerlicher Trockenperioden gestattet eine Abschätzung, in wie weit die Vegetation in Stresssituationen gelangt. Will man Trockenstresssituationen charakterisieren und quantifizieren, so sollte man zunächst einmal Grenzwerte festlegen.

Nach LANUV NRW (2010) können Bodenfeuchtwerte über 30 % nFK als ausreichend für eine gute Bewuchsentwicklung angesehen werden (s. auch Abbildung 2). Trockenstress spielt bei Bodenfeuchtwerten unterhalb von 30 % nFK eine zunehmende Rolle. Bei Wassergehalten unter 10 % nFK kann von akutem Trockenstress ausgegangen werden. Solch geringe Bodenfeuchtwerte sollten nicht oder nur äußerst selten auftreten.

Die Tabelle 5 enthält die über den betrachteten 30-jährigen Zeitraum modellierten minimalen Bodenfeuchtwerte sowie die Häufigkeiten bezüglich sehr kritischer Austrocknungsbeträge (Wassergehalte unter 10 % nutzbarer Feldkapazität nFK, d. h. hohes Stresspotenzial für die Pflanzen) und bezüglich beginnendem Trockenstress (Wassergehalte unter 30 % nFK), die sich für die Rekultivierungsschicht insgesamt (bis 1,4 m Tiefe) ergeben.

Die Austrocknungshäufigkeiten werden für das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) analysiert. Die Details enthält die Anlage 6. In der Abbildung 3 sind die Bodenfeuchteverteilungen für die beiden Zustände gegenüber gestellt.

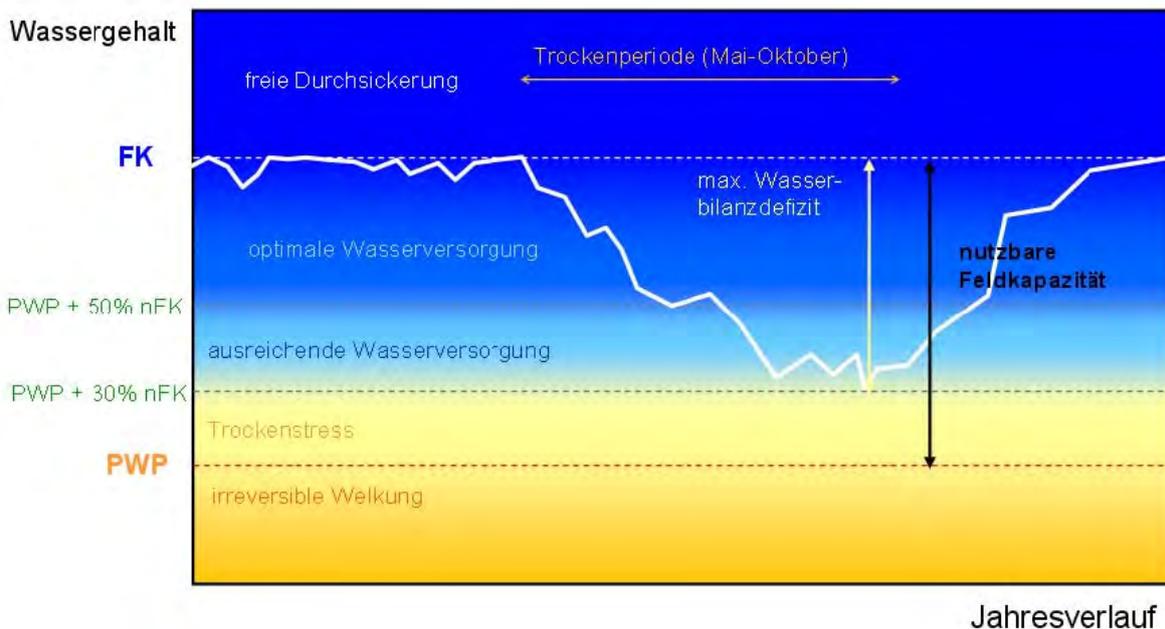


Abb. 2: Grad der Wasserversorgung mit Bezug zum Pflanzenwachstum (aus LANUV NRW, 2010)

Tabelle 5: Minimale Wassergehalte sowie Häufigkeiten des Unterschreitens von Bodenfeuchtwerten unter 10 % nFK (hohes Stresspotenzial) und unter 30 % nFK (Stressbeginn) für die Rekultivierungsschicht im hydrologischen Sommerhalbjahr

Zustand	Minimale Bodenfeuchte [% nFK]	Austrocknungshäufigkeit [%] (Mai bis Oktober)	
		< 10 % nFK	< 30 % nFK
Istzustand	9,1	0,1	8,3
Planungszustand	15,8	0,0	6,8

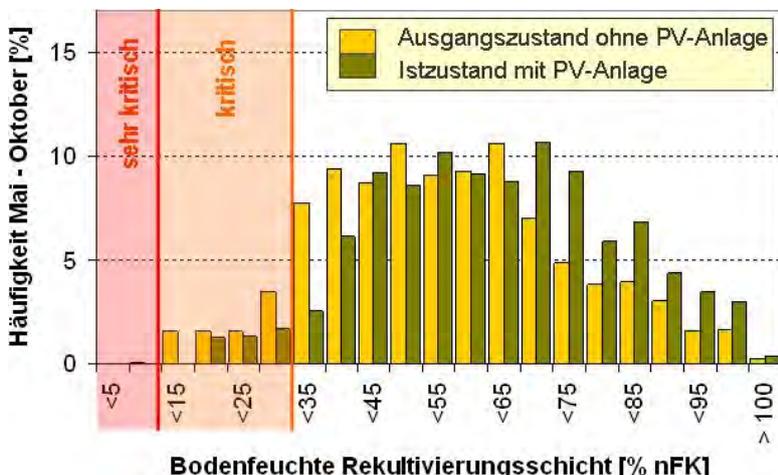


Abb. 3: Verteilung der Bodenfeuchtwerte in der Rekultivierungsschicht für die beiden Zustände ohne und mit PV-Anlage

Wie der Tabelle 5 und der Abbildung 3 entnehmbar ist, verbessern sich die Bewuchsbedingungen durch die PV-Anlage. Der Grasbewuchs gerät weniger häufig in Trockenstresssituationen. Bodenfeuchtigkeiten mit hohem Stresspotenzial (unter 10 % nFK) sind praktisch auszuschließen.

5.3. Verhalten bezüglich Oberflächenabfluss- und Sickerwasserbildung im Starkregenfall

Die Ermittlung der Oberflächenabflussmengen erfolgte mit dem BOWAHALD-Modul ROHALDEP (Methodik → vgl. Abschnitt 3), das entsprechend Abschnitten 4.3 und 4.4 parametrisiert worden ist.

In der Tabelle 6 sind die Änderungen hinsichtlich der Durchflussscheitelwerte aufgeführt, die sich für die beiden Zustände Istzustand ohne PV-Anlage und Planungszustand mit PV-Anlage) ergeben. Die Details enthalten die Anlagen 7 und 8.

Tabelle 6: Einfluss der Solarpanelen auf die Scheiteldurchflüsse für Starkregen mit verschiedenen Wiederkehrintervallen

Wiederkehrintervall [a]	Scheiteldurchfluss (Maximaldurchfluss) [l/s] am tiefsten Punkt der Altdeponie		
	Istzustand	Planungszustand	Änderung [%]
1	47	58	23
2	73	89	22
5	112	135	21
10	155	183	18
20	192	224	17
50	244	281	15
100	305	346	13

Es wird deutlich, dass die Beeinflussung der oberflächlich gebildeten Abflüsse durch die PV-Elemente bei Starkregenereignissen mit geringem Wiederkehrintervall ausgeprägter ist als bei solchen mit großem Wiederkehrintervall.

Ein solches Verhalten entspricht den Erwartungen, weil im Fall hoher Niederschläge (= hohes Wiederkehrintervall) allgemein hohe Oberflächenabflüsse gebildet werden und folglich andere Einflussfaktoren (Bewuchs, Eigenschaften des Rekultivierungssubstrats) an Bedeutung verlieren. Alles in allem fällt die durch die Solarelemente verursachte Zunahme an Oberflächenwasser im Starkregenfall moderat aus.

Abschließend sind die Auswirkungen der PV-Anlage auf die sich im Starkregenfall bildenden Sickerwassermengen untersucht worden. Betrachtet wurden die Verteilungen der täglichen Sickerwassermengen. Die Details enthält die Anlage 9. In der Abbildung 4 sind die Sickerwasserverteilungen für die beiden untersuchten Zustände (Istzustand ohne PV-Anlage und Planungszustand mit PV-Anlage) grafisch gegenüber gestellt.

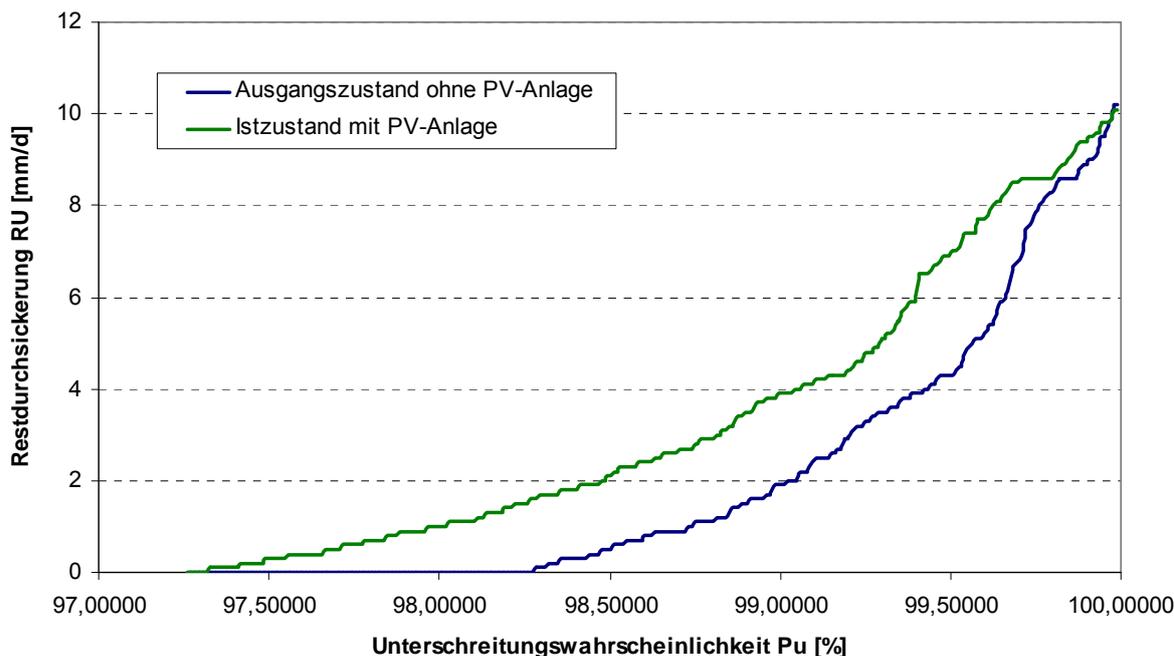


Abb. 4: Sickerwasserbildung für die Zustände ohne und mit PV-Anlage

Aus den Modellrechnungen geht hervor (vgl. Abbildung 4 sowie Anlage 9), dass sich die Sickerwasserwassermengen infolge der PV-Anlage nicht wesentlich verändern. Nur in etwa 2,0 – 2,5 % aller Tage kommt es im Planungszustand zur Sickerwasserbildung an der Basis der Rekultivierungsschicht. Für den Istzustand sind es etwa 2,5 – 3,0 % aller Tage. Die maximale tägliche Sickerwassermenge, betrachtet über die 30 jährige Simulationsreihe, beträgt ca. 10 mm.

6. Zusammenfassung

Die ehemalige Aschedeponie Trotha verfügt über eine Oberflächenabdeckung (Rekultivierungsschicht). Gegenwärtig wird erwogen, eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage) zu errichten. Dem entsprechend ist der quantitative Nachweis zu erbringen, dass hierdurch die wasserhaushaltliche Funktionalität der Rekultivierungsschicht insbesondere bezüglich der Durchsickerungsmengen weitgehend erhalten bleibt.

Bezüglich der Führung der Nachweise ist für den konkreten Anwendungsfall das Modell BOWAHALD verwendet worden, weil bezüglich der Parametrisierung der Solarpanelen bereits Erfahrungen aus anderen Projekten vorliegen, die in DUNGER U. A. (2012, 2013, 2015) veröffentlicht sind.

Die Modellparametrisierung erfolgte auf der Basis bereits vorhandener Unterlagen. Bezüglich der wasserhaushaltlichen Quantifizierung der Solarmodule sind folgende Annahmen getroffen worden:

- Auftreffen der sich auf den Modulen bildenden Oberflächenabflüsse auf die Bodenoberfläche am tiefsten Punkt des Moduls (konservative Annahme),

- Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche durch die Solarmodule verkleinert durch eine flächengewichtete Verminderung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) der Bodenoberfläche → Wichtungsfaktor = Fläche [m^2] der Solarmodule je m^2 Bodenoberfläche,
- Verminderung des Bestandskoeffizienten (k_C -Faktor) von 1,0 (Freifläche) auf 0,9 (unter den Solarpanelen) → entsprechend den Beobachtungen vor Ort nur geringfügig eingeschränkte potenzielle Verdunstung unter den Solarpanelen gegenüber den Freiflächen infolge des geringeren Strahlungsangebots,
- Annahme einer ebenfalls nur geringfügigen Reduzierung der maximalen Wurzeltiefe des Bewuchses (Gräser und Kräuter) unter den PV-Modulen von 1,4 m (Freifläche) auf 1,2 m → sowie
- ebenfalls nur geringfügige Abminderung des maximalen Bewuchsbedeckungsgrades von 0,9 (Freifläche) auf 0,8 (unter den PV-Modulen).

Die meteorologischen Daten wurden von der DWD-Station Halle-Kröllwitz auf den Standort übertragen. Der Modellzeitraum umfasst die hydrologischen Jahre 1961 bis 1990 (WMO-Referenzreihe).

Bezüglich des Einflusses der PV-Anlage auf den Wasserhaushalt lassen sich aus den Modellrechnungen folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Der weniger verdunstungswirksame Gras-/Krautbewuchs unter den Solarpanelen bewirkt einen Rückgang der langjährig mittleren realen Verdunstung gegenüber dem Istzustand um etwa 10 – 15 mm/a, d. h. um weniger als 5 %. Dieser Rückgang ist als sehr moderat zu bezeichnen und ergibt sich daraus, dass auch unter den Solarelementen von einem immer noch wasserhaushaltlich funktionierenden Gras-/Krautbewuchs ausgegangen worden ist.
- Die Oberflächenabflüsse ändern sich gegenüber dem Istzustand nur marginal. Die Restdurchsickerungsmengen erhöhen sich im Ergebnis der etwas eingeschränkten Verdunstung unter den Paneelen um etwa 10 – 15 mm/a, also ebenfalls nicht dramatisch. Sie liegen auch für den Planungszustand noch in einem Bereich, der sich deutlich unter 50 mm/a bewegt.
- Die Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung verbessern sich durch die PV-Anlage infolge der damit verbundenen Beschattung. Der Grasbewuchs gerät weniger häufig in Trockenstresssituationen. Bodenfeuchtigkeiten mit hohem Stresspotenzial sind praktisch auszuschließen.
- Bezüglich der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall kann eingeschätzt werden, dass diese alles in allem moderat ausfallen. Für ein Wiederkehrintervall von 1 Jahr ergibt sich eine Zunahme um ca. 20 – 25 %. Für 100 Jahre Wiederkehrintervall sind es ca. 10 – 15 %.
- Aus den Modellrechnungen geht hervor, dass sich die Sickerwassermengen infolge der PV-Anlage nicht wesentlich verändern. Nur in etwa 2,0 – 2,5 % aller Tage kommt es im Planungszustand zur Sickerwasserbildung an der Basis der Rekultivierungsschicht. Für den Istzustand sind es etwa 2,5 – 3,0 % aller Tage. Die maximale tägliche Sickerwassermenge, betrachtet über die 30 jährige Simulationsreihe, beträgt ca. 10 mm.

7. Literaturverzeichnis

Bartels, H. , B. Dietzer, G. Malitz, F.M. Albrecht und J. Guttenberger (2005): KOSTRA-DWD-2000, Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951 - 2000) – Fortschreibungsbericht – Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach a. M., Selbstverlag.

Baumgartner, A. und H.-J. Liebscher (1990): Lehrbuch der Hydrologie, Band 1. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart

Berger, K. und V. Dunger (2000): Vergleichende Simulationsrechnungen mittels der Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodelle HELP und BOWAHALD. Proceedings zum Weiterbildungsseminar des DGFZ e.V.: Simulation zum Halden-/Deponiewasserhaushalt am 7. und 8. April 2000 in Dresden.

Berger, K. und P. R. Schroeder (2013): Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance HELP Modell. Benutzerhandbuch für HELP-D (Version 3.95 D), 6. überarbeitete Auflage. Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg.

DepV (2009): Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts - Artikel 1 Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV). Vom 29. April 2009, BGBl. I Seite 900 ff.

Dunger, V. (2001): Modellierung des Wasserhaushaltes von Systemen zur Oberflächensicherung von Deponien mit dem Deponie- und Wasserhaushaltsmodell BOWAHALD. In: Egloffstein, Burkhardt, Czurda: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 2001. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Heft 122, Erich Schmidt Verlag Berlin

Dunger, V. (2002 a): Dokumentation des Modells BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von wasserungesättigten Deponien/Halden und deren Sicherungssystemen. Nutzerhandbuch, Version 04/2002.

Dunger, V. (2002 b): Dokumentation des Modells ROHALDEP zur quantitativen Abschätzung des Oberflächenabflusses von Halden- und Deponieflächen sowie zur Bemessung von Entwässerungstrecken und zur Dimensionierung eines Rückhaltebeckens. Nutzerhandbuch, Version 10/2002.

Dunger, V. (2006 a): Entwicklung und Anwendung des Modells BOWAHALD zur Quantifizierung des Wasserhaushaltes oberflächengesicherter Deponien und Halden. Habilitationsschrift, TU Bergakademie Freiberg, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau.

Dunger, V. (2006 b): Modeling of a landfill water balance system using the Model BOWAHALD. In: Wissenschaftliche Berichte Landfill Workshop Zittau – Liberec, Heft 86/2006, S. 59 – 80.

Dunger, V. (2010): Wasserhaushaltsmodellierung zur Maßnahme L21.08, Ergänzende Untersuchungen für die Sanierung des Südbeckens der Altdeponie Hochhalde Leuna. Bericht für ICL Ingenieur Consult Dr.-Ing. A. Kolbmüller GmbH Leipzig.

Dunger, V. und M. Müller (2010): Rahmenbedingungen für wirksame Wasserhaushaltsschichten gemäß Anforderungen DepV. In: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2010. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt.

Dunger, V., A. Krellmann und M. Kändler (2012): Einfluss von Solarpanelen auf den Wasserhaushalt von Deponieoberflächensicherungen – methodische Herangehensweise. In: Skladkovy Workshop Liberec – Zitava 2012, ISBN 978-80-7372-866-3, S. 117 – 127.

Dunger, V., A. Krellmann und U. Bartholomäus (2013): Vereinbarkeit von Solarpaneelen mit den Anforderungen an den Wasserhaushalt von Deponieoberflächensicherungen. In: Egloffstein, T. und G. Burkhardt: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2013, ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt, Band 24, S. 191 – 202.

Dunger, V., S. Dziejak und U. Bartholomäus (2015): Quantifizierung des Einflusses von Photovoltaikanlagen auf den Wasserhaushalt von Deponie-Oberflächensicherungen am Beispiel der Deponie Bautzen-Nadelwitz. In: Proceedings 11. Deponieworkshop Zittau-Liberec 2015.

DVWK - Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1984): Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II: Synthese. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 113, DVWK, Bonn.

Dyck, S. und G. Peschke (1995): Grundlagen der Hydrologie. 3. Auflage. Verlag für Bauwesen Berlin.

GDA E2-31 (2010): Rekultivierungsschichten. DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, AK 6.1 Geotechnik der Deponiebauwerke, online unter www.gdaonline.de.

Haan, C. T. (1982): Hydrologic modelling of small watersheds. ASAE Monograph 5

HPC (2008 a): Stilllegung der Aschedeponien Halle-Trotha, Genehmigungsantrag für ein endgültiges Abdecksystem, Deponie II/III, - HPC AG, Merseburg, 19.09.2008.

HPC (2008 b): Stilllegung der Aschedeponien Halle-Trotha, Genehmigungsantrag für ein endgültiges Abdecksystem, Deponie IV, - HPC AG, Merseburg, 19.09.2008.

HPC (2015): Standsicherheitsbetrachtung der Aschedeponien Halle-Trotha II/III und IV, Zwischenergebnisse der Felduntersuchungen, HPC AG, Merseburg, 03.12.2015.

Kirpich, Z.P. (1940): Time of concentration of small agricultural Watersheds. Civil Eng. 10 (1946), No. 6.

Kliche (2005): Abschlussbericht zu den Rekultivierungsmaßnahmen auf den Aschedeponien II / II und IV in Halle-Trotha für den Zeitraum von September 1999 bis einschließlich Juli 2005. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Kutschera, L. und E. Lichtenegger (1982): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen, Band I: Monocotyledoneae. Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, New York.

Kutschera, L. und E. Lichtenegger (1992): Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen, Band II: Pteridophyta und Dicotyledoneae (Magnoliopsida), Teil 1: Morphologie, Anatomie, Ökologie, Verbreitung, Soziologie, Wirtschaft. Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York.

LAGA (2011): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 – Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen vom 23.05.2011.

LAGA (2012): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ (2012): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“. Vom 02.08.2012.

LfUG Landesamt für Umwelt und Geologie (1999): Materialien zur Altlastenbehandlung: Oberflächensicherung von Altablagerungen und Deponien. Freistaat Sachsen. Lößnitz-Druck.

Maniak, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 5. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Rebo (2007): Beprobung Frühjahr 2007 – Deponie Halle Trotha. Rebo Umwelttechnik GmbH.

Reinhold, F. (1940): Regenspenden in Deutschland. Berlin: Archiv für Wasserwirtschaft Nr. 56.

Schroeder, P. R., T. S. Dozier, P. A. Zappi, B. M. McEnroe, J. W. Sjoström & R. L. Peyton (1994): The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3, EPA/600/R-94/168b, U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, D.C.

SMUL Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (1999): Methodik für die Auswahl und Bewertung von Schutz- und Rekultivierungsmaßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien im Freistaat Sachsen - Stilllegungsmethodik Altdeponien. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft Dresden.

US-SCS U.S. Soil Conservation Service (1972): SCS National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. USDA, Washington D.C.

US-SCS U.S. Soil Conservation Service (1985): SCS National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. USDA, Washington D.C.

US-SCS U.S. Soil Conservation Service (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55, Washington D.C.

Woolhiser, D. A., R. E. Smith and D. C. Goodrich (1990): KINEROS, a kinematic runoff and erosion model: Documentation and user manual. ARS-77. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.

8. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
AG	Auftraggeber	-
BQS	Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard	-
D	Niederschlagsdauer	min, h
DepV	Deponieverordnung	-
DS	Speicheränderung innerhalb des betrachteten Systems	mm
DSB	Bodenspeicheränderung	mm
DWD	Deutscher Wetterdienst	-
EI	Interzeptionsverdunstung	mm
ETPU	potenzielle Evapotranspirationsmenge, nicht standortkorrigiert	mm
ETPK	potenzielle Evapotranspirationsmenge (standortkorrigiert)	mm/d

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
ETR	reale Verdunstungsmenge	mm
EI	Interzeptionsverdunstung	mm
F	Infiltrationsmenge	mm
FEHL	Modellfehler (Bilanzungenauigkeit)	mm
hN	Niederschlagshöhe	mm
k_f	k_f -Wert	m/s
LK	Luftkapazität	Vol.-%
MS	Muldenspeichermenge	mm
nFK	nutzbare Feldkapazität	Vol.-%
P	Niederschlag	mm
P_D	Regendauer	min
PV	Photovoltaik	-
Q(t)	Gesamtabfluss	l/s
RH	hypodermischer (Drainage-) Abfluss	mm
RLF	relative Luftfeuchte	%
RO	Oberflächenabfluss	mm
ROV	Oberflächenvernässung	mm
RU	Sickerwassermenge an der Modellbasis	mm
rN	Niederschlagsspende (nach KOSTRA)	l/(s ha)
SB_{min}	minimaler Bodenfeuchtwert	Vol.-%
SSD	Sonnenscheindauer	h
STW	Stauwasser	mm
TP	Temperatur	°C
WS	Äquivalentwassergehalt der Schneedecke	mm

9. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Wasserhaushaltliche Untersuchungsflächen
- Anlage 2: Geplante Bemaßung der PV-Module auf der ehemaligen Aschedeponie Trotha
- Anlage 3: Wesentliche Parameter für die Modellierung der Starkregenabflüsse
- Anlage 4: Niederschlagshöhen und -spenden für den Untersuchungsstandort (nach BARTELS U. A., 2005)
- Anlage 5: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Istzustand (ohne Solarpanelen) und den Planungszustand (mit Solarpanelen)
- Anlage 6: Modellergebnisse zur Austrocknung der Rekultivierungsschicht
- Anlage 7: Starkregen-Oberflächenabflüsse für verschiedene Wiederkehrintervalle im Istzustand (ohne PV-Anlage)

Anlage 8: Starkregen-Oberflächenabflüsse für verschiedene Wiederkehrintervalle im Planungszustand (mit PV-Anlage)

Anlage 9: Sickerwassermengen im Starkregenfall



Anlage 1:

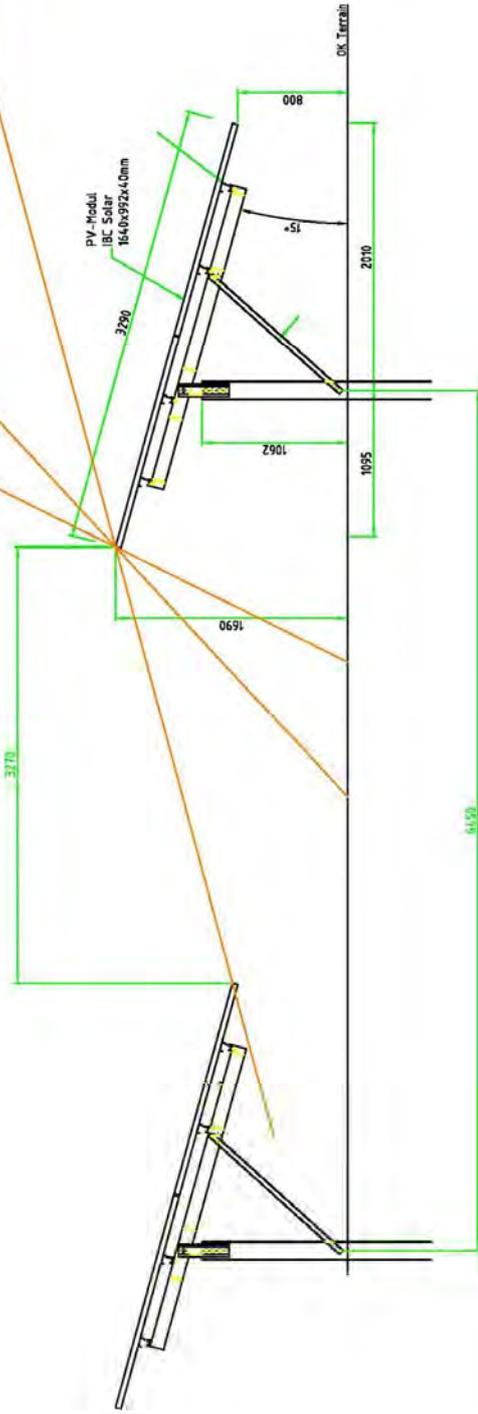
Wasserhaushaltliche Untersuchungsflächen

Kartengrundlage: HPC AG Merseburg

SONNENEINFALL HÖCHSTER SONNENSTAND ZUM 21.06.

SONNENEINFALL TAG- & NACHTGLEICHE ZUM 21.03. bzw. ZUM 21.09.

SONNENEINFALL ZUM 21.12.



Anlage 2:

Geplante Bemaßung der PV-Module auf der ehemaligen Aschedeponie Trotha

Kartengrundlage: HPC AG Merseburg

Anlage 3:

Wesentliche Parameter für die Modellierung der Starkregenabflüsse

Entwässerungsfläche: 132 000 m²

Mittlere Hangneigung: 0 %

Mittlere Hanglänge: 690 m

Breite am Deponiefuß: 230 m

Höchster Punkt: 92 m NN

Niedrigster Punkt: 82 m NN

Anlage 4:

Niederschlagshöhen und -spenden für den Untersuchungsstandort (nach BARTELS U. A., 2005)

KOSTRA-DWD 2000

Deutscher Wetterdienst - Hydrometeorologie -



Niederschlagshöhen und -spenden nach KOSTRA-DWD 2000

Niederschlagshöhen und -spenden

Zeitspanne : Januar - Dezember

Rasterfeld : Spalte: 51 Zeile: 49

T	0,5		1,0		2,0		5,0		10,0		20,0		50,0		100,0	
D	hN	rN	hN	rN	hN	rN										
5,0 min	3,5	116,9	5,2	173,5	6,9	230,0	9,1	304,8	10,8	361,4	12,5	418,0	14,8	492,7	16,5	549,3
10,0 min	5,8	96,4	8,0	133,4	10,2	170,4	13,2	219,3	15,4	256,2	17,6	293,2	20,5	342,1	22,7	379,1
15,0 min	7,2	79,5	9,8	108,3	12,3	137,2	15,8	175,3	18,4	204,2	21,0	233,0	24,4	271,2	27,0	300,0
20,0 min	8,0	67,0	10,9	91,2	13,8	115,4	17,7	147,4	20,6	171,6	23,5	195,7	27,3	227,7	30,2	251,9
30,0 min	9,1	50,4	12,5	69,3	15,9	88,2	20,4	113,1	23,8	132,0	27,1	150,8	31,6	175,8	35,0	194,6
45,0 min	9,8	36,2	13,8	50,9	17,7	65,7	23,0	85,1	27,0	99,8	30,9	114,5	36,2	134,0	40,1	148,7
60,0 min	10,1	27,9	14,5	40,3	18,9	52,6	24,8	68,9	29,3	81,3	33,7	93,6	39,6	109,9	44,0	122,2
90,0 min	11,4	21,1	16,0	29,7	20,7	38,3	26,8	49,6	31,4	58,2	36,0	66,8	42,2	78,1	46,8	86,7
2,0 h	12,5	17,3	17,2	24,0	22,0	30,6	28,3	39,3	33,1	45,9	37,8	52,6	44,1	61,3	48,9	67,9
3,0 h	14,1	13,1	19,1	17,7	24,1	22,3	30,6	28,4	35,6	32,9	40,6	37,5	47,1	43,6	52,1	48,2
4,0 h	15,4	10,7	20,5	14,2	25,6	17,8	32,4	22,5	37,5	26,0	42,6	29,6	49,4	34,3	54,5	37,8
6,0 h	17,4	8,0	22,7	10,5	28,0	13,0	35,1	16,2	40,4	18,7	45,7	21,2	52,8	24,4	58,1	26,9
9,0 h	19,6	6,0	25,1	7,8	30,7	9,5	38,0	11,7	43,6	13,4	49,1	15,2	56,5	17,4	62,0	19,1
12,0 h	21,3	4,9	27,0	6,3	32,7	7,6	40,3	9,3	46,0	10,6	51,7	12,0	59,3	13,7	65,0	15,0
18,0 h	23,7	3,7	29,8	4,6	35,8	5,5	43,8	6,8	49,9	7,7	55,9	8,6	63,9	9,9	70,0	10,8
24,0 h	26,1	3,0	32,5	3,8	38,9	4,5	47,4	5,5	53,8	6,2	60,1	7,0	68,6	7,9	75,0	8,7
48,0 h	28,1	1,6	37,5	2,2	46,9	2,7	59,3	3,4	68,8	4,0	78,2	4,5	90,6	5,2	100,0	5,8
72,0 h	33,2	1,4	45,0	1,7	54,8	2,1	67,7	2,6	77,5	3,0	87,3	3,4	100,2	3,9	110,0	4,2

T - Wiederkehrzeit (in [a]): mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet

D - Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen (in [min, h])

hN - Niederschlagshöhe (in [mm])

rN - Niederschlagsspende (in [l/(s*ha)])

Für die Berechnung wurden folgende Grundwerte (hN in [mm]) verwendet:

T/D	15,0 min	60,0 min	12,0 h	24,0 h	48,0 h	72,0 h
1 a	9,75	14,50	27,00	32,50	37,50	45,00
100 a	27,00	44,00	65,00	75,00	100,00	110,00

Berechnung "Kurze Dauerstufen" (D<=60 min): u hyperbolisch, w doppelt logarithmisch

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für rN(D;T) bzw. hN(D;T) in Abhängigkeit von der Wiederkehrzeit (Jährlichkeit)

bei 0,5 a <= T <= 5 a ein Toleranzbetrag ± 10 %,

bei 5 a < T <= 50 a ein Toleranzbetrag ± 15 %,

bei 50 a < T <= 100 a ein Toleranzbetrag ± 20 %, Berücksichtigung finden.

Anlage 5:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Istzustand (ohne Solarpanelen) und den Planungszustand (mit Solarpanelen)

a) Istzustand (ohne Solarpanelen):

	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Langj. Mittel	508.6	624.7	604.8	484.6	111.2	0.0	0.0	392.0	0.1	2.6	0.0	21.3	-0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	706.8	579.0	560.6	521.7	121.0	0.0	0.0	574.3	2.1	28.8	0.0	26.4	127.7	0.0	0.0
RU-reichstes J.	492.9	609.2	589.8	482.6	95.8	0.0	0.0	388.3	0.0	0.0	0.0	76.8	-66.4	0.0	-0.0
Trockenstes J.	293.5	665.3	644.1	321.0	73.8	0.0	0.0	217.4	0.0	0.0	0.0	0.0	-27.6	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	→ 15 Jahre (= 50 %) mit RU = 0 mm/a (ohne Sickerwasserbildung an der Basis der Rekultivierungsschicht)														

b) Planungszustand (mit Solarpanelen):

	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Langj. Mittel	508.6	624.6	567.1	472.0	105.1	0.0	0.0	394.9	1.1	1.5	0.0	34.0	-0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	706.8	578.9	525.6	499.3	114.1	0.0	0.0	568.4	11.2	20.1	0.0	45.1	131.1	0.0	0.0
RU-reichstes J.	492.9	609.2	553.1	460.5	90.4	0.0	0.0	392.9	0.0	0.0	0.0	101.5	-69.1	0.0	-0.0
Trockenstes J.	293.5	665.0	603.8	322.1	69.7	0.0	0.0	220.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-28.6	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	→ 12 Jahre (= 40 %) mit RU = 0 mm/a (ohne Sickerwasserbildung an der Basis der Rekultivierungsschicht)														

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 6

Modellergebnisse zur Austrocknung der Rekultivierungsschicht

a) Istzustand ohne PV-Anlage:

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1961	47.8	20	10	30.8		43	0	0	0
1962	47.6	25	10	29.8		72	3	0	0
1963	46.7	6	8	24.3		93	20	0	0
1964	47.2	7	8	27.5		106	9	0	0
1965	49.6	25	9	41.2		0	0	0	0
1966	49.4	23	6	40.0		0	0	0	0
1967	51.4	28	5	51.3		0	0	0	0
1968	48.1	23	8	32.4		19	0	0	0
1969	47.4	12	8	28.7		88	3	0	0
1970	50.8	28	7	47.9		0	0	0	0
1971	49.4	20	8	39.9		1	0	0	0
1972	49.6	27	7	41.0		0	0	0	0
1973	47.6	29	8	29.8		74	1	0	0
1974	50.1	16	8	43.8		0	0	0	0
1975	47.4	21	8	28.6		76	4	0	0
1976	44.0	19	7	9.1		179	152	92	4
1977	51.7	6	8	52.8		0	0	0	0
1978	48.3	6	8	33.5		9	0	0	0
1979	48.9	28	10	36.8		20	0	0	0
1980	49.8	6	10	42.4		0	0	0	0
1981	48.6	13	9	35.2		24	0	0	0
1982	44.2	5	10	10.4		110	94	72	0
1983	48.5	3	8	35.0		37	0	0	0
1984	51.2	5	9	49.9		0	0	0	0
1985	46.9	30	10	25.7		93	30	0	0
1986	48.9	9	8	37.1		11	0	0	0
1987	53.3	13	9	62.0		0	0	0	0
1988	46.9	21	8	25.8		109	20	0	0
1989	46.2	24	8	21.7		137	64	0	0
1990	45.3	15	8	16.8		105	58	16	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 ... 100 % nFK:	12	0.22	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	90	1.63	99.78	
> 90 ... 95 % nFK:	86	1.56	98.15	
> 85 ... 90 % nFK:	167	3.03	96.59	
> 80 ... 85 % nFK:	219	3.97	93.57	
> 75 ... 80 % nFK:	210	3.80	89.60	
> 70 ... 75 % nFK:	268	4.86	85.80	
> 65 ... 70 % nFK:	388	7.03	80.94	
> 60 ... 65 % nFK:	587	10.63	73.91	
> 55 ... 60 % nFK:	513	9.29	63.28	
> 50 ... 55 % nFK:	503	9.11	53.99	
> 45 ... 50 % nFK:	587	10.63	44.87	
> 40 ... 45 % nFK:	484	8.77	34.24	
> 35 ... 40 % nFK:	520	9.42	25.47	
> 30 ... 35 % nFK:	428	7.75	16.05	
> 25 ... 30 % nFK:	192	3.48	8.30	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	86	1.56	4.82	
> 15 ... 20 % nFK:	88	1.59	3.26	
> 10 ... 15 % nFK:	88	1.59	1.67	
> 5 ... 10 % nFK:	4	0.07	0.07	Hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 6

Modellergebnisse zur Austrocknung der Rekultivierungsschicht

b) Planungszustand mit PV-Anlage:

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1961	48.8	16	10	36.6		21	0	0	0
1962	48.7	29	10	36.0		26	0	0	0
1963	47.9	6	8	31.2		37	0	0	0
1964	48.4	7	8	34.5		17	0	0	0
1965	51.0	25	9	49.0		0	0	0	0
1966	50.4	23	6	45.5		0	0	0	0
1967	52.2	28	5	56.0		0	0	0	0
1968	49.2	23	8	38.8		2	0	0	0
1969	48.5	11	8	34.6		22	0	0	0
1970	52.0	24	7	54.8		0	0	0	0
1971	50.2	20	8	44.4		0	0	0	0
1972	51.0	27	7	48.7		0	0	0	0
1973	49.0	29	8	37.9		9	0	0	0
1974	51.5	16	8	52.1		0	0	0	0
1975	48.6	14	8	35.1		32	0	0	0
1976	45.1	19	7	15.8		169	113	50	0
1977	53.2	6	8	61.5		0	0	0	0
1978	49.5	6	8	40.4		0	0	0	0
1979	50.1	30	10	43.7		0	0	0	0
1980	51.5	6	10	51.5		0	0	0	0
1981	49.8	13	9	42.2		0	0	0	0
1982	45.3	5	10	16.7		101	87	19	0
1983	49.9	3	8	42.9		0	0	0	0
1984	52.8	5	9	59.0		0	0	0	0
1985	48.3	31	10	33.5		34	0	0	0
1986	49.8	9	8	42.1		0	0	0	0
1987	54.5	12	9	69.0		0	0	0	0
1988	47.9	21	8	31.7		76	0	0	0
1989	47.4	24	8	28.7		102	7	0	0
1990	46.5	15	8	23.7		68	28	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	21	0.38	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	163	2.95	99.62	
> 90 ... 95 % nFK:	192	3.48	96.67	
> 85 ... 90 % nFK:	243	4.40	93.19	
> 80 ... 85 % nFK:	213	3.86	88.79	
> 75 ... 80 % nFK:	326	5.91	84.93	
> 70 ... 75 % nFK:	513	9.29	79.02	
> 65 ... 70 % nFK:	589	10.67	69.73	
> 60 ... 65 % nFK:	487	8.82	59.06	
> 55 ... 60 % nFK:	506	9.17	50.24	
> 50 ... 55 % nFK:	564	10.22	41.07	
> 45 ... 50 % nFK:	477	8.64	30.85	
> 40 ... 45 % nFK:	510	9.24	22.21	
> 35 ... 40 % nFK:	340	6.16	12.97	
> 30 ... 35 % nFK:	141	2.55	6.81	Trockenstressbeginn
> 25 ... 30 % nFK:	93	1.68	4.26	
> 20 ... 25 % nFK:	73	1.32	2.57	
> 15 ... 20 % nFK:	69	1.25	1.25	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Anlage 7

Starkregen-Oberflächenabflüsse für verschiedene Wiederkehrinter- valle im Istzustand (ohne PV-Anlage)

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

Das Programm ROHALDE dient der Berechnung des Starkregenabflusses von Halden- und Deponieflaechen. Das Programm baut inhaltlich auf den Modellen BOWAHALD (Wasserhaushalt) und HQBEMESS (Bemessung) auf.

Computing by V. Dunger (Version 04/1998, up-date 11/2002)

E I N G A B E W E R T E :

Objektbezeichnung : 001

Dateiname fuer die Eingabedaten: c:\trothapv\eingadat\001.inp

Regendauer PD : unbekannt

Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

- fuer PD = 5 min	:	5.70 mm
- fuer PD = 10 min	:	8.80 mm
- fuer PD = 15 min	:	10.80 mm
- fuer PD = 20 min	:	12.00 mm
- fuer PD = 30 min	:	13.80 mm
- fuer PD = 45 min	:	15.20 mm
- fuer PD = 60 min	:	16.00 mm
- fuer PD = 90 min	:	17.60 mm
- fuer PD = 2 h	:	18.90 mm
- fuer PD = 3 h	:	20.00 mm
- fuer PD = 4 h	:	22.60 mm
- fuer PD = 6 h	:	25.00 mm
- fuer PD = 9 h	:	27.60 mm
- fuer PD = 12 h	:	29.70 mm
- fuer PD = 18 h	:	32.80 mm
- fuer PD = 24 h	:	35.80 mm

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaechen	:	13.20 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	690.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	230.00 m
* hoechster Punkt	:	92.00 m NN
* niedrigster Punkt	:	82.00 m NN
* mittleres Gefaelle der Halden-/Deponieflaechen	:	1.00 %

Bewuchs: Gras/Kraut-Bewuchs (durchschnittlich)

Vegetationsbedeckungsgrad : 90.00 %

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaechen..... : 1.00E-06 m/s

Angaben zum vertikalen Schichtenaufbau:

Schichtanzahl: insgesamt 2 Schichten

Schicht i	d(i) [cm]	kf(i) [m/s]	n(i) [%]	ne(i) [%]	I(i) [%]
1	30	1.00E-06	70.0	10.0	0.0
2	110	1.00E-07	65.0	5.0	0.0

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

Name des Ergebnisfiles: c:\trothapv\ergebnis\i01.erg

Name des Isochronenfiles: c:\trothapv\isochron\i01.iso

LOESUNGSWEG UND ERGEBNISSE :

Hinweis: Es wird lediglich die im Ergebnis der Iteration gefundene Loesung fuer die optimale Regendauer (entspricht der maximalen Abflussmenge) dargestellt!

1. NIEDERSCHLAGSGANGLINIE:

- * Abminderung der Regenhoehe fuer Flaechen > 30 km² (aus /2/):
 - Abminderungsfaktor: Beta = 1.0
 - resultierende Regenmenge: P = 22.6 mm
- * massgebende Regendauer: PD = 240 min
- * Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 240
- * Regenintensitaet: PI = 5.7 mm/h
- * raeumliche Variabilitaet: fuer die Gesamtflaeche als konstant angenommen
- * zeitliche Variabilitaet: waehrend der Regendauer als konstant angenommen

2. OBERFLAECHENABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG (EFFEKTIVNIEDERSCHLAG):

Anwendung des SCS-Verfahrens (/3/ bis /5/) unter Beruecksichtigung der pedologischen Eigenschaften der Oberflaeche, des Bewuchses, der Vorfeuchte sowie des Wasserspeichervermoegens der oberflaechennahen Schichten:

- * CN-Faktor (feuchtekorrigiert): CNK = 83.7 %
- * Speicherfaehigkeit oberflaechennaher Schichten: L = 16.1 mm
- * Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
- * Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 28.6 %
- * Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 6.5 mm

3. NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-TRANSFORMATION:

- * Methodik: Anwendung des Faltungsintegrals (s. u.a. /6/ bis /8/) unter Verwendung eines Parallelkaskadenmodells
- * Berechnung notwendiger Groessen fuer die Impulsantwortfunktion u(T,tj):
 - berechneter hydrographischer Faktor aus /2/: HF = 8.8 km
 - Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
 - K1 = 54.3 min
 - K2 = 158.0 min
 - DELTA = 0.70

* Gleichung der Impulsantwortfunktion:

$$U(T,tj) = AE/3.6 [DELTA/K1(tj/K1) e^{-tj/K1} + (1-DELTA)/K2(tj/K2) e^{-tj/K2}]$$

* Die Anwendung der Faltungsgleichung liefert die Ordinatenwerte der Oberflaechenabflussganglinie QD(t):

$$QD(t_j) = T * [\text{SUM}(i=1 \dots n) \text{ IPEFF} * u(T, t_j - (j-1) * T)] \quad \text{in l/s}$$

4. GESAMTABFLUSSGANGLINIE Q(t):

Die Gesamtabflussganglinie Q(t) ergibt sich fuer jeden Zeitschritt t_j aus der Superposition von Direkt- und Basisabfluss:

$$Q(t_j) = QD(t_j) + QB(t_j)$$

mit $QB(t_j) = \text{const.} = 0.00 \text{ l/s}$

Die Loesung erfolgt schrittweise. Die Ergebnisse sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

----- Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 240 min) -----			
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s

1	0.537	0.014	0.014
2	1.056	0.043	0.043
3	1.556	0.085	0.085
4	2.038	0.140	0.140
5	2.503	0.207	0.207
6	2.950	0.287	0.287
7	3.381	0.378	0.378
8	3.796	0.480	0.480
9	4.195	0.593	0.593
10	4.580	0.717	0.717
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
235	3.029	46.333	46.333
236	3.004	46.414	46.414
237	2.978	46.494	46.494
238	2.953	46.574	46.574
239	2.928	46.653	46.653
240	2.904	46.731	46.731
241	2.879	46.794	46.794
242	2.855	46.842	46.842
243	2.832	46.877	46.877
244	2.808	46.898	46.898
245	2.785	46.905	46.905
246	2.762	46.900	46.900
247	2.739	46.883	46.883
248	2.716	46.854	46.854
249	2.694	46.813	46.813
250	2.672	46.762	46.762
251	2.650	46.700	46.700
252	2.629	46.628	46.628
253	2.607	46.546	46.546
254	2.586	46.455	46.455
255	2.565	46.354	46.354
256	2.544	46.245	46.245
257	2.524	46.128	46.128
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
2267	0.000	0.001	0.001
2268	0.000	0.001	0.001
2269	0.000	0.000	0.000

5. ZUSAMMENFASSUNG

Fuer das Wiederkehrintervall ergeben sich aus der Abflussganglinie folgende wesentliche Parameter:

* Abflussmaximum: QMAX = 46.91 l/s
* Anstiegszeit: TA = 245.00 min
* Abflusssumme: QSUM = 852.01 m³

6. LITERATUR

- /1/ Bartels, H. u.a. (1997): Starkniederschlagshoehen fuer Deutschland KOSTRA. Deutscher Wetterdienst Offenbach/Main (Selbstverlag).
- /2/ Schroeder, W., G. Euler, F.-K. Schneider und D. Knauf (1994): Grundlagen des Wasserbaus. 3. Auflage. Werner-Verlag Duesseldorf.
- /3/ U.S. Departement of Agriculture, Soil Conservation Service (1964): SCS national engineering handbook, Section 4: Hydrology. Washington.
- /4/ Haan, C. T. (1982): Hydrologic modelling of small watersheds. ASAE Monograph 5, 1982.
- /5/ Schroeder, P. R. et al. (1994): The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, DC.
- /5/ Maniak, U. (1992): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einfuehrung fuer Ingenieure. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- /6/ Dyck, S. u.a. (1980): Angewandte Hydrologie, Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Fluesse. 2. Auflage, Verlag W. Ernst & Sohn Berlin.
- /7/ Dyck, S. und G. Peschke (1995): Grundlagen der Hydrologie. 2. Auflage, Verlag fuer Bauwesen Berlin.
- /8/ Maniak, U. (1992): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einfuehrung fuer Ingenieure. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- /9/ Euler, G., D. Knauf u.a. (1986): Hydrologische Abflussmodelle in der praktischen Anwendung. 36. Fortbildungslehrgang des BWK-Hessen, Friedberg.

b) Modellergebnisse für Wiederkehrintervalle von 1 bis 100 a:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	240	47
2	147	73
5	125	112
10	122	155
20	122	192
50	107	244
100	107	305

Anlage 8

Starkregen-Oberflächenabflüsse für verschiedene Wiederkehrinter- valle im Planungszustand (mit PV-Anlage)

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

Das Programm ROHALDE dient der Berechnung des Starkregenabflusses von Halden- und Deponieflaechen. Das Programm baut inhaltlich auf den Modellen BOWAHALD (Wasserhaushalt) und HQBEMESS (Bemessung) auf.

Computing by V. Dunger (Version 04/1998, up-date 11/2002)

E I N G A B E W E R T E :

Objektbezeichnung : 001

Dateiname fuer die Eingabedaten: c:\trothapv\eingadat\001.inp

Regendauer PD : unbekannt

Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

- fuer PD = 5 min	:	5.70 mm
- fuer PD = 10 min	:	8.80 mm
- fuer PD = 15 min	:	10.80 mm
- fuer PD = 20 min	:	12.00 mm
- fuer PD = 30 min	:	13.80 mm
- fuer PD = 45 min	:	15.20 mm
- fuer PD = 60 min	:	16.00 mm
- fuer PD = 90 min	:	17.60 mm
- fuer PD = 2 h	:	18.90 mm
- fuer PD = 3 h	:	20.00 mm
- fuer PD = 4 h	:	22.60 mm
- fuer PD = 6 h	:	25.00 mm
- fuer PD = 9 h	:	27.60 mm
- fuer PD = 12 h	:	29.70 mm
- fuer PD = 18 h	:	32.80 mm
- fuer PD = 24 h	:	35.80 mm

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaeche	:	13.20 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	690.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	230.00 m
* hoechster Punkt	:	92.00 m NN
* niedrigster Punkt	:	82.00 m NN
* mittleres Gefaelle der Halden-/Deponieflaeche	:	1.00 %

Bewuchs: Gras/Kraut-Bewuchs (durchschnittlich)

Vegetationsbedeckungsgrad : 85.00 %

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaeche..... : 5.20E-07 m/s

Angaben zum vertikalen Schichtenaufbau:

Schichtanzahl: insgesamt 2 Schichten

Schicht i	d(i) [cm]	kf(i) [m/s]	n(i) [%]	ne(i) [%]	I(i) [%]
1	30	5.20E-07	70.0	10.0	0.0
2	110	1.00E-07	65.0	5.0	0.0

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

Name des Ergebnisfiles: c:\trothapv\ergebnis\p01.erg

Name des Isochronenfiles: c:\trothapv\isochron\p01.iso

L O E S U N G S W E G U N D E R G E B N I S S E :

Hinweis: Es wird lediglich die im Ergebnis der Iteration gefundene Loesung fuer die optimale Regendauer (entspricht der maximalen Abflussmenge) dargestellt!

1. NIEDERSCHLAGSGANGLINIE:

- * Abminderung der Regenhoehe fuer Flaechen > 30 km² (aus /2/):
 - Abminderungsfaktor: Beta = 1.0
 - resultierende Regenmenge: P = 22.6 mm
- * massgebende Regendauer: PD = 240 min
- * Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 240
- * Regenintensitaet: PI = 5.7 mm/h
- * raeumliche Variabilitaet: fuer die Gesamtflaeche als konstant angenommen
- * zeitliche Variabilitaet: waehrend der Regendauer als konstant angenommen

2. OBERFLAECHEABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG (EFFEKTIVNIEDERSCHLAG):

Anwendung des SCS-Verfahrens (/3/ bis /5/) unter Beruecksichtigung der pedologischen Eigenschaften der Oberflaeche, des Bewuchses, der Vorfeuchte sowie des Wasserspeichervermoegens der oberflaechennahen Schichten:

- * CN-Faktor (feuchtekorrigiert): CNK = 87.0 %
- * Speicherfaehigkeit oberflaechennaher Schichten: L = 14.6 mm
- * Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
- * Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 35.4 %
- * Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 8.0 mm

3. NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-TRANSFORMATION:

- * Methodik: Anwendung des Faltungsintegrals (s. u.a. /6/ bis /8/) unter Verwendung eines Parallelkaskadenmodells
- * Berechnung notwendiger Groessen fuer die Impulsantwortfunktion u(T,tj):
 - berechneter hydrographischer Faktor aus /2/: HF = 8.8 km
 - Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
 - K1 = 54.3 min
 - K2 = 158.0 min
 - DELTA = 0.70

* Gleichung der Impulsantwortfunktion:

$$U(T,tj) = AE/3.6 [DELTA/K1(tj/K1) e^{-tj/K1} + (1-DELTA)/K2(tj/K2) e^{-tj/K2}]$$

* Die Anwendung der Faltungsgleichung liefert die Ordinatenwerte der Oberflaechenabflussganglinie QD(t):

$$QD(t_j) = T * [\text{SUM}(i=1 \dots n) \text{IPEFF} * u(T, t_j - (j-1) * T)] \quad \text{in l/s}$$

4. GESAMTABFLUSSGANGLINIE Q(t):

Die Gesamtabflussganglinie Q(t) ergibt sich fuer jeden Zeitschritt t_j aus der Superposition von Direkt- und Basisabfluss:

$$Q(t_j) = QD(t_j) + QB(t_j)$$

$$\text{mit } QB(t_j) = \text{const.} = 0.00 \text{ l/s}$$

Die Loesung erfolgt schrittweise. Die Ergebnisse sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 240 min)			
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s
1	0.537	0.018	0.018
2	1.056	0.053	0.053
3	1.556	0.105	0.105
4	2.038	0.173	0.173
5	2.503	0.257	0.257
6	2.950	0.355	0.355
7	3.381	0.468	0.468
8	3.796	0.595	0.595
9	4.195	0.735	0.735
10	4.580	0.888	0.888
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
235	3.029	57.379	57.379
236	3.004	57.479	57.479
237	2.978	57.579	57.579
238	2.953	57.677	57.677
239	2.928	57.775	57.775
240	2.904	57.872	57.872
241	2.879	57.950	57.950
242	2.855	58.010	58.010
243	2.832	58.053	58.053
244	2.808	58.078	58.078
245	2.785	58.088	58.088
246	2.762	58.081	58.081
247	2.739	58.060	58.060
248	2.716	58.024	58.024
249	2.694	57.974	57.974
250	2.672	57.910	57.910
251	2.650	57.833	57.833
252	2.629	57.744	57.744
253	2.607	57.643	57.643
254	2.586	57.530	57.530
255	2.565	57.406	57.406
256	2.544	57.271	57.271
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
2301	0.000	0.001	0.001
2302	0.000	0.001	0.001
2303	0.000	0.001	0.001
2304	0.000	0.001	0.001
2305	0.000	0.000	0.000

5. ZUSAMMENFASSUNG

Fuer das Wiederkehrsintervall ergeben sich aus der Abflussganglinie folgende wesentliche Parameter:

* Abflussmaximum: QMAX = 58.09 l/s
* Anstiegszeit: TA = 245.00 min
* Abflusssumme: QSUM = 1.06 Tausend m³

6. LITERATUR

- /1/ Bartels, H. u.a. (1997): Starkniederschlagshoehen fuer Deutschland KOSTRA. Deutscher Wetterdienst Offenbach/Main (Selbstverlag).
- /2/ Schroeder, W., G. Euler, F.-K. Schneider und D. Knauf (1994): Grundlagen des Wasserbaus. 3. Auflage. Werner-Verlag Duesseldorf.
- /3/ U.S. Departement of Agriculture, Soil Conservation Service (1964): SCS national engineering handbook, Section 4: Hydrology. Washington.
- /4/ Haan, C. T. (1982): Hydrologic modelling of small watersheds. ASAE Monograph 5, 1982.
- /5/ Schroeder, P. R. et al. (1994): The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3. U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Washington, DC.
- /5/ Maniak, U. (1992): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einfuehrung fuer Ingenieure. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- /6/ Dyck, S. u.a. (1980): Angewandte Hydrologie, Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Fluesse. 2. Auflage, Verlag W. Ernst & Sohn Berlin.
- /7/ Dyck, S. und G. Peschke (1995): Grundlagen der Hydrologie. 2. Auflage, Verlag fuer Bauwesen Berlin.
- /8/ Maniak, U. (1992): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einfuehrung fuer Ingenieure. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- /9/ Euler, G., D. Knauf u.a. (1986): Hydrologische Abflussmodelle in der praktischen Anwendung. 36. Fortbildungslehrgang des BWK-Hessen, Friedberg.

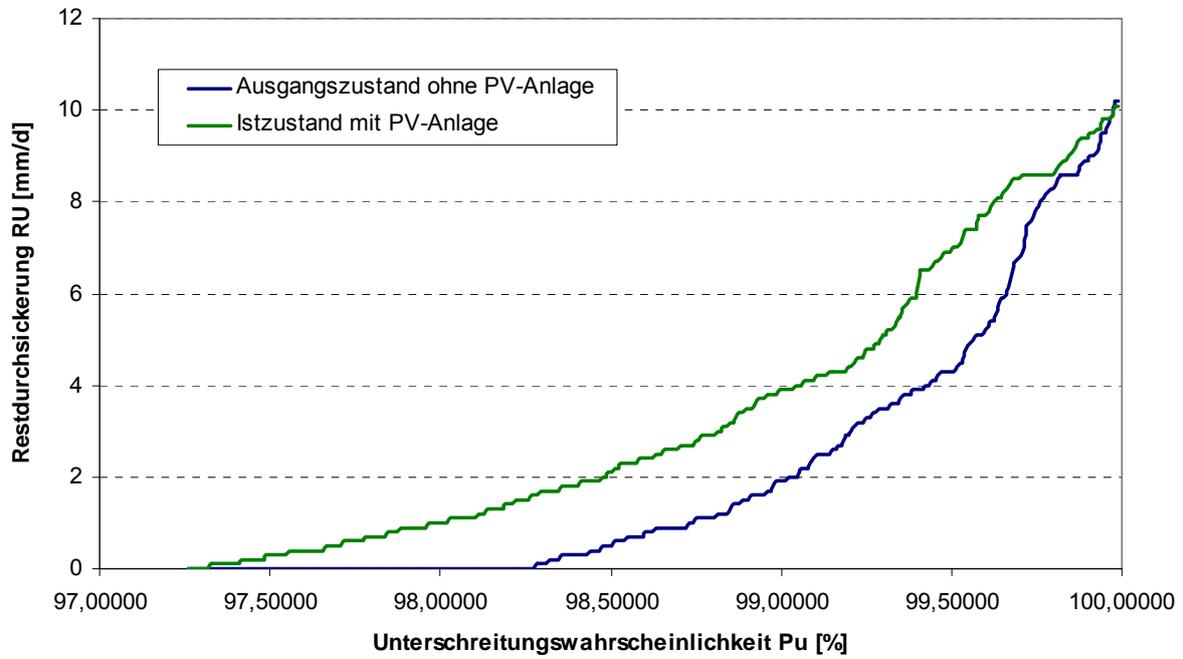
b) Modellergebnisse für Wiederkehrintervalle von 1 bis 100 a:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	240	58
2	147	89
5	123	135
10	121	183
20	120	224
50	107	281
100	107	346

Anlage 9:

Sickerwassermengen im Starkregenfall

a) *Verteilung der Sickerwassermengen:*



Fortsetzung Anlage 9:

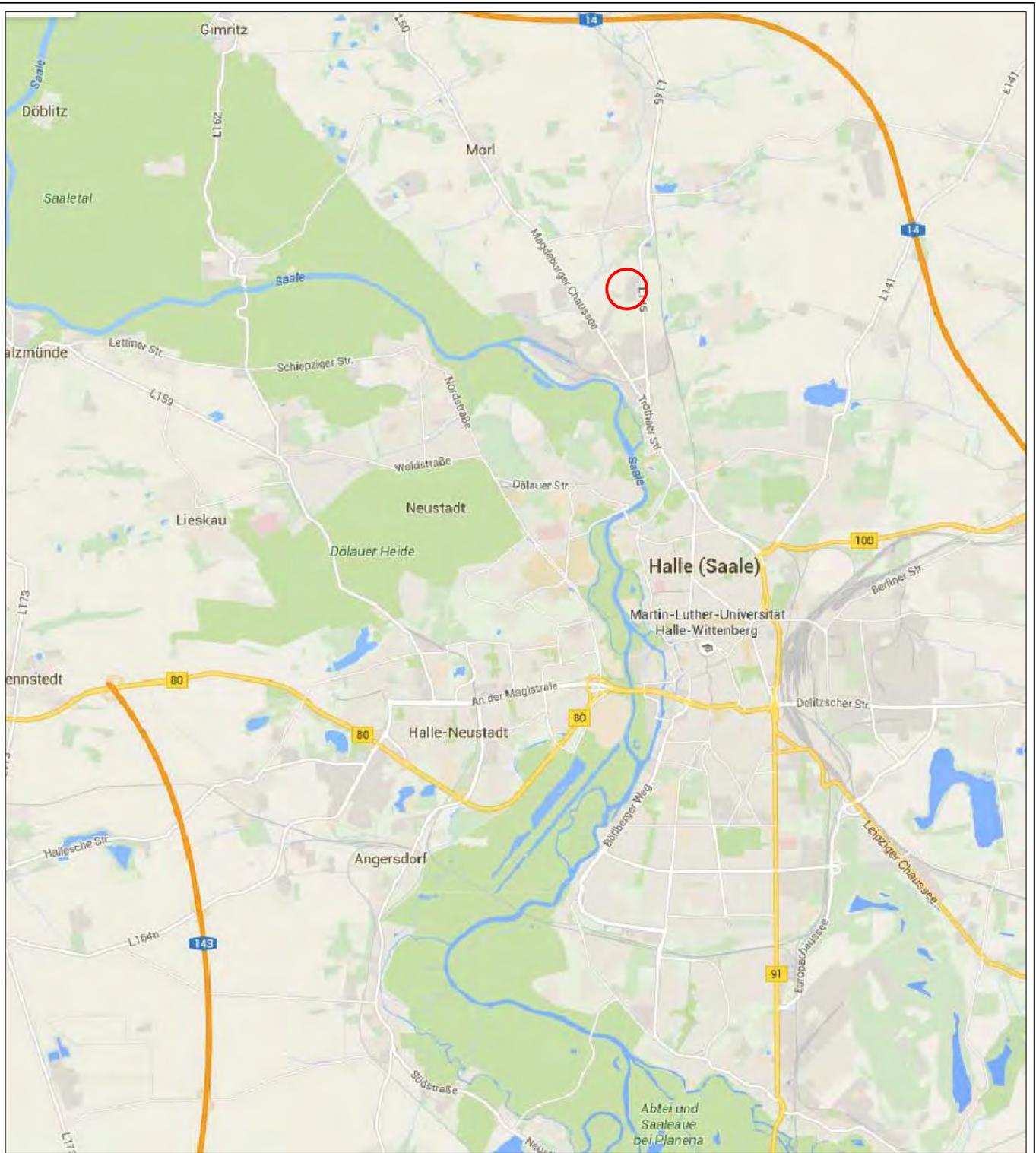
Sickerwassermengen im Starkregenfall

b) Sickerwassermengen mit den dazugehörigen Wiederkehrintervallen:

Jahr	Monat	Tag	P _U [%]	RU [mm/d] Ausgangszustand	RH [mm/d] Istzustand
15	4	1975	99,67147	6,3	8,4
23	2	1966	99,68060	6,6	8,5
23	3	1969	99,68972	6,7	8,5
25	3	1988	99,69885	6,8	8,5
4	4	1979	99,70798	6,9	8,6
6	2	1987	99,71710	7,4	8,6
2	3	1987	99,72623	7,5	8,6
17	1	1971	99,73535	7,6	8,6
24	12	1966	99,74448	7,8	8,6
25	2	1988	99,75360	7,9	8,6
25	1	1987	99,76273	8	8,6
22	2	1968	99,77186	8,1	8,6
15	2	1987	99,78098	8,2	8,6
7	12	1974	99,79011	8,3	8,6
27	2	1987	99,79923	8,3	8,6
4	5	1969	99,80836	8,4	8,7
22	2	1966	99,81748	8,6	8,8
5	3	1968	99,82661	8,6	8,9
13	3	1969	99,83574	8,6	8,9
17	3	1970	99,84486	8,6	9
6	12	1974	99,85399	8,6	9,1
30	1	1982	99,86311	8,6	9,2
3	6	1986	99,87224	8,6	9,3
6	3	1968	99,88137	8,8	9,4
10	6	1961	99,89049	8,9	9,4
6	6	1986	99,89962	8,9	9,4
18	3	1970	99,90874	9	9,5
5	6	1986	99,91787	9	9,5
4	6	1986	99,92699	9,1	9,6
28	2	1987	99,93612	9,4	9,6
12	3	1981	99,94525	9,5	9,8
13	3	1981	99,95437	9,5	9,8
8	5	1969	99,96350	9,8	9,8
11	3	1981	99,97262	9,9	9,9
7	5	1969	99,98175	10,2	10,1
1	3	1987	99,99087	10,2	10,1

Wiederkehrintervall T:

	1 Jahr
	2 Jahre
	5 Jahre
	10 Jahre
	30 Jahre



Legende:



Untersuchungsgebiet

Projekt:

Aschedeponien Halle - Trotha

Darstellung:

Übersichtsplan

Anlage:	1	
Projekt-Nr.:	2154330	
Maßstab:	ohne	
Zeichnungs-Nr.:	2154330A1	
	Datum	Name
gezeichnet:	17.12.15	aja
geprüft:	17.12.15	tsc

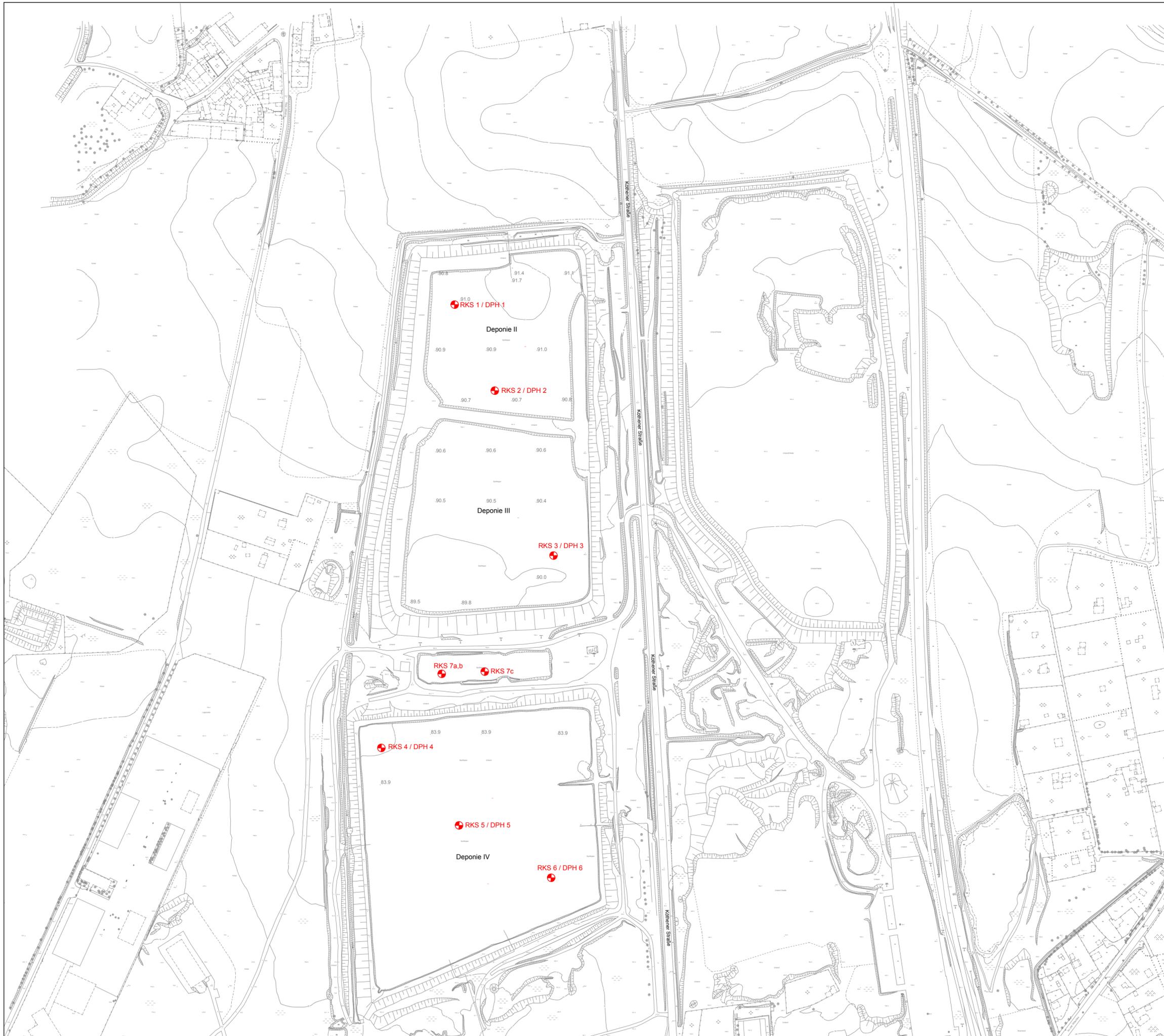
Bauherr/Auftraggeber:



Planverfasser:



HPC AG
Am Stadtweg 8, 06217 Merseburg
Telefon: 03461/341313, Fax: 03461/341332



Legende:

 RKS 1 / DPH 1 Rammkernsondierung



Deponievermessung Stand 1995

Aschedeponien Halle - Trotha

Detaillageplan mit Lage der Rammkernsondierungen

Anlage:	2
Projekt-Nr.:	2154330
Maßstab:	1 : 2500
Zeichnungs-Nr.:	2154330A2
gezeichnet:	Datum Name
17.12.15	aja
geprüft:	17.12.15 tsc

Bauherr/Auftraggeber:



Planverfasser:





-  kleine Modultische a 22 Module: 56
-  große Modultische a 44 Module: 744

Gesamtanzahl der Module IBC PolySol 260 Wp: 34.056 = 8.854,56 kWp
Wechselrichteranzahl Sunrow KTL30-M: 258 = 8,514 kVA

Baufeld B:
kleine Modultische: 22
große Modultische: 350
Wechselrichteranzahl: 120 = 3,960 kVA
Gesamtanzahl Module: 15862 = 4.124,12 kWp

Baufeld A:
kleine Modultische: 36
große Modultische: 396
Wechselrichteranzahl: 138 = 4,554 kVA
Gesamtanzahl Module: 18216 = 4.736,16 kWp

Legende:

-  kleine Modultische a 22 Module: 56
-  große Modultische a 44 Module: 744



Plangrundlage: Digitale Stadtkarte Halle (Saale)

Aschedeponien Halle - Trotha

Belegungskonzept PVA

Anlage:	3
Projekt-Nr.:	2154330
Maßstab:	1 : 2500
Zeichnungs-Nr.:	2154330A3
gezeichnet:	Datum: 17.12.15 Name: aja
geprüft:	Datum: 17.12.15 Name: tsc

Bauherr/Auftraggeber:



Planverfasser:



HPC AG
Am Stadtweg 8, 06217 Merseburg
Telefon: 03461/341313, Fax: 03461/341332