

Halde Niedersachsen bei Wathlingen

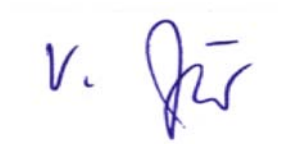
Wasserhaushaltliche Untersuchungen im Zuge der Planung der Abdeckung und Rekultivierung der Halde Niedersachsen bei Wathlingen

für: K+S Entsorgung GmbH
Bertha-von-Suttner-Str. 7
34131 Kassel

Ansprechpartner: Herr Dipl.-Ing. Gerold Jahn
Herr Dipl.-Ing. Florian Krause
Herr Dr. Reno Dabrock
Frau Dr. Simone Kluge

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

Brand-Erbisdorf, den 11. März 2017



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

Halde Niedersachsen bei Wathlingen:

Wasserhaushaltliche Untersuchungen im Zuge der Planung der Abdeckung und Rekultivierung der Halde Niedersachsen bei Wathlingen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Veranlassung, Zielstellung	2
2. Methodik	5
2.1. Herangehensweise bezüglich der Quantifizierung des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens	5
2.2. Modellierung der Oberflächenabflussbildung während Starkregen	9
2.3. Bemessung der Regenrückhalteräume im Starkregenfall	12
2.4. Prinzipielle Herangehensweise bezüglich der Ermittlung der hydraulischen Entwässerungskapazität eines Drainelements während Starkregen	13
2.5. Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht und Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung aus wasserhaushaltlicher Sicht	17
3. Umsetzung der Methodik auf den Untersuchungsstandort	18
3.1. Horizontaldiskretisierung	18
3.2. Vertikaldiskretisierung	19
3.3. Modellparameter	20
3.3.1. Modellparameter für die Untersuchungen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten	20
3.3.2. Parameter zur Modellierung des Starkregenfalls	28
3.4. Meteorologische Daten	30
3.4.1. Datenmaterial zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten (langjähriges Mittel, Nass- und Trockenjahre)	30
3.4.2. Starkregenmengen	33
4. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation	33
4.1. Langjähriges wasserhaushaltliches Verhalten	33
4.2. Austrocknungsverhalten der Kulturschicht/Deckschicht	37
4.3. Oberirdische Abflussmengen im Starkregenfall	39
4.3.1. Vorbemerkungen	39
4.3.2. Ergebnis für den Zeitschnitt 1	39
4.3.3. Ergebnis für den Zeitschnitt 2	40
4.3.4. Ergebnis für den Zeitschnitt 3	41
4.4. Ergebnisse bezüglich der Speichervolumina der Rückhalteräume	42
4.5. Drainwasserabführbarkeit im Starkregenfall	42
5. Zusammenfassung	44
6. Literaturverzeichnis	46
7. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	49
8. Anlagenverzeichnis	50

Anlagen

1. Veranlassung, Zielstellung

Seit 2014 laufen für die Kalisalzhalden Niedersachsen bei Wathlingen die Vorbereitungen zur Rekultivierung, die 2018 beginnen soll.

In Bezug auf die Rekultivierung existieren seitens K+S Aktiengesellschaft konkrete Vorstellungen, was den Schichtenaufbau der Oberflächensicherung und die Gestaltung/Umprofilierung der vorhandenen Althalde anbelangt.

Die Abbildung 1 vermittelt einen diesbezüglichen Gesamteindruck. In der Abbildung 2 ist die Sicherung im Bereich des Haldenvorlandes detaillierter dargestellt.

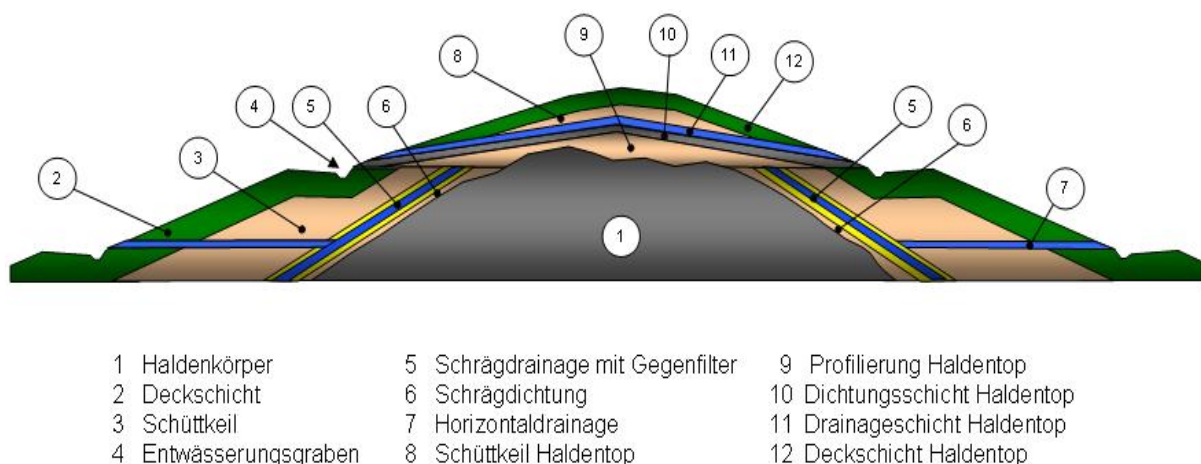


Abb. 1: Konzept der Umprofilierung und Oberflächensicherung der Halde Niedersachsen (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)

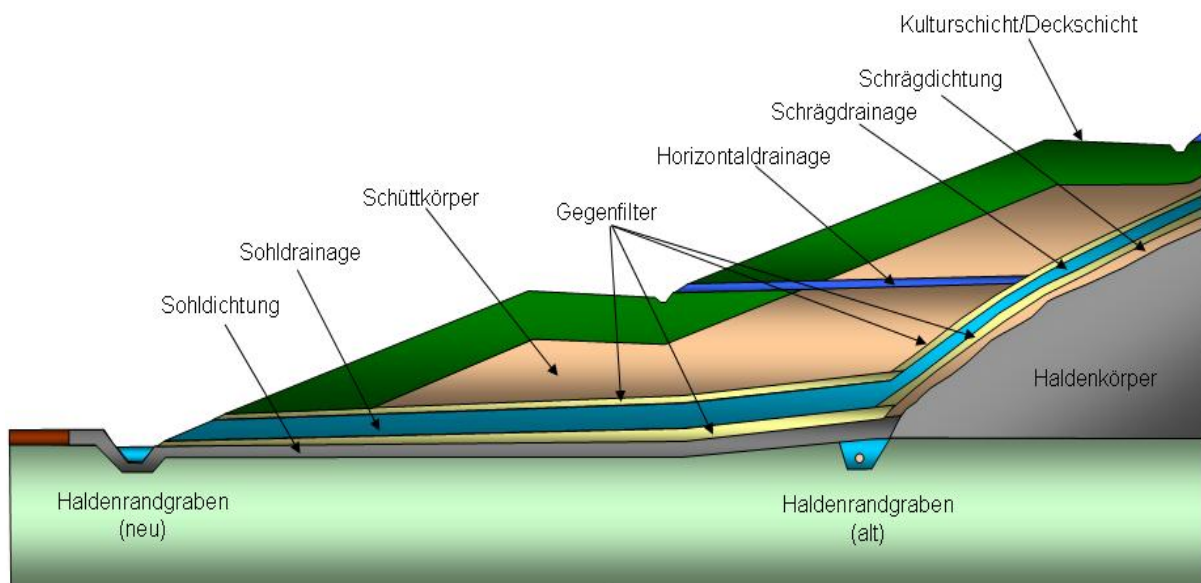


Abb. 2: Gestaltung des Haldenvorlandes der Halde Niedersachsen (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)

Aus den zum gegenwärtigen Zeitpunkt vorliegenden Planungsunterlagen geht hervor, dass die Halde analog des seitens K+S erarbeiteten Konzepts für mittelgroße Halden mit einer 3 m mächtigen Kulturschicht/Deckschicht abgedeckt werden soll, die einerseits gute Voraussetzungen für den Bewuchs bieten und andererseits die Sickerwassermengen in tiefere Schichten vergleichmäßigen und wirksam reduzieren soll.

Die Kulturschicht/Deckschicht wird aus gemischtkörnigen Böden aufgebaut, die überwiegend aus Baumaßnahmen in der Region Hannover stammen.

Darunter befindet sich ein Schüttkeil aus Bodenaushub und darunter eine Drainschicht aus recyceltem Bauschutt.

Im Bereich des Plateaus befindet sich unter der Drainschicht eine 0,5 m mächtige mineralische Dichtungsschicht, die eine Wasserdurchlässigkeit von $k_f < 5 \times 10^{-10}$ m/s aufweisen wird (zum Vergleich: ein solch geringer k_f -Wert ist nach Deponieverordnung, DepV, 2009 für eine Deponie der Klasse DK III vorgeschrieben).

Um die Sickerwasserzutritte in die Althalde gerade während Starkregen- und Schneeschmelzperioden zu minimieren, sind in den Böschungsbereichen Horizontaldrainagen vorgesehen. Dies sind ca. 0,5 m mächtige Horizontaldrainageschichten, die etwa alle 15 Höhenmeter, d. h. jeweils auf dem Höhenniveau einer Berme, das Sickerwasser in leichtem Gefälle nach außen abführen.

Im Bereich des Haldenvorlandes gestaltet sich der Schichtenaufbau der Abdeckung so, dass sich unter der Kulturschicht/Deckschicht und dem Schüttkörper eine Sohl-drainage, die flächenhaft ausgebildet ist und darunter eine mineralische Dichtungsschicht befinden. Die Eigenschaften dieser Schichten sind analog derer im Plateaubereich.

Die Morphologie der Halde gestaltet sich alles in allem recht heterogen (s. Abbildung 3). Die Ausrichtung der Plateau- und Böschungsflächen ist allseitig. Es sind folglich alle Expositionen vorhanden. In der Abbildung 4 ist ein generalisierter Vertikalschnitt visualisiert.

Im Zuge der hierfür notwendigen Planungsvorleistungen sind u. a. wasserhaushaltliche Untersuchungen notwendig, wobei die folgenden Dinge von besonderem Interesse sind:

- die Restdurchsickerungsmengen an der Basis der Oberflächensicherung, wobei als Oberflächensicherung alle Schichten bis zur Tondichtung (betrifft alle gedichteten Haldenbereiche) bzw. bis zur Basis der Abdeckung (betrifft alle Bereiche ohne Tondichtung) bezeichnet werden → Restdurchsickerung im langjährige Mittel sowie das Maximum in Nassjahren für die einzelnen Bereiche der Halde (Plateau, Böschungen, Berme, Halde, Haldenvorland) sowie für die Planungsfläche insgesamt,
- die Höhe der realen Verdunstung (betrifft das langjährige Mittel sowie Schwankungen in Nass- und besonders in Trockenjahren),

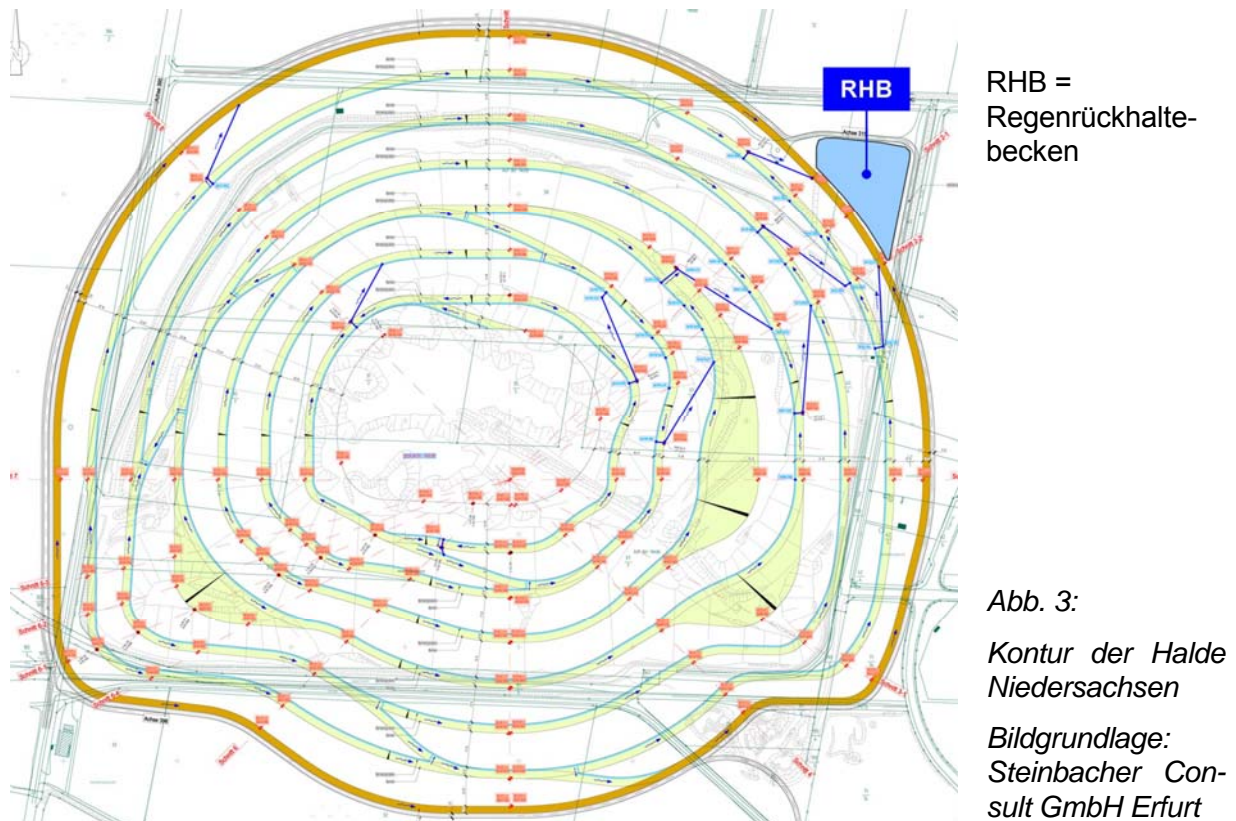


Abb. 4: Generalisierter Vertikalschnitt durch die Halde Niedersachsen (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)

- damit im Zusammenhang stehend der Grad der Austrocknung der Kulturschicht/ Deckschicht in Trockenjahren und die damit verbundene Häufigkeit von Austrocknungsbeträgen, die als trockenstressrelevant für den Bewuchs angesehen werden können (wichtig bezüglich der Einschätzung bezüglich der Chancen für eine gute Bewuchsentwicklung) sowie
- das Verhalten im Starkregenfall:
 - betrifft zum ersten die Menge an Oberflächenabfluss und damit im Zusammenhang stehend die Bemessung der oberirdischen Entwässerungseinrichtungen und die Prüfung des vorhandenen Rückhaltebeckens (RHB, vgl. Abbildung 3) bezüglich des minimal notwendigen Speichervolumens,

- betrifft zum zweiten die Sickerwasserzutritte (maximalen Sickerspenden) zu den Drainelementen (Schrägdrainage, Horizontaldrainage, vgl. Abbildung 1 bzw. Basisdrainagesystem, s. Abbildung 2) und damit im Zusammenhang stehend die Bemessung der unterirdischen Entwässerungseinrichtungen.

2. Methodik

2.1. Herangehensweise bezüglich der Quantifizierung des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens

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 Halden- und Deponiewasserhaushaltsmodelle HELP (SCHROEDER ET. AL, 1994, BERGER, SCHROEDER, 2013) bzw. BOWAHALD (DUNGER, 2002 a, 2006) an.

Zunächst muss vermerkt werden, dass im Hinblick auf die zu lösenden Aufgaben (vgl. Kapitel 1) keines der beiden Modelle in der Lage ist, alle Aufgaben besser als das andere zu lösen. Dies liegt in den Modellinhalten und den sich daraus ergebenden Vor- und Nachteilen begründet, die im Folgenden kurz dargestellt werden sollen.

Die auf das konkrete Projekt bezogenen Stärken von HELP gegenüber BOWAHALD lassen sich wie folgt umreißen:

- Das HELP-Modell berücksichtigt im Gegensatz zu BOWAHALD das Gefrieren und das Auftauen des Bodens sowie die Oberflächenabflussbildung infolge Regen auf gefrorenem Boden. Dadurch sind winterliche Oberflächenabflüsse besser nachbildbar.
- Durch die Berücksichtigung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit kann der Wasserfluss im Versickerungsteilmodell prozessadäquater erfasst werden. Dies hat Vorteile bezüglich der Ermittlung der Drainwasserspenden im Starkregenfall. Diese werden genauer modelliert als beim Modell BOWAHALD.

Als Stärken von BOWAHALD gegenüber HELP können genannt werden:

- Die Interzeptions- und Verdunstungsteilmodelle sind flexibler. Neben Gras können Strauch- und Baumvegetationen erfasst werden. In HELP geht dies nur über die Anhebung des Blattflächenindex und die Erhöhung der Ausschöpftiefe.
- Das Modell BOWAHALD berücksichtigt direkt den Einfluss von Exposition und Hangneigung in Bezug auf die Verdunstungsmodellierung. Eine externe Korrektur der Globalstrahlung bezüglich Exposition und Neigung, wie beim HELP-Modell, ist nicht notwendig.

In Abwägung der o. g. Stärken und Reserven der beiden Modelle wird wegen der modellinhaltlichen Vorteile, den Versickerungsprozess betreffend, das HELP-Modell gegenüber dem Modell BOWAHALD priorisiert.

Verwendung findet die auf deutsche Verhältnisse angepasste neueste Version 3.95 D (BERGER, SCHROEDER, 2013). Das HELP-Modell wurde speziell zur Modellierung der wesentlichen hydrologischen Prozesse, die innerhalb von Oberflächensicherungen von Deponien und Halden ablaufen, entwickelt bzw. weiterentwickelt.

Das Modell HELP stellt das für Deutschland am besten validierte Programm zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponien und Halden dar (vgl. Validierungsstudie BERGER, 1998).

Im Folgenden soll auf einige inhaltliche wesentliche Aspekte des Modells HELP eingegangen werden. Für Halden bzw. 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. auf einer wasserhemmenden oder wasserstauenden Schicht)
- RU - Abfluss an der Modellbasis (Restdurchsickerung)
- DS - Speicheränderung innerhalb des betrachteten Systems

Beim Modell HELP handelt es sich um ein Schichtenmodell, welches die in der Gleichung 1 enthaltenen maßgeblichen Prozesse des Wasserhaushalts berücksichtigt. Die zeitliche Diskretisierung der Bilanzierung/Ergebnisausgabe erfolgt in Tagesschritten.

Wasserbewegungen werden nur in der vertikalen Dimension modelliert, wobei jedoch horizontale Prozesse (Oberflächenabfluss, lateraler Drainabfluss) ebenfalls bilanziert werden. Beim HELP-Modell handelt es sich folglich um ein quasi-zweidimensionales Modell.

Einen Überblick über die wesentlichen Modellein- und Ausgabegrößen vermitteln die Tabellen 1 und 2. Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über die wesentlichen Modellansätze, die im HELP-Modell Verwendung finden.

Auf eine weiterführende Programmbeschreibung wird im Rahmen des Berichtes verzichtet. Verwiesen sei auf die Programmdokumentation (BERGER, SCHROEDER, 2013) sowie auf Publikationen zum Modellinhalt und zu Modellanwendungen (s. z. B. RAMKE, 2000, HEILBROCK, 2000, BERGER, 2001, 2004).

Tabelle 1: Wesentliche Eingabewerte des Modells HELP

Eingabedaten und -parameter:
<u>Meteorologische Daten:</u> <ul style="list-style-type: none"> - mittlere Lufttemperatur (Tageswerte) - Summe der Globalstrahlung (Tageswerte) - Summe der Niederschlagsmenge (Tageswerte) - mittlere Luftfeuchtigkeit (Quartalswerte) - mittlere Windgeschwindigkeit (langjähriger Mittelwert)
<u>Geographische und morphologische Parameter:</u> <ul style="list-style-type: none"> - geographische Breite - Flächengröße - Hangneigung - mittlere Hanglänge
<u>Pedologische Parameter:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Schichttyp - Schichtmächtigkeit - Gesamtporenvolumen ^{**)} - US-Feldkapazität (Wassergehalt bei einer Wasserspannung von 1/3 bar = pF 2,5) ^{**)} - permanenter Welkepunkt ^{**)} - gesättigte hydraulische Leitfähigkeit ^{**)} - Wassergehalt zu Beginn eines Simulationslaufs ^{*)}
<u>Spezielle Parameter für Drainschichten:</u> <ul style="list-style-type: none"> - maximaler horizontaler Dainabstand - Gefälle der Drainagesohle - Anteil des rezirkulierenden Drainagewassers ^{*)} - Schicht, in die das rezirkulierende Wasser der Drainschicht eingeleitet wird ^{*)}
<u>Spezielle Parameter für Kunststoffdichtungsbahnen:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Lochdichte der Fabrikationsfehlstellen ^{**)} - Lochdichte der Einbaufehlstellen ^{**)} - Verlegequalität ^{**)} - Wasserdampfdiffusität ^{**)} - Transmissivität eines gemeinsam mit der Kunststoffdichtungsbahn verbauten Geotextils ^{*)}
<u>Nutzungsparameter:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Nutzungsart (unbewachsen, Grasbewuchs) - Üppigkeit des Grasbewuchses (spärlich, mäßig gut, ausgezeichnet)
<u>Bewuchsparameter:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Tiefe der Verdunstungszone für die Transpiration - maximaler Blattflächenindex (Verhältnis der Blattoberflächen zur Bodenoberfläche) ^{**)} - Beginn und Ende der Vegetationsperiode ^{**)}
<u>Sonstige Angaben:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Anteil der Fläche, auf der die Bildung von Oberflächenabfluss möglich ist - Curve-Number für die Oberflächenabflussbildung ^{**)}

^{*)} Eingabe nicht zwingend notwendig

^{**)} Es werden Default-Werte angeboten.

Tabelle 2: Wesentliche Ausgabewerte des Modells HELP

Modellausgaben:
<u>Übersicht über Ausgabedateien:</u> <ul style="list-style-type: none"> - HELP-Titel mit Versionsnummer - Datum und Uhrzeit der Simulation - Namen der Ein- und Ausgabedateien - Beschreibung der Spalten der Dateien mit Tages-, Monats- bzw. Jahreswerten - Titel des Simulationslaufs - Datenquelle der Wetterdaten - alle Werte der eingegebenen Daten und Parameter (vgl. Tabelle 1)
<u>Tägliche Simulationsergebnisse:</u> <ul style="list-style-type: none"> - Datum - Frostzustand des Bodens (gefroren oder nicht) - Niederschlagsmenge - Oberflächenabfluss - potenzielle und reale Verdunstung - mittlerer Wassergehalt in der Verdunstungszone - mittlere Aufstauhöhe auf einem Dichtungselement - Drainabfluss - Sickerwassermenge an der Modellbasis
<u>Monatliche Simulationsergebnisse</u> (aufgelistet sind nur die von den Tageswerten abweichenden Simulationsergebnisse): <ul style="list-style-type: none"> - Monat, Jahr - unterirdische Zuflüsse und Drainagerezirkulationsmengen
<u>Jährliche Simulationsergebnisse</u> (aufgelistet sind nur die von den Monatswerten abweichenden Simulationsergebnisse): <ul style="list-style-type: none"> - Jahr - Wasservorratsänderungen zwischen Beginn und Ende des Jahres - Gesamtwasservorrat der Schichten, des Interzeptionsspeichers und der Schneedecke - Wassergehalt der Schichten - Wassergehalt im Interzeptionsspeicher - Wassergehalt der Schneedecke - Bilanzfehler
<u>Jährliche Simulationsergebnisse:</u> <ul style="list-style-type: none"> - modellierter Gesamtzeitraum - langjährige Monatsmittelwerte, mittlere jährliche Werte und Tagesspitzen von Niederschlag, Oberflächenabfluss, potenzieller und realer Verdunstung, Drain- und Sickerwassermengen (die mittleren jährlichen Werte mit Standardabweichung) - mittlere tägliche Aufstauhöhe auf einem Dichtungselement (mit Standardabweichung) - Wassergehalte aller Schichten am Simulationsende

Tabelle 3: Im HELP-Modell verwendete Modellansätze zur Erfassung der Teilprozesse des Haldenwasserhaushaltes

Teilprozess	Modellansatz
Schneeakkumulation	bei einer Tagesmitteltemperatur $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Schneeschmelze	Tagesgradverfahren (incl. Schmelzwasserretention in der Schneedecke sowie Schneeschmelze durch Bodenwärme)
Frieren/Auftauen des Bodens	Empirischer Ansatz nach KNISEL ET AL. (1985)
Interzeption	Interzeptions-SpeichermodeLL für Grasbewuchs
Oberflächenabfluss	Curve-Number-Verfahren (Us SCS, 1972, 1985, 1986)
Bodenwasserfluss/Ver-sickerung	DARCY-Gesetz für gesättigte Bedingungen (Dichtschicht) bzw. ungesättigte Bedingungen (alle anderen Schichten) Modellierung von Permeation und Durchsickerung infolge Fehlstellen für Kunststoffdichtungsbahnen Wasserflüsse in Drainschichten entsprechend Näherungslösung nach Boussinesq
Verdunstung	<u>potenzielle Verdunstung:</u> PENMAN-Formel <u>reale Verdunstung:</u> Reduktionsfunktionen in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte, dem Blattflächenindex und der Wurzelgeometrie

2.2. Modellierung der Oberflächenabflussbildung während Starkregen

Mit dem Modell HELP ist die Modellierung des Starkregensfalls nur eingeschränkt möglich, weil oberflächenabflussrelevante Zeitschritte kleiner als 1 Tag nicht erfassbar sind. Aus diesem Grund erfolgt die Modellierung der Starkregen-Oberflächenabflüsse mit dem BOWAHALD-Modul ROHALDEP, in das die Abflussbildungsansätze des HELP-Modells integriert wurden (Details s. DUNGER, 2002 b und 2006).

Beim Modell ROHALDEP handelt es sich um ein konzeptionelles Boxmodell, das aus drei Teilmodellen besteht:

- Teilmodell ROHALDE zur Modellierung der Abflussbildung und -konzentration sowie der Erzeugung von Durchflussganglinien,
- Teilmodell ISOCHRON zur zeitversetzten Überlagerung von Durchflussganglinien und
- Teilmodell SPEICHER zur hydrologischen Bemessung eines oder mehrerer Rückhalteräume.

Modellinhaltlich lässt sich das Modell ROHALDEP folgendermaßen charakterisieren (s. auch DUNGER, 2002 b und 2006):

Die räumliche Modelldiskretisierung orientiert sich horizontal an der Entwässerungsstrategie (Entwässerungsrichtung, Knotenpunkte, Lage der Einleitpunkte in ein/mehrere Rückhaltebecken bzw. in die Vorflut) und setzt die Untergliederung des Untersuchungsraumes in Entwässerungsteilflächen 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 Bemessungsregen, der durch die Größen Regenmenge, -dauer und Häufigkeit (Wiederkehrintervall) charakterisiert ist.

In Abhängigkeit von den morphologischen, pedologischen und Bewuchseigenschaften der Halde werden auf der Grundlage des Bemessungsregens hinsichtlich Form, Scheiteldurchfluss und Durchflusssdauer unterschiedliche Durchflussganglinien simuliert.

Einen Überblick über die Modellstruktur soll die Abbildung 5 geben. Die wesentlichen Modellparameter sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

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 (2010) Deponie-/Haldenspezifizierung: entsprechend HELP-Modell (SCHROEDER ET AL., 1994) Hangneigung, Hanglänge und Vorfeuchte: WOOLHISER ET AL., 1990, MANIAK (2010)		
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. 5: Modellstruktur und wesentliche Modellansätze des Modells ROHALDEP

Tabelle 4: Wesentliche Eingabedaten und -parameter des Modells ROHALDEP

<u>Informationen zum Bemessungsregen:</u> - Niederschlagsmenge - Bemessungsregendauer - Wiederkehrintervall (Jährlichkeit)
<u>Geographische und morphologische Parameter:</u> - Flächengrößen der Entwässerungsteilflächen - mittleres Gefälle, mittlere Länge und Breite der Teilflächen
<u>Pedologische Parameter:</u> - gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (k_f -Wert) - vertikale Schichtenabfolge
<u>Bewuchssparameter:</u> - Anteile an unbewachsenen Flächen, Gras-, Strauch- und Baumbewuchs
<u>Angaben zur Entwässerung:</u> - Angaben zur Art Entwässerung (flächenhaft oder mittels Entwässerungsnetz) - Laufzeitdifferenzen (Isochronen) des Abflusses

Die Modellierung der Abflussbildung erfolgt mittels SCS-Verfahren (Us SCS, 1972, 1985, 1986, HAAN, 1982), wobei die wesentlichen Ansätze aus dem für Halden und Deponien spezifizierten HELP-Modell (SCHROEDER ET AL., 1994) stammen. Anstelle des Niederschlages schlechthin wird jedoch der Bemessungsregen (Bemessungsregensmenge, -regendauer und -wiederkehrintervall) für die Berechnung verwendet. Angaben zum Bemessungsregen sind z. B. dem KOSTRA-Atlas des Deutschen Wetterdienstes (BARTELS U. A., 2005) entnehmbar.

Durch den Abflusskonzentrationsprozess werden die gebildeten Abflussmengen in eine Durchflussganglinie (zeitvariable Durchflusswerte für einen bestimmten Betrachtungspunkt) transformiert. Dabei sind zwei Fälle bezüglich der Abflusskonzentration denk- und modellierbar:

- flächenhafte Konzentration (wie im vorliegenden Fall) bzw.
- Konzentration in einem auf den Teilflächen existierenden Entwässerungsnetz.

Diesbezügliche Anwendung findet ein Parallelkaskadenmodell. Die Anwendung der Faltungsgleichung liefert die Ordinatenwerte der Durchflussganglinie. Im Ergebnis der Abflusskonzentrationsberechnung erhält man u. a.:

- die Durchflussganglinie,
- Durchflusswerte zu verschiedenen Zeitpunkten des Bemessungsereignisses und
- die Durchflusssumme des Bemessungsereignisses.

Die für jeden Entwässerungspunkt ermittelten Durchflussganglinien werden entsprechend der Abflussrichtung mittels Isochronenmethode überlagert, d. h. es finden Laufzeitdifferenzen bei der Konzentration der gebildeten Abflüsse Berücksichtigung. Laufzeitdifferenzen bewirken eine Abflachung und zeitliche Verzögerung des Hochwasserscheiteldurchflusses im Vergleich zur einfachen Superposition (Aufaddieren) der Einzelabflüsse. Die Isochronenmethode ist eine hydrologische Routinemethode (s. u. a. DYCK, PESCHKE, 1995 und MANIAK, 2010). Im Starkregenfall zusätzliche Drainwässer werden bei den Gesamtabflussmengen berücksichtigt (Methodik → s. Abschnitt 2.3).

2.3. Bemessung der Regenrückhalteräume im Starkregenfall

Die Bemessung der Regenrückhalteräume (betrifft im konkreten Fall das Rückhaltebecken (RHB) und den Speicherraum des Haldenrandgrabens) bei vorgegebener konstanter Regelabgabe (hier: Leistung der Pumpen = $200 \text{ m}^3/\text{h} = 55,6 \text{ l/s}$) basiert auf der Anwendung der Kontinuitätsgleichung:

$$dS(t) / dt = Q_Z(t) - Q_A(t) \quad (2)$$

mit: $dS(t)$ - Änderung des Speicherinhaltes [l/Zeiteinheit]
 $Q_Z(t)$ - Zuflussganglinie [l/Zeiteinheit]
 $Q_A(t)$ - Ausflussganglinie [l/Zeiteinheit] ($Q_A = Q_R = \text{Regelabgabe} = \text{konstant}$)

Für 2 aufeinanderfolgende Zeitschritte t_j und t_{j+1} sieht die Lösung der Kontinuitätsgleichung in Differenzenform folgendermaßen aus:

$$S(t_{j+1}) - S(t_j) = \Delta S = 0,5 \Delta t_{j,j+1} [Q_Z(t_{j+1}) + Q_Z(t_j)] - 0,5 \Delta t_{j,j+1} [Q_A(t_{j+1}) + Q_A(t_j)] \quad (3)$$

mit: $S(t_{j+1})$ - Speicherinhalt zum Zeitpunkt t_{j+1} [l]
 $S(t_j)$ - Speicherinhalt zum Zeitpunkt t_j [l]
 ΔS - Speicheränderung [l]
 $Q_Z(t_{j+1})$ - Zuflussmenge zum Speicher zum Zeitpunkt t_{j+1} [l/s]
 $Q_Z(t_j)$ - Zuflussmenge zum Speicher zum Zeitpunkt t_j [l/s]
 $Q_A(t_{j+1})$ - Ausflussmenge aus dem Speicher zum Zeitpunkt t_{j+1} [l/s]
 $Q_A(t_j)$ - Ausflussmenge aus dem Speicher zum Zeitpunkt t_j [l/s]
 $\Delta t_{j,j+1}$ - Zeitdifferenz zwischen t_j und t_{j+1} [s]

Gleichung 3 wird beginnend ab dem Zeitpunkt angewendet, ab dem der Hochwasserscheiteldurchfluss größer als die vorgegebene Regelabgabe aus dem Speicher ist ($Q_Z > Q_R$). Zu betrachten sind die Gesamtzuflussganglinien zu den Rückhalteräumen (Oberflächen- und Drainabflüsse) sowie die unmittelbar auf die Rückhalteräume fallenden Niederschlagsmengen.

Wesentlich ist, dass für die Bemessung des Speichervolumens der Rückhalteräume keine vergleichsweise kurzen Regendauern maßgebend sind, wie für die Berechnung der Scheitelabflüsse in den Entwässerungseinrichtungen, sondern eher lange Regendauern. Hierfür verantwortlich ist der Fakt, dass die Speichervolumina und Regelabgaben in erster Linie von den zufließenden Wassermengen (Gesamtzuflussvolumina) abhängig sind und nicht maßgebend von den Scheiteldurchflüssen.

Sowohl die zur Verfügung stehenden Speichervolumina (RHB + Randgraben) als auch die Regelabgabe aus den Rückhalteräumen (Pumpleistung) sind bekannt. Die für die Kontinuitätsgleichung notwendigen Zuflussganglinien werden durch das Modell ROHALDEP (vgl. Abschnitt 2.3) bereitgestellt. Für jede KOSTRA-Regendauer sind auf Basis der mittels ROHALDEP erzeugten Durchflussganglinien sowie der Regelabgabe mittels der Anwendung der Kontinuitätsgleichung die notwendigen Speichervolumina ermittelbar. Das maßgebende Speichervolumen entspricht dem größten Speichervolumen, das sich bei der Gegenüberstellung der Speichervolumina für die verschiedenen KOSTRA-Regendauern ergibt.

2.4. Prinzipielle Herangehensweise bezüglich der Ermittlung der hydraulischen Entwässerungskapazität eines Drainelements während Starkregen

Der maßgebende Belastungsfall für ein in das Oberflächensicherungssystem integriertes Drainelement stellt der Starkregenfall dar. Für den hydraulischen Nachweis einer ausreichenden Wirksamkeit eines Drainelements im Starkregenfall ist die Kenntnis folgender Dinge notwendig (RAMKE, 2000, 2002, s. auch Abbildung 6):

- Zuflüsse zum Drainelement von oben (i. d. R. aus der Rekultivierungsschicht),
- Abflüsse aus dem Drainelement nach unten (i. d. R. in die Dichtungsschicht) sowie
- hydraulische Eigenschaften und Geometrie des Drainelements

Im Ergebnis des Wechselspiels dieser drei Dinge baut sich ein Drainwasserspiegel auf (s. Abbildung 6). Das Drainelement verfügt dann über eine ausreichende hydraulische Wirksamkeit, wenn der maximale Drainwasserspiegel die Drainmächtigkeit nicht übersteigt. Für diesen Fall ist das Drainelement folglich ausreichend bemessen. Anderenfalls (bei Überschreitung der Drainmächtigkeit durch den maximalen Drainwasserspiegel) liegt eine Unterbemessung vor.

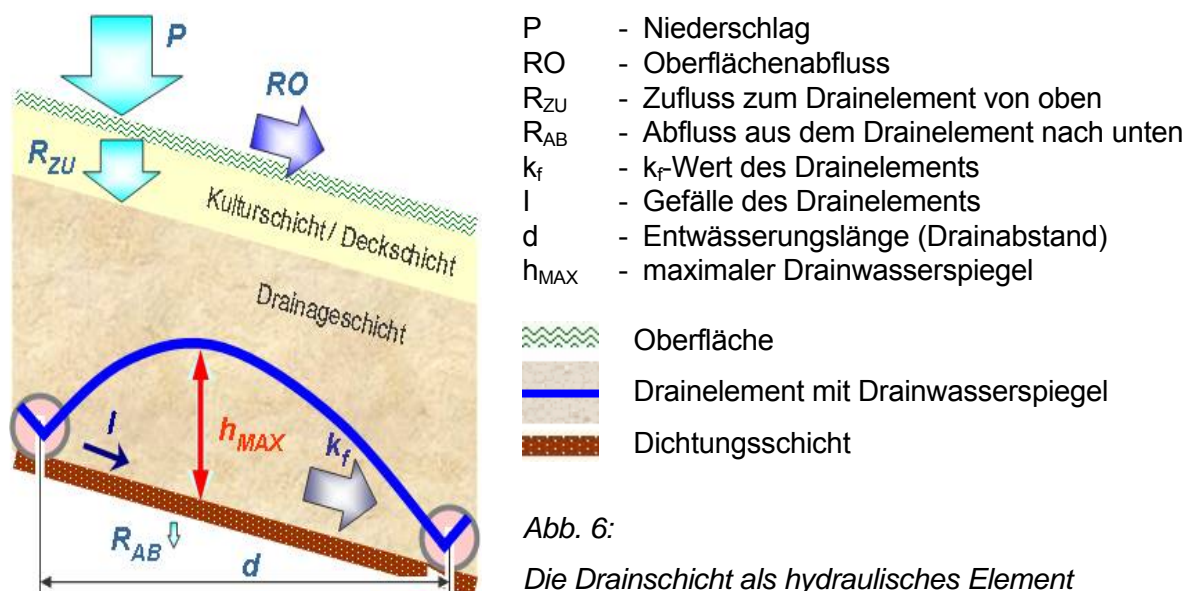


Abb. 6:

Die Drainschicht als hydraulisches Element

Die Ermittlung der dem Drainsystem von oben zusitzenden Sickerwassermengen kann zum einen ereignisbezogen (auf Grundlage eines Bemessungsregens) erfolgen oder aber durch die Anwendung eines geeigneten Wasserhaushaltsmodells (hier: HELP), die für einen langjährigen Simulationszeitraum anzuwenden sind.

Letztere Herangehensweise ist genauer, weil die Prozesse, die zu einer Verzögerung und Vergleichmäßigung der Sickerwässer innerhalb der über einem Drainelement liegenden Schichten (i. d. R. Rekultivierungsschicht, ggf. weitere Schichten) Berücksichtigung finden. Die Verwendung starkregenbezogener Bemessungsniederschläge, die i. d. R. auf Grundlage des KOSTRA-Starkregenatlas des DWD (BARTELS U. A., 2005) ermittelt werden, ist zwar ebenso denkbar. Problematisch gestaltet sich in diesem Fall jedoch eine realitätsnahe Festlegung der Anfangsbodenfeuchte, die maßgebend das auffüllbare Porenvolumen und damit die Verzögerung und Vergleichmäßigung der Sickerwässer beeinflusst.

Die Herangehensweise zur Ermittlung der einem Drainsystem von oben zusitzenden Sickerwassermengen ist in RAMKE (2000, 2002) ausführlich beschrieben und lässt sich wie folgt kurz umreißen:

- Modellierung täglicher Werte der Sickerwasserarten zur Drainage (Drainspenden) mittels Halden und Deponiewasserhaushaltsmodell (wegen des prozessnäheren Versickerungsteilmodells bevorzugt mit dem HELP-Modell),
- Sortierung der Drainspenden in absteigender Folge zur Ermittlung von Häufigkeitsverteilungen und maximalen Drainspenden,
- Erarbeitung einer Drainspendendauerlinie zur Festlegung der für die Dimensionierung anzusetzenden Drainspenden in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Auftretens (Wiederkehrintervall).

Bei der Bilanzierung der Drainspenden werden folglich alle wesentlichen Prozesse oberhalb des Drainelements berücksichtigt:

- die Oberflächenabflussbildung,
- der Versickerungsprozess hinsichtlich der Verzögerung und Vergleichmäßigung und
- eine mögliche Stauwasserbildung.

Die eben beschriebene Methodik findet sich auch in der GDA-Empfehlung E 2-20: Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen (GDA, 2015) wieder und kann gegenwärtig als Stand der Technik angesehen werden.

Damit sind eine prozessorientierte Bilanzierung der einem Drainelement während eines Zeitschritts (hier: ein Tag) von oben zusitzenden Wassermengen R_{ZU} und die nach unten versickernden Mengen R_{AB} möglich. Hieraus ergibt sich die Wasserspeicheränderung innerhalb des Drainelements:

$$DS_{DRAIN} = R_{ZU} - R_{AB} \quad (2)$$

mit: DS_{DRAIN} - Wasserspeicheränderung innerhalb des Drainelements
 R_{ZU} - Sickerwasserzufluss zur Drainage von oben [m/s] (aus HELP)
 R_{AB} - Sickerwasserabstrom nach unten [m/s] (aus HELP)

Interessant bezüglich der hydraulischen Drainbelastung sind natürlich ausschließlich die Zeiträume, in denen $DS_{DRAIN} > 0$ ist und es folglich zu einem Wasseraufstau innerhalb des Drainelements kommt. Diese Zeiträume sind hydraulisch gesondert zu betrachten und bezüglich der Aufstauhöhen zu untersuchen.

Das Entscheidungskriterium, ob ein Drainelement unter den gegebenen Randbedingungen für den Bemessungsfall den Anforderungen genügt oder nicht (also hydraulisch in der Lage ist, das in ihr gefasste Wasser abzuführen), stellt die maximale Wasseraufstauhöhe auf dem Drainelement dar, die kleiner der tatsächlich vorhandenen bzw. geplanten Drainmächtigkeit sein muss.

Der Prozess der Ausbildung eines Wasseraufstaus innerhalb eines mineralischen Drainelement kann hydraulisch als eindimensionale Filterströmung auf geneigter Drainbasis beschrieben werden (RAMKE, 1991, 2000, WITT, RAMKE, 2003, s. auch Abbildung 7), wofür unter stationären Bedingungen die Näherungslösung nach *Boussinesq* angesetzt werden kann, die nach einmaliger Integration lautet (WITT, RAMKE, 2003):

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{R_{zu}}{k_{f,x}} \left(\frac{d-x}{h-x \tan \alpha} \right) \quad (3)$$

mit: R_{zu} - Sickerwasserzufluss zur Drainage von oben [m/s]
 $k_{f,x}$ - Durchlässigkeitsbeiwert (k_F -Wert) des Drainelements in x-Richtung [m/s]
 d - Fließlänge (projiziert in die Horizontale) [m]
 x - horizontale Koordinate
 h - hydraulisches Potenzial
 α - Neigungswinkel der Drainage

Eine direkte Lösung der Gleichung 3 zur Berechnung von h ist nicht möglich. Von SCHMID (1993) wurde eine explizite Lösung zur Berechnung des maximalen Wasseraufstaus für den Fall einer ausschließlich talseitigen Drainwasserfassung (vgl. Abbildung 8) entwickelt.

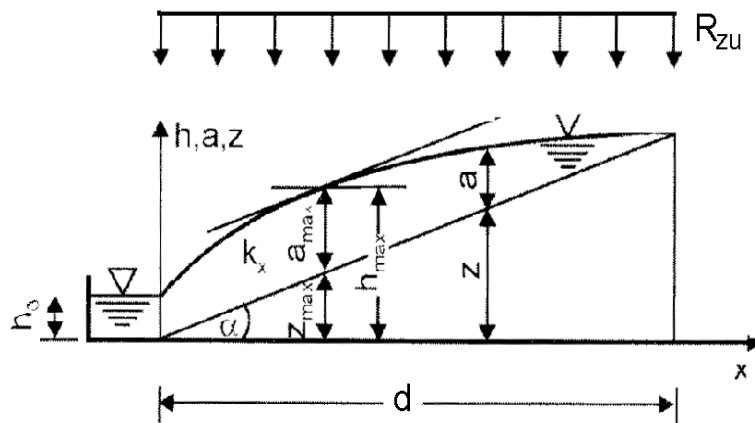


Abb. 7:

Abfluss auf geneigter, undurchlässiger Sohle ohne Aufstau am Ende des Einzugsbereichs (aus WITT, RAMKE, 2003, verändert)

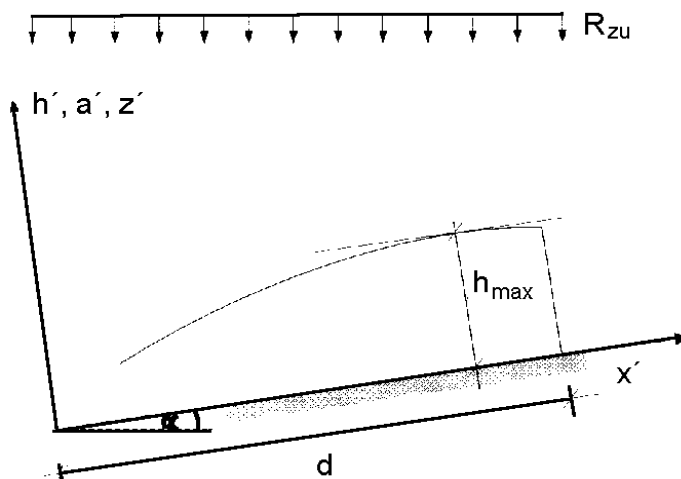


Abb. 8:

Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach SCHMID (1993), aus Witt, RAMKE (2003)

Bei deren Anwendung sind drei Fälle (Gültigkeitsbereiche) zu beachten:

Fall A: $\Delta > 0$ (mit $\Delta = 4 \cdot [(R_{ZU} - R_{AB}) / k_{f,h}] - l^2$):

$$h_{max} = \left[\frac{R_{ZU} - R_{AB}}{k_{f,h}} \right]^{0,5} \cdot d \cdot e^A \quad (4)$$

$$\text{mit: } A = \frac{l}{\Delta^{0,5}} \left[\arctg \left[\frac{k_{f,h} \cdot l^2 - 2 (R_{ZU} - R_{AB})}{k_{f,h} \cdot l \cdot \Delta^{0,5}} \right] - \arctg \left[\frac{l}{\Delta^{0,5}} \right] \right] \quad (5)$$

mit: h_{max} - maximaler Aufstau über der Drainsohle (normal zur Sohle) [m]
 R_{ZU} - Sickerwasserzufluss zur Drainage von oben [m/s] (Drainspende aus HELP)
 R_{AB} - Sickerwasserabstrom nach unten [m/s] (vorgegeben durch den k_f -Wert der unterhalb liegenden Dichtschicht)
 $k_{f,h}$ - k_f -Wert des Drainelements in horizontaler Richtung [m/s]
 l - Draingefälle []
 d - Fließlänge (projiziert in die Horizontale) [m]
 e - EULER'sche Zahl ($e = 2,71828$)

Fall B: $\Delta = 0$ (mit $\Delta = 4 \cdot [(R_{ZU} - R_{AB}) / k_{f,h}] - l^2$):

$$h_{max} = \left[\frac{R_{ZU} - R_{AB}}{k_{f,h}} \right]^{0,5} \frac{d}{e} \quad (6)$$

(alle Größen s. Gleichungen 4 und 5)

Fall C: $\Delta < 0$ (mit $\Delta = 4 \cdot [(R_{ZU} - R_{AB}) / k_{f,h}] - l^2$):

$$h_{max} = \left[\frac{R_{ZU} - R_{AB}}{k_{f,h}} \right]^{0,5} \cdot |B|^{\{0,5 l (-\Delta)^{0,5}\}} \quad (7)$$

$$\text{mit: } B = \frac{-2 (R_{ZU} - R_{AB}) + k_{f,h} \cdot l \cdot [l - (-\Delta^{0,5})]}{-2 (R_{ZU} - R_{AB}) + k_{f,h} \cdot l \cdot [l + (-\Delta^{0,5})]} \cdot \frac{l + (-\Delta^{0,5})}{l - (-\Delta^{0,5})} \quad (8)$$

(alle Größen s. Gleichungen 3, 4 und 5)

Erfolgt die Drainentwässerung darüber hinaus durch einen hangseitigen Drain (s. Abbildung 9), so kann die Gleichung nach LESAFFRE (1987) verwendet werden:

$$\frac{d}{h_{max}} = \left[\frac{4 k_{f,h}}{R_{ZU} - R_{AB}} + \left[\frac{k_{f,h}}{R_{ZU} - R_{AB}} - 1 \right] l^2 \right]^{0,5} \quad (9)$$

(alle Größen s. Gleichungen 3, 4 und 5)

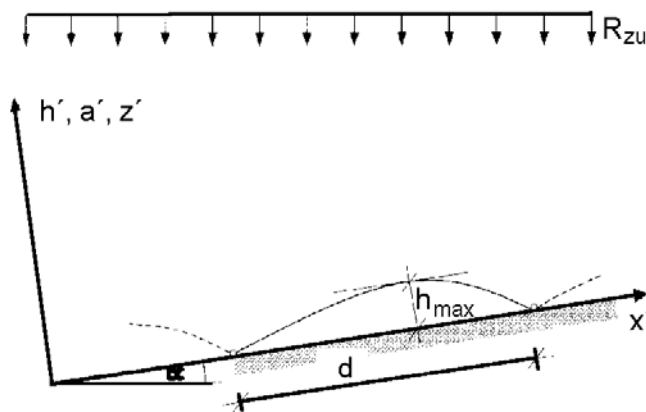


Abb. 9:

Definitionsskizze für den Berechnungsansatz nach LESAFFRE (1987), aus Witt, RAMKE (2003)

Die Gleichungen nach SCHMID (1993) im Fall einer ausschließlich talseitigen Drainwasserfassung bzw. nach LESAFFRE (1987) im Fall einer hang- und talseitigen Drainwasserfassung sind entsprechend Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (GDA, 2015) in Deutschland für Drainelemente von Oberflächen- bzw. Basissicherungssystemen von Deponien und Halden anzuwenden.

Ist die berechnete Wasseraufstauhöhe auf dem Drainelement nicht größer als die Drainmächtigkeit, so genügt das Drainelement unter den gegebenen Randbedingungen den Anforderungen für den Bemessungsfall. Ist dies nicht der Fall, so sind Veränderungen im System der Oberflächensicherung erforderlich. Solche Veränderungen können sein:

- Erhöhung der Speichereigenschaften der oberhalb des Drainelements liegenden Schichten (durch Erhöhung der Mächtigkeit bzw. der Porosität) → Erhöhung der mittleren Verweildauer der Sickerwässer → Vergleichmäßigung der dem Drain zuzusitzenden Wassermengen,
- Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit der unterhalb des Drainelements liegenden Schicht (i. d. R. Dichtungsschicht: Durchlässigkeitserhöhung oftmals wegen der Verminderung der Dichtwirkung der Oberflächensicherung unmöglich),
- Erhöhung der Wasserdurchlässigkeit bzw. des Gefälles des Drainelements,
- Verringerung der Wegstrecke bis zur hydraulischen Entlastung bzw.
- Erhöhung der Mächtigkeit des Drainelements.

In der Bemessungspraxis kommen vor allem die letzten beiden Möglichkeiten zur Anwendung, weil sie immer noch mit den geringsten zusätzlichen Aufwendungen verbunden sind.

2.5. Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht und Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung aus wasserhaushaltlicher Sicht

Die Modellierung der Bodenfeuchteentwicklung in der Kulturschicht/Deckschicht 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 10). 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.

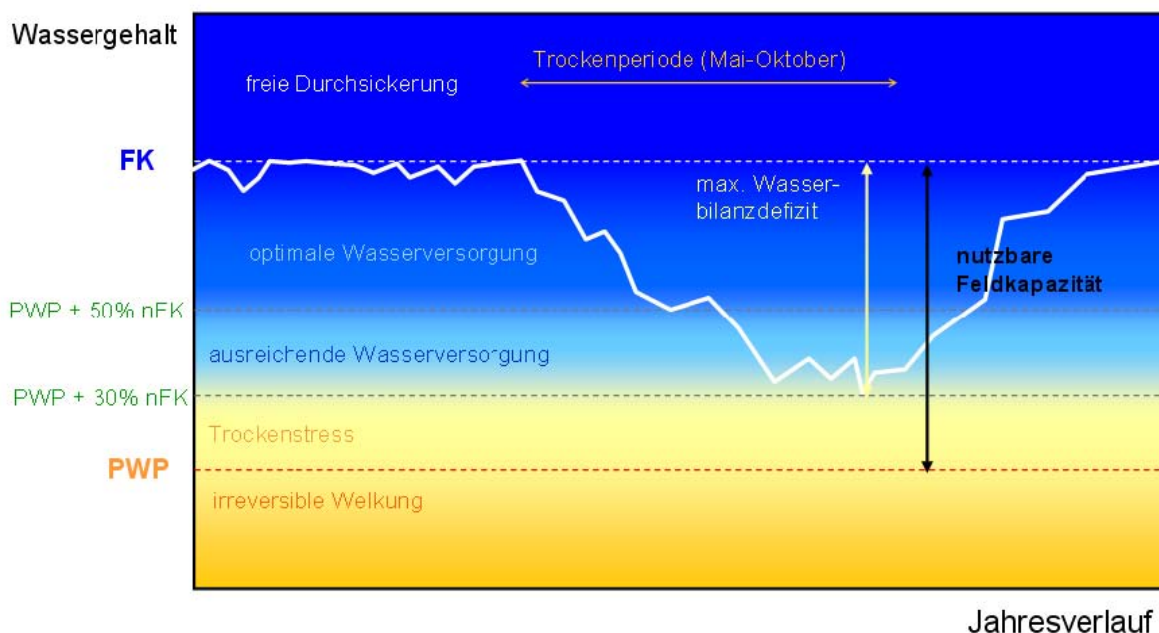


Abb. 10: Grad der Wasserversorgung mit Bezug zum Pflanzenwachstum (aus LANUV NRW, 2010)

Methodisch wird folglich so vorgegangen, dass die für die Kulturschicht/ Deckschicht modellierten Häufigkeiten des Unterschreitens kritischer und sehr kritischer Bodenfeuchtwerte häufigkeitsstatistisch analysiert werden. Die Ergebnisse dieser Häufigkeitsstatistik stellen die Grundlage für die Bewertung der Austrocknungssituation dar und sind neben der Windwurfgefährdung ein wesentliches Kriterium, um Empfehlungen bezüglich des optimalen Bewuchses besonders für den Endzustand zu geben.

3. Umsetzung der Methodik auf den Untersuchungsstandort

3.1. Horizontaldiskretisierung

Für eine verlässliche Wasserhaushaltsmodellierung ist eine Horizontaldiskretisierung in Hydrotöpfe (Flächen mit gleichen hydrologischen Eigenschaften) notwendig. Bei der Hydrotöpeinteilung sollen vor allem Unterschiede hinsichtlich der Exposition (Ausrichtung), der Hangneigungen / ggf. Hanglängen sowie bezüglich des Schichtenaufbaus berücksichtigt werden. Auf Grundlage der bereitgestellten Unterlagen ist eine Untergliederung der Halde in insgesamt 29 Hydrotöpfe erfolgt (s. Anlage 1). Die Entwässerungsstrategie (Entwässerungsrichtungen, Knotenpunkte) ist der Anlage 2 zu entnehmen. Angaben zur Charakterisierung der Hydrotöpfe finden sich in der Anlage 3.

3.2. Vertikaldiskretisierung

Die Vertikaldiskretisierung resultiert aus den vertikalen Schichtenabfolgen der Oberflächensicherung. Hiernach sind vier verschiedene Schichtenabfolgen vorgesehen, die sich folgendermaßen charakterisieren lassen (vgl. auch Abbildungen 11 bis 14):

Schichtkonfiguration A: Haldenbereiche mit Kulturschicht/Deckschicht, Schüttkeil Haldentop, Drainageschicht Haldentop und Dichtungsschicht Haldentop,

Schichtkonfiguration B: Haldenbereiche mit Kulturschicht/Deckschicht, Schüttkörper, Horizontaldrainage, Schüttkörper, Schrägdrainage mit Gegenfilter, verdichtet eingebauter Schüttkörper (Schrägdichtung) und Haldenkörper,

Schichtkonfiguration C: Haldenbereiche mit Kulturschicht/Deckschicht, Schüttkörper, Horizontaldrainage, Schüttkörper, Basisdrainage und Basisabdichtung sowie

Schichtkonfiguration D: Haldenbereiche mit Kulturschicht/Deckschicht, Schüttkörper, Basisdrainage und Basisabdichtung.

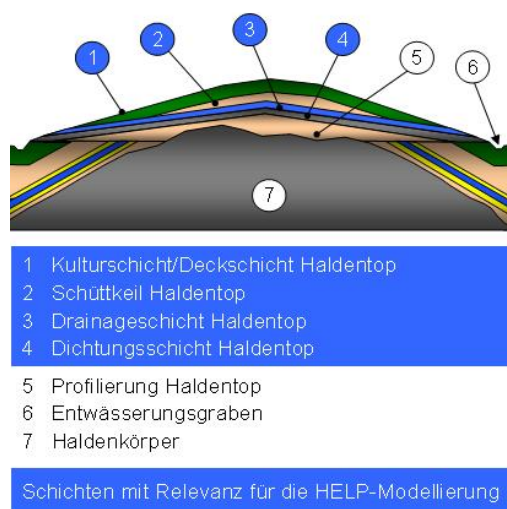


Abb. 11:

Illustration zum Schichtenaufbau der Schichtkonfiguration A (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)



Abb. 12:

Illustration zum Schichtenaufbau der Schichtkonfiguration B (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)

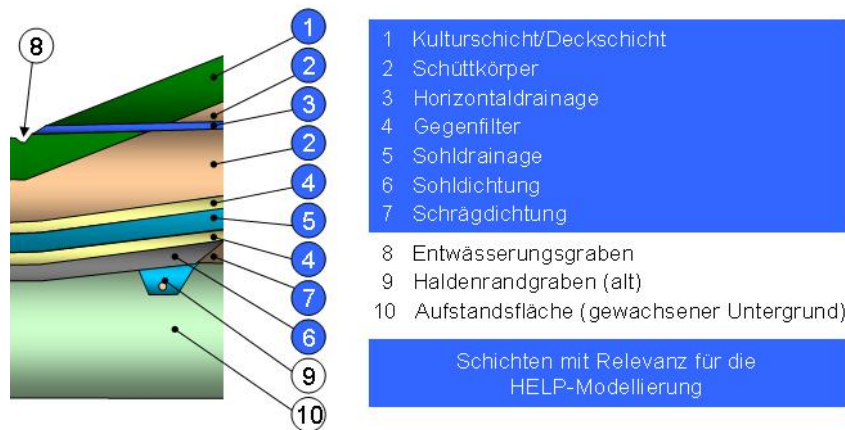


Abb. 13:

Illustration zum Schichtenaufbau der Schichtkonfiguration C (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)

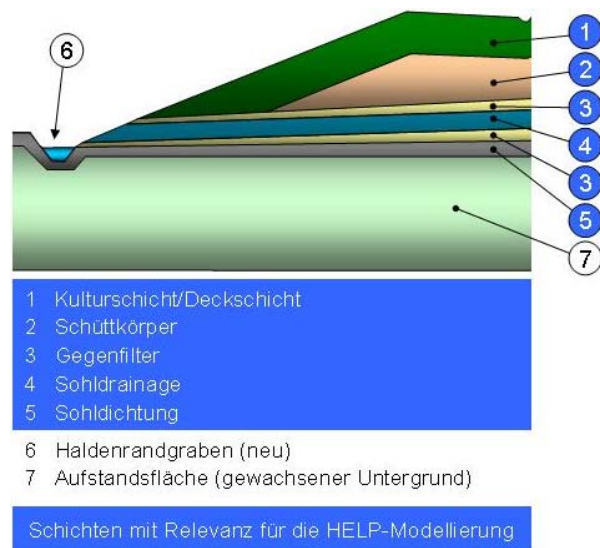


Abb. 14:

Illustration zum Schichtenaufbau der Schichtkonfiguration D (Bildgrundlage: K+S Entsorgung GmbH)

Den einzelnen Hydrotopen (Lage → s. Anlage 1) wurde die jeweils maßgebende Schichtkonfiguration zugeordnet (vgl. Anlage 3). Die Vertikaldiskretisierung des HELP-Modells erfolgte folglich für insgesamt vier Schichtkonfigurationen.

3.3. Modellparameter

3.3.1. Modellparameter für die Untersuchungen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten

Für die Modellierung sind die folgenden Eingabeparameter zu identifizieren:

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

Geographisch-morphologische Parameter:

- geographische Lage des Standortes: 52°, 32 n. Br. (nach GOOGLE EARTH) , im Fall des HELP-Modells: 52,53 (Minutenangabe entsprechend BERGER, SCHROEDER, 2013 mit Nachkommastelle, nicht in Minuten)
- Hangneigungen, Hanglängen und Expositionen → hydrotopabhängig, Details → s. Anlage 3

Pedologische Parameter:

Die pedologischen Parameter sind für jede wasserhaushaltlich relevante Schicht entsprechend den Schichtenaufbauten (vgl. Abschnitt 3.2) vorzugeben. Neben der Schichtmächtigkeit sind folgende wasserhaushaltlich relevanten pedologischen Parameter für eine verlässliche HELP-Modellierungen unabdingbar:

- gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (k_f -Wert),
- Sättigungswassergehalt (pF 0),
- Bereich der Feldkapazität (pF 2,5) und
- permanenter Welkepunkt (pF 4,2).

Im Folgenden soll die Parametrisierung der wasserhaushaltlich relevanten Schichten für die HELP-Modellierung dargestellt werden. Die wasserhaushaltlich relevanten Schichten sind in den Abbildungen 11 bis 14 kenntlich gemacht.

a) Kulturschicht/Deckschicht:

- Mächtigkeit: mindestens 3 m (nach K+S, 2014 a) in Analogie zu bereits abgedeckten Halden → Modellwert: 3,0 m
- wasserhaushaltlich relevante Wassertransportparameter (k_f -Werte):

Zur Ermittlung der Wassertransporteigenschaften wurden Untersuchungen auf der Halde Friedrichshall bei Sehnde durchgeführt. Die auf der Halde Friedrichshall zum Aufbau der Kulturschicht/Deckschicht verwendeten Substrate sind hinsichtlich ihrer wasserhaushaltlichen Eigenschaften vergleichbar derer, die für die Halde Niedersachsen bei Wathlingen Verwendung finden sollen.

Auf der Halde Friedrichshall bei Sehnde sind im Hinblick auf die Ermittlung repräsentativer Wasserdurchlässigkeiten (k_f -Werte) der Kulturschicht/Deckschicht in-situ-Infiltrometerversuche und Laborversuche (Triaxialzelle) durchgeführt worden, die in DUNGER (2016) dokumentiert sind. Aus den Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass das Substrat eine vergleichsweise geringe Matrixdurchlässigkeit (im Bereich von $X \cdot 10^{-7}$ m/s) hat. Diese Matrixdurchlässigkeit wird mit zunehmender Bewuchsentwicklung jedoch mehr und mehr überdeckt durch die Wirkung von Sekundärporen, die vor allem auf die Durchwurzelung zurückzuführen sind. Dadurch erhöht sich die Wasserdurchlässigkeit um ca. zwei Zehnerpotenzen.

In Auswertung der in-situ- und Laborversuche (DUNGER, 2016) wird bezüglich der Wasserdurchlässigkeit der Kulturschicht/ Deckschicht folgendermaßen vorgegangen:

- a) Parametrisierung der oberflächennahen Schicht (0 – 15 cm unter GOK) mit bewuchsabhängigem k_f -Wert (Bewuchszustände → s. u.):
 - Bewuchszustand 1 (ohne Bewuchs): $k_f = 4 \cdot 10^{-7}$ m/s (Mittelwert der Messungen)

- Bewuchszustand 2 (Bewuchsbeginn, noch spärliche Bewuchsentwicklung): gemessener $k_f = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ → im Sinne einer konservativen Betrachtung für die Modellierung um eine Zehnerpotenz herabgesetzt
- Bewuchszustand 3 (Gras-/Krautbewuchs, normale Bewuchsentwicklung): $k_f = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$
- Bewuchszustand 4 (primärer Strauch-/Baumbewuchses mit sekundärem Gras-/Krautbewuchs, üppige Bewuchsentwicklung): $k_f = 7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$

b) Parametrisierung der darunter liegenden Schicht (15 – 30 cm unter GOK) ebenfalls mit bewuchsabhängigem k_f -Wert:

- Bewuchszustand 1 (ohne Bewuchs): $k_f = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (analog oberflächennaher Schicht)
- Bewuchszustand 2 (Bewuchsbeginn, noch spärliche Bewuchsentwicklung): $k_f = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (wie Bereich unterhalb 30 cm unter GOK)
- Bewuchszustand 3 (Gras-/Krautbewuchs, normale Bewuchsentwicklung): $k_f = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$
- Bewuchszustand 4 (primärer Strauch-/Baumbewuchses mit sekundärem Gras-/Krautbewuchs, üppige Bewuchsentwicklung): $k_f = 3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$

c) Parametrisierung der darunter liegenden Schicht (30 – 50 cm unter GOK) mit bewuchsunabhängigem k_f -Wert von $k_f = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (Mittelwert der Messungen)

d) Parametrisierung der darunter liegenden Schichten bis zur Basis der Kulturschicht/Deckschicht (50 – 300 cm unter GOK) mit bewuchsunabhängigem k_f -Wert von $k_f = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ (unterer Grenzwert der Messwerte)

- wasserhaushaltlich relevante Wasserspeicherparameter:

Analog der Untersuchungen zur Ermittlung der Wassertransporteigenschaften wurden auf der Halde Friedrichshall bei Sehnde ferner Untersuchungen zum Wasserspeichervermögen der Kulturschicht/Deckschicht durchgeführt.

Die HELP-modellrelevanten Wasserspeicherparameter sind nach DIN EN ISO 11274 nach der Methode „Druckplattenextraktorverfahren“ ermittelt worden. Die Ergebnisse sind in DBI (2016) dokumentiert. Aus den Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass das Substrat über eine vergleichsweise hohe nutzbare, d. h. für den Bewuchs verdunstungsrelevante, Feldkapazität sowie Luftkapazität verfügt. Im Ergebnis der bodenkundlichen Untersuchungen konnte bezüglich der nutzbaren Feldkapazität nFK eine Spanne zwischen 17,5 und 24,6 Vol.-% ausgewiesen werden. Die Luftkapazitäten LK schwanken zwischen 12,2 und 24,6 Vol.-%. Nach DBI (2016) ist das Substrat wegen seiner bodenkundlichen Voraussetzungen sehr gut für den Einsatz als Kulturschicht/Deckschicht geeignet.

Im Hinblick darauf, dass auf der Halde Niedersachsen bei Wathlingen möglichst das gleiche Spektrum an Substraten wie auf der Halde Friedrichshall bei Sehnde angenommen und verbaut werden kann, ist hinsichtlich der nutzbaren Feld-

kapazität konservativ herangegangen worden. Für die Modellierung verwendet wurde der kleinste Wert ($n_{FK} = 17,6$ Vol.-% nach deutscher Definition bzw. 6,1 Vol.-% nach US-Definition). Dies bedeutet, dass die Modellergebnisse konservativ ausfallen: Untergrenze der Verdunstung, Obergrenze der Drainabflüsse und Sickerwassermengen. Den Modellrechnungen liegen zugrunde:

- Sättigungswassergehalt: 38,6 Vol.-%
- Feldkapazität (US-Norm, $pF\ 2,5$): 12,1 Vol.-%
- permanenter Welkepunkt: 6,0 Vol.-%

b) Schüttkeil / Schüttkörper:

Die Mächtigkeiten der Schüttkörper gestalten sich sehr unterschiedlich:

- an den Böschungen entsprechend SONDER-BETRIEBSPLAN ABDECKUNG HALDE FRIEDRICHSHALL (2010, vgl. Anlage 4) mindestens 10 m, zum Teil deutlich höher
→ Modellwert: 10,0 m (konservativ),
- im Haldentop deutlich geringer → Modellwert: 3,0 m und
- Schüttkörper zwischen Schrägdrainage und Haldenkörper (Schrägdichtung): 3,0 m → Modellwert: 3,0 m

Die Anforderungen, die bezüglich der zum Aufbau der Schüttkörper verwendeten Materialien gestellt werden, sind recht verschieden. Besonders hohe Anforderungen bezüglich des k_f -Wertes sind an das Schüttkörpermaterial zu stellen, das auf den Flächen ohne Tondichtung (Schichtkonfiguration B) zwischen der Schrägdrainage und dem Haldenkörper als Schrägdichtung eingebaut wird. Dieses Substrat ist dahingehend sorgfältig auszuwählen, dass ausschließlich Bodenaushub mit einem breiten Körnungsspektrum ohne Beimengungen von Bauschutt Verwendung findet. Auch ist der Einbau sorgfältig auszuführen, so dass ein Anschluss zur unterhalb liegenden Haldenoberfläche und ein hoher Verdichtungsgrad (Proctordichte: $\geq 97\%$) gegeben sind. Nur so kann gewährleistet werden, dass das Schüttkörpermaterial als Schrägdichtung fungieren kann.

Für alle anderen Flächen, also solche mit einer Tondichtung (Schichtkonfigurationen A, C und D) gestalten sich die Anforderungen, die insbesondere an die Dichtheit der Komponente zu stellen sind, weit weniger hart. Gleiches gilt für den Schüttkörper der Schichtkonfiguration B (Flächen ohne Tondichtung), die sich oberhalb der Schrägdrainage befinden. Hier sind durchaus auch Bodenaushubsubstrate mit einem Bauschuttanteil brauchbar. Im Folgenden wird das eben beschriebene Material als „normales Schüttkörpermaterial“ bezeichnet.

Folglich sind die Schüttkörper für das HELP-Modell in Bezug auf die Wassertransporteigenschaften (k_f -Werte) sehr verschieden parametrisiert worden:

a) normales Schüttkörpermaterial:

- Wassertransporteigenschaften (k_f -Wert) analog der darüber liegenden Kulturschicht/Deckschicht (Bereich 50 – 300 cm unter GOK) → k_f -Wert: $2 \cdot 10^{-7}$ m/s (s. o.)

- Für die Schüttkörper direkt unterhalb der Horizontaldrainagen ist eine wasserhemmende Schicht mit einem k_f -Wert von $7,5 \cdot 10^{-9}$ m/s in die Modellierung eingegangen. Eine solche Schicht basiert auf der Beobachtung, dass aus den Horizontaldrainagen anderer mit der Halde Niedersachsen vergleichbarer Halden in geringem Umfang Sickerwässer austreten.

Die Horizontaldrainagen haben somit eine hydraulische Wirksamkeit dahingehend, dass es in ihnen zu einem Wasseraufstau kommt und dieses Wasser hypodermisch (lateral) innerhalb der Drainagen abgeführt wird.

Der für die hemmende Schicht angesetzte Wert von $7,5 \cdot 10^{-9}$ m/s wurde gewählt, weil damit ein geringer Teil des Sickerwassers (für den Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung ca. 10 % der Sickerwassermenge) als Drainwasser hypodermisch abfließt, der Hauptteil (ca. 90 %) jedoch weiter nach unten versickert.

Begründen lässt sich eine solche hemmende Schicht auch damit, dass infolge des Transports und des Einbaus der Horizontaldrainagen Verdichtungen des Schüttkörpers auftreten. Die Mächtigkeit dieser Verdichtungsschicht wurde mit 0,5 m angenommen.

b) Schüttkörpermaterial, das als Schrägdichtung fungiert:

- Seitens der DBI-EWI GmbH Freiberg sind für das Schüttkörpermaterial mit guten Dichtungseigenschaften Triaxialversuche nach DIN 18 130 T1 durchgeführt worden. Gesteinsproben wurden mit Proctordichten von $D_{Pr} = 97$ % bzw. 99 %) eingebaut und die k_f -Werte bestimmt. Die so ermittelten k_f -Werte nehmen erwartungsgemäß mit zunehmendem Verdichtungsgrad ab:
 - $k_f = 3,5 \cdot 10^{-10}$ m/s für $D_{Pr} = 97$ % bzw.
 - $k_f = 7,3 \cdot 10^{-11}$ m/s für $D_{Pr} = 99$ %.

Dieser Zusammenhang wird durch einen weiteren Triaxial-Messwert der DBI-EWI GmbH Freiberg gestützt. An einer Probe ist die Wirkung einer Auflast von 45 m Schütthöhe auf die Verdichtung und den sich hierdurch ergebenden k_f -Wert geprüft worden. Im Ergebnis des Versuchs ergaben sich eine Proctordichte von 98,5 % und ein k_f -Wert von $7,9 \cdot 10^{-11}$ m/s.

- Da im vorliegenden Fall eine Proctordichte von mindestens 97 % vorge-schrieben ist, wird ein k_f -Wert von $\leq 4 \cdot 10^{-10}$ m/s erreicht. Im Zuge der HELP-Modellierung ist im Sinne einer konservativen Betrachtungsweise (ohne Berücksichtigung einer Verdichtung infolge Auflast) mit einem k_f -Wert von $4 \cdot 10^{-10}$ m/s gerechnet worden.

c) Drainagen:

Zum Bau der Drainagen sind in Anlehnung an vorangegangene Haldenabdeckungen folgende Materialien vorgesehen (vgl. auch Anlage 4):

- Drainagen Haldentop, Horizontaldrainagen sowie Schrägdrainagen: Körnung 0/45 mm
- Sohldrainagen: 0,7 m mächtige obere Lage mit einer Körnung 0/45 mm, 0,3 m mächtige untere Lage mit einer Körnung 8/45 mm

Für beide Materialien (Körnung 0/45 mm sowie 8/45 mm) liegen Ergebnisse zum Wasserleitvermögen vor, die auf Basis von gewonnenen Proben im Bereich der Sohldrainage an Hand von Sieblinien ermittelt wurden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen (POMMERENING, 2016):

- k_f -Werte für die Körnung 0/45 mm: $2,1 \dots 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
- k_f -Werte für die Körnung 8/45 mm: $1,8 \dots 4,3 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$

Zu beachten ist dabei, dass für die Körnung 0/45 mm nur 2 Werte vorliegen und für die Körnung 8/45 mm nur 3 Werte. Nichts desto Trotz erscheinen die Werte plausibel.

Aus den Erfahrungen, die im Deponiebau mit mineralischen Drainsubstraten gesammelt worden sind und die Eingang in die gängigen Empfehlungen, u. a. in die Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards BQS 6-1: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-1: „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“ (LAGA, 2011) und BQS 6-2: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-2: „Mineralische Entwässerungsschichten aus nicht natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“ (LAGA, 2014) sowie in die GDA Empfehlung E2-20: Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. (GDA, 2015) gefunden haben, ergibt sich, dass die o. g. k_f -Werte nicht 1 : 1 für die Modellrechnungen übernommen werden sollten.

Würde man dies tun, so blieben Alterungseffekte, die einen Rückgang der Wasserleitfähigkeit bewirken, unberücksichtigt.

Die o. g. k_f -Werte wurden für die Modellierung folglich um etwa eine halbe bis eine Zehnerpotenz abgemindert:

- k_f -Wert für die Körnung 0/45 mm: $5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
- k_f -Werte für die Körnung 8/45 mm: $2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$.

Bezüglich der Wasserspeicherparameter wurden die HELP-Defaultwerte für den US-Schichttyp 1 (CoS – coarse sand, BERGER, SCHROEDER, 2013) verwendet:

- Sättigungswassergehalt: 41,7 Vol.-%
- Feldkapazität (US-Norm, pF 2,5): 4,5 Vol.-%
- permanenter Welkepunkt: 1,8 Vol.-%

Mächtigkeiten:

- Drainageschicht Haldentop: 0,4 m (Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt) → ggf. im Ergebnis der hydraulischen Untersuchungen zu modifizieren
- Horizontal drainagen: 0,4 m, im Bereich der aufgeweiteten östlichen Bermen: 0,5 m (Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt) → ggf. im Ergebnis der hydraulischen Untersuchungen zu modifizieren
- Schrägdrainage: 2,0 m (entsprechend SONDERBETRIEBSPLAN ABDECKUNG HALDE FRIEDRICHSHALL, 2010) → ggf. im Ergebnis der hydraulischen Untersuchungen zu modifizieren
- Sohldrainage: 1,0 m (Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt) → ggf. im Ergebnis der hydraulischen Untersuchungen zu modifizieren

Neigungen:

- Drainageschicht Haldentop: 4,3 – 11,0 % (entsprechend Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt analog unterliegender Tondichtung)
- Horizontaldrainagen: 2 %, im Bereich der aufgeweiteten östlichen Bermen: 4,5 % (s. Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt)
- Schrägdrainage: analog Haldenoberfläche → im Mittel 53 % (→ s. Anlage 3)
- Sohl drainage: 2 % (s. Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt)

c) *Gegenfilter (unterer und oberer):*

Die oberen und unteren Gegenfilter sind entsprechend SONDERBETRIEBSPLAN ABDECKUNG HALDE FRIEDRICHSHALL (2010) hinsichtlich der Kornabstufungen geringfügig feinkörniger als die Drainageschichten.

Aus dieser Tatsache ergeben sich etwas geringere Wasserdurchlässigkeiten als für die Drainageschichten. Aus den Kornverteilungskurven wurde nach dem Ansatz von BEYER ein minimaler k_f -Wert von $3,1 \cdot 10^{-5}$ m/s ermittelt.

Bezüglich der Parametrisierung der Gegenfilter wurden die HELP-Defaultwerte für den US-Schichttyp 3 (FS – fine sand, BERGER, SCHROEDER, 2013) verwendet:

- k_f -Wert: $3,1 \cdot 10^{-5}$ m/s
- Sättigungswassergehalt: 45,7 Vol.-%
- Feldkapazität (US-Norm, pF 2,5): 8,3 Vol.-%
- permanenter Welkepunkt: 3,3 Vol.-%

Mächtigkeiten (Planungsunterlagen Steinbacher Consult GmbH Erfurt):

- oberer Gegenfilter Drainageschicht Haldentop: 0,1 m
- unterer Gegenfilter Drainageschicht Haldentop: 0,2 m
- oberer Gegenfilter Horizontaldrainagen: 0,1 m
- unterer Gegenfilter Horizontaldrainagen: 0,2 m
- (oberer) Gegenfilter Schrägdrainage: 1,0 m
- oberer Gegenfilter Sohl drainage: 0,25 m
- unterer Gegenfilter Sohl drainage: 0,25 m

d) *mineralische Dichtungsschichten:*

Bezüglich der Wasserspeicherparameter wurden die HELP-Defaultwerte (HELP-Datenbank) für mineralische Dichtschichten (Schichttyp 16, vgl. BERGER, SCHROEDER, 2013) verwendet:

- Sättigungswassergehalt: 42,7 Vol.-%
- Feldkapazität: 41,8 Vol.-%
- permanenter Welkepunkt: 36,7 Vol.-%

Der k_f -Wert wurde entsprechend SONDERBETRIEBSPLAN ABDECKUNG HALDE FRIEDRICHSHALL (2010) mit $5 \cdot 10^{-10}$ m/s festgelegt. Die Mächtigkeiten betragen generell 0,5 m (betrifft Dichtschicht Haldentop, Tondichtungen im Bereich der aufgeweiteten östlichen Bermen und Sohl dichtung). Beim Einbau handelt es sich um einen zweilagigen Einbau. Beide Lagen sind im HELP-Modell mit gleichen Wassertransport- und Wasserspeicherparametern belegt worden.

Nutzungs-/Bewuchsparameter:

Hinsichtlich des Bewuchses ist von folgenden vier Zuständen ausgegangen worden, die es zu parametrisieren galt:

- *Bewuchszustand 1*: unbewachsene Kulturschicht-/Deckschichtoberfläche (Beginn der Abdeckung/Rekultivierung),
- *Bewuchszustand 2*: Gras-Krautbewuchs (spärliche Bewuchsentwicklung → in etwa dem Bewuchs im 1. und 2. Bewuchsjahr entsprechend),
- *Bewuchszustand 3*: Gras-Krautbewuchs (normale Bewuchsentwicklung → ab etwa 3. Bewuchsjahr und
- *Bewuchszustand 4*: primärer Busch- bzw. Baumbewuchs mit sekundärem (untergelagertem) Gras-Krautbewuchs (üppige Bewuchsentwicklung → Endstadium).

Als bewuchsunabhängig sind angesetzt worden:

- Wachstumsperiode: nach BERGER, SCHROEDER (2013) dann, wenn die Tagesmitteltemperatur längerfristig den Wert von 8 °C überschreitet, hier vom 14. April bis 02. November:
 - Beginn der Wachstumsperiode: 14. April (104. Kalendertag)
 - Ende der Wachstumsperiode: 02. November (306. Kalendertag)

Der unbewachsene Zustand (Bewuchszustand 1) ist folgendermaßen parametrisiert (BERGER, SCHROEDER, 2013) worden:

- maximaler Blattflächenindex BFI: 0,0 und
- evaporative Zone (unbewachsene Bodenevaporationszone Bez): 94 cm (aus BERGER, SCHROEDER, 2013, berechnet nach SCHROEDER ET AL., 1994).

Die Parametrisierung des Gras-Krautbewuchses mit spärlicher Bewuchsentwicklung (Bewuchszustand 2) gestaltet sich folgendermaßen:

- maximaler Blattflächenindex BFI: 1,0 (BERGER, SCHROEDER, 2013) und
- evaporative Zone (effektive Wurzeltiefe We): 100 cm.

Der Gras-Krautbewuchs mit normaler Bewuchsentwicklung (Bewuchszustand 3) wurde folgendermaßen parametrisiert:

- maximaler Blattflächenindex BFI: 3,5 (BERGER, SCHROEDER, 2013) und
- evaporative Zone (effektive Wurzeltiefe We): 150 cm.

Für den Strauch-/Baumbewuchs (Bewuchszustand 4) sind folgende Bewuchsparameter angesetzt worden:

- maximaler Blattflächenindex BFI: 10 (wegen der angenommenen üppigen Bewuchsentwicklung und der Mehrstöckigkeit des Bewuchses etwas über dem Mittelwert der in BERGER, SCHROEDER, 2013 angegebenen Spannweite zwischen 4 und 12) und
- evaporative Zone (effektive Wurzeltiefe We): 200 cm (in Anlehnung an KUTSCHERA, LICHTENEGGER, 1982, 1992, KONOLD, 1995 und GDA, 2000).

Die Festlegungen bezüglich der evaporativen Zone erfolgten zunächst auf Basis der in KUTSCHERA, LICHTENEGGER (1982, 1992), KONOLD (1995) und GDA (2000) angegebenen Werte. Vermerkt werden muss, dass die in der o. g. Literatur aufgeführte Bandbreite bezüglich der Wurzeltiefen außerordentlich groß ist. Zurückzuführen ist dies darauf, dass die Pflanzen ihre Wurzeln in Abhängigkeit von den Standortbedingungen ausbilden und diese je nach Wasser- und Nährstoffbedingungen recht unterschiedlich ausfallen können.

Vor allem aus diesem Grund sind die evaporativen Zonen für die beiden letztgenannten Bewuchsarten letztendlich unter Hinzunahme experimenteller Untersuchungsergebnisse festgelegt worden, die seitens der Arbeitsgruppe um Prof. Schmeisky auf abgedeckten Kalihalden erhalten worden sind (BRAUNISCH, 2008). Die gleichen Werte sind auch im Zusammenhang mit den wasserhaushaltlichen Untersuchungen im Zuge der Planungsarbeiten für die Halde Siegfried-Giesen (in ARGE, 2013 als „durchschnittlicher Parametersatz“ bezeichnet) verwendet worden.

Im Zuge der Wasserhaushalts- und Abflussmodellierung sind insgesamt drei Zeitschnitte bezüglich der flächenhaften Bewuchsverbreitung betrachtet worden:

Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung → kritischer Zustand bezüglich der Bemessung des Regenrückhaltebeckens

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung

Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung

Die drei Zeitschnitte sind in der Anlage 5 hinsichtlich der Modellannahmen und Modellparameter näher charakterisiert.

3.3.2. Parameter zur Modellierung des Starkregenfalls

Der Starkregenfall ist relevant für die Bemessung der ober- und unterirdischen Entwässerungseinrichtungen (vgl. Abschnitte 1, 2.2 bis 2.4). Bedeutsam für die Ermittlung der Oberflächenabflüsse und die darauf basierende Dimensionierung der oberirdischen Entwässerungseinrichtungen sind insbesondere der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) der Oberfläche und der Bewuchs.

Für die Kultur- bzw. Oberbodenschicht ist in Abhängigkeit vom Bewuchs von den gleichen k_f -Werten ausgegangen worden, die den Untersuchungen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten zugrunde liegen (vgl. Abschnitt 3.3.1).

Auch bezüglich des Bewuchses sind die gleichen Annahmen wie für das langjährige wasserhaushaltliche Verhalten getroffen worden (s. insbesondere Anlage 5). Die Festlegung der Vorneuchte ist entsprechend der DVWK-Anleitung A 113 (DVWK, 1984) als durchschnittlich erfolgt. Als Wiederkehrsintervall wurde entsprechend der Vorgabe 5 Jahre angesetzt.

Die durch die beiden Modelle HELP (langjähriger Wasserhaushalt) und ROHALDEP (Abflüsse im Starkregenfall) modellierten Kurvenzahlen (Curve Numbers der SCS-

Verfahrens = Masterparameter bezüglich der Oberflächenabflüsse) wurden bezüglich deren Übereinstimmung geprüft. Die Anlage 6 vermittelt eine Übersicht über die mittels der beiden Modelle ermittelten Kurvenzahlen.

In Anbetracht der Tatsache, dass ein gewisser Teil des Niederschlages direkt auf die Gräben bzw. auf die teilweise verdichteten Bermen fällt, ist für das 5-jährige Starkregenereignis von einem Mindestabflussbeiwert von 10 % ausgegangen worden. Ergeben sich auf Basis der Kurvenzahlen Abflussbeiwerte unter 10 %, so sind diese auf 10 % erhöht worden. Mit dieser Herangehensweise wird der Hinweis in Us-Scs (1972) berücksichtigt, dass das CN-Verfahren für Kurvenzahlen < 40 % nicht anwendbar ist und für Kurvenzahlen wenig darüber ungenaue Abflusswerte liefert.

Die mittlere maßgebende Bemessungsregendauer für die Oberflächenabflussbildung (Regendauer, für die der Abflussscheitel maximal wird) ist mittels des Modells ROHALDEP (s. Abschnitt 2.2) ermittelt worden. Das Modell ROHALDEP prüft modellintern durch iterative Veränderung der Regendauer, für welche Regendauer der maximale Scheiteldurchfluss entsteht. Bezüglich der Abflussbildung wurde von einer flächenhaften Abflussbildung ausgegangen.

Weiterführende Parameter, die zur Modellierung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall notwendig sind, enthält die Anlage 7.

Laufzeitdifferenzen bei der Abflusskonzentration und beim Abflussverlauf wurden berücksichtigt (Ausnahme: Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung – wegen dem noch nicht im Detail klaren Verlauf der Entwässerungseinrichtungen und den verglichen mit den Zeitschnitten 2 und 3 deutlich kürzeren Entwässerungsstrecken bis zum Rückhaltebecken).

Die Berücksichtigung von Laufzeitdifferenzen ist insofern wichtig, als dass die auf dem Haldentop gebildeten Oberflächenabflüsse gegenüber den an den Haldenböschungen (insbesondere untere Böschung) gebildeten Abflüssen deutlich später am tiefsten Entwässerungspunkt (Rückhaltebecken) ankommen. Die Berechnung der Laufzeitdifferenzen erfolgte auf Basis der durch die Steinbacher Consult GmbH Erfurt berechneten maximalen Fließgeschwindigkeiten im bordvollen Zustand (vgl. Anlagen 7 und 8).

Drainwassermengen, die sich im Starkregenfall bilden, wurden hinsichtlich des Gesamtdurchflussmengen eingerechnet. Die Drainwasserabflüsse wurden mittels HELP-Modell ermittelt. In der Anlage 5 sind die Drainwassermengen, die sich für ein Starkregenereignis mit 5 Jahren Wiederkehrintervall ergeben, enthalten.

Ebenfalls berücksichtigt wurden die Regenmengen, die direkt auf die freien Wasserflächen (Rückhaltebecken sowie angestauter Bereich des Haldenrandgrabens) fallen. Die Flächengröße für das verkleinerte Rückhaltebecken und den angestauten Bereich des Haldenrandgrabens beträgt in Summe 12 930 m² (bereitgestellt durch Steinbacher Consult GmbH Erfurt).

3.4. Meteorologische Daten

3.4.1 Datenmaterial zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten (langjähriges Mittel, Nass- und Trockenjahre)

Neben den Haldenparametern (vgl. Abschnitt 3.3) benötigt das HELP-Modell die folgenden repräsentativen meteorologischen Daten: tägliche Werte für die Größen Temperatur, Globalstrahlung und Niederschlag, langjährige Quartalsmittel der relativen Luftfeuchte sowie das langjährige Jahresmittel der Windgeschwindigkeit.

Im Sinne der im Abschnitt 1 genannten Zielstellung ist es notwendig, einen möglichst langen Zeitraum zu modellieren, um gesicherte Aussagen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten ableiten zu können. Zunächst mussten Messstationen in der Nähe des Untersuchungsstandortes 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 den Internetseiten des Deutschen Wetterdienstes DWD (www.dwd.de) herunterladbar sein.

Im konkreten Anwendungsfall sind tägliche Daten der Klimaelemente Temperatur, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit und Niederschlag für zwei DWD-Stationen verfügbar:

- Klimastation Celle: ca. 8,5 km von der Halde Niedersachsen in Richtung NNW entfernt, Höhenlage: 39 m NN, Messungen seit 1940 sowie
- Klimastation Hannover ca. 31 km von der Halde Niedersachsen in Richtung WSW entfernt, Höhenlage: 55 m NN, Messungen seit 1936.

Wegen der geringeren Entfernung zum Untersuchungsstandort wurden die Daten der DWD-Station Celle ohne Modifikationen auf den Standort übertragen.

Der Deutsche Wetterdienst empfiehlt für langjährige Untersuchungen die Verwendung eines 30-jährigen Zeitraums. Dieser Zeitraum sollte wegen der Vergleichbarkeit jedweder Untersuchungsergebnisse entweder die Reihe 1961 – 1990 (WMO-Referenzreihe) bzw. 1981 – 2010 (DWD-Referenzreihe) umfassen. Aus Sicht des Bearbeiters wird der Referenzzeitraum 1981 – 2010 favorisiert, weil diese Reihe den Vorteil hat, dass sie Nahe der Gegenwart endet und somit klimatische Veränderungen, die sich im Zuge der Klimaerwärmung ergeben, besser erfasst werden.

Fehlwerte sind durch Werte der Station Hannover aufgefüllt worden. Die Anlage 9 gibt einen Überblick über die in der Datenreihe 1981 – 2010 für die Station Celle enthaltenen Fehlwerte.

Die Tabelle 5 enthält eine Übersicht über die langjährig mittleren Monats- und Jahreswerte der wasserhaushaltlich relevanten Klimaelemente.

Da lediglich tägliche Werte der Sonnenscheindauer vorliegen, das HELP-Modell jedoch tägliche Werte der Globalstrahlung benötigt, erfolgte eine Umrechnung der Sonnenscheindauer in Globalstrahlung entsprechend DvWK (1996):

$$R_G = R_o [0,19 + 0,55 (S / S_o)] \quad (10)$$

mit: R_G - mittlere Tagessumme der Globalstrahlung [J/cm^2]
 R_o - extraterrestrische Strahlung [J/cm^2]
 S - tatsächliche Sonnenscheindauer [h/d]
 S_o - astronomisch mögliche Sonnenscheindauer [h/d]

Tabelle 5: Langjährige Monatswerte der für die Modellierung notwendigen Klimaelemente für die Halde Niedersachsen, DWD-Referenzreihe 1981 – 2010

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
T	1,4	1,8	4,9	9,1	13,8	16,4	18,7	18,1	14,1	9,7	5,3	2,1	9,6
RLF	84	81	76	69	66	68	68	70	77	81	85	87	76
SSD	45	68	107	168	215	201	215	204	146	105	49	35	1557
P	63	48	57	43	54	61	67	66	58	56	57	65	694

T - Temperatur [$^{\circ}\text{C}$] RLF - Relative Luftfeuchte [%] SSD - Sonnenscheindauer [h] P - Niederschlag [mm]

Werte der extraterrestrischen Strahlung können entweder Tabellen (s. Tabelle 6) entnommen oder aber in Abhängigkeit vom Kalendertag numerisch berechnet werden (DvWK, 1996, s. Gleichung 11):

$$R_o = 245 [9,9 + 7,08 \sin \varphi + 0,18 (\varphi - 51) (\sin \zeta - 1)] \quad (11)$$

wobei:

$$\zeta = (0,0172 * TG - 1,39) * 180 / \pi \quad (12)$$

mit: R_o - extraterrestrische Strahlung [J/cm^2]
 φ - geographische Breite [$^{\circ}$ n. Br.]
 TG - fortlaufender Tag des Jahres (1. Jan. = 1, 31. Dez. = 365)

Tabelle 6: Extraterrestrische Strahlung [$\text{J}/(\text{cm}^2 * \text{d})$] in Abhängigkeit von der geographischen Breite (Nordhalbkugel), bezogen auf die Monatsmitte aus DvWK (1996)

Nördl. Breite	Jan	Feb	März	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
46°	1165	1711	2495	3303	3905	4170	4036	3535	2799	1989	1322	1014
47°	1104	1652	2444	3270	3891	4169	4028	3510	2756	1932	1261	954
48°	1043	1592	2394	3236	3876	4163	4019	3485	2712	1876	1201	893
49°	982	1932	2343	3203	3862	4159	4011	3460	2669	1819	1140	833
50°	921	1472	2292	3170	3848	4156	4003	3435	2625	1763	1079	773
51°	862	1411	2238	3133	3831	4150	3992	3406	2577	1704	1019	716
52°	803	1350	2184	3096	3813	4145	3981	3377	2530	1646	960	659
53°	745	1290	2130	3058	3796	4139	3970	3349	2482	1587	900	602
54°	686	1229	2076	3021	3778	4134	3959	3320	2435	1529	841	545
55°	627	1168	2022	2984	3761	4128	3948	3291	2387	1470	781	488

Bei den Windgeschwindigkeitswerten ist zu beachten, dass der DWD diese in 10 m Höhe misst. Das HELP-Modell benötigt jedoch die Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe.

Nach DVWK (1996) ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von 0,724. Für die Station Celle ergibt sich eine mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Messhöhe von 3,1 m/s. Bezogen auf 2 m Höhe verringert sich dieser Wert folglich auf 2,2 m/s.

Im Zusammenhang mit den meteorologischen Daten war ein weiteres Problem zu lösen: die Berücksichtigung des Expositions- und Hangneigungseinflusses zur Quantifizierung des Einflusses auf die potenzielle Verdunstung. Mittels des HELP-Modells sind primär keine expositions- und hangneigungsabhängigen Verdunstungswerte berechenbar, weil die verdunstungsbeeinflussende Globalstrahlung modellintern nicht hangneigungs-/expositionsabhängig umgerechnet wird.

Der Einfluss von Exposition und Hangneigung ist dennoch erfassbar. Hierzu sind die an einem ebenen Standort gemessenen Globalstrahlungswerte zu modifizieren. In MARKWARDT (1990) und BERGER (1998) werden entsprechende Ansätze bezüglich einer solchen Modifikation vorgestellt und diskutiert. Die Untersuchungen basieren auf einer 2-jährigen meteorologischen Reihe von Berlin (MARKWARDT, 1990) bzw. einer 7-jährigen meteorologischen Reihe von Hamburg-Sasel (BERGER, 1998).

Beide Autoren kommen zu sehr ähnlichen Aussagen. Wegen der Längerjährigkeit der Daten wurde im Rahmen der vorliegenden wasserhaushaltlichen Untersuchungen auf die Ergebnisse von BERGER (1998) zurückgegriffen. Nach BERGER (1998) sind die für Hamburg-Sasel gewonnenen Korrekturfaktoren in guter Näherung bundesweit auf andere Standorte übertragbar.

Die Anlage 10 enthält eine Übersicht zu den expositions- und hangneigungsabhängigen Korrekturen der mittleren monatlichen Tagessummen der Globalstrahlung im Vergleich zur Ebene.

Auf Grundlage der 30-jährigen Reihe mit den Tageswerten sind auch die für die HELP-Modellierung notwendigen Quartals- bzw. Jahreswerte berechnet worden (s. auch Tabelle 5):

- Jahresmittel der Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe: $2,2 \text{ m/s} = 7,9 \text{ km/h}$
- Quartalsmittel der relativen Luftfeuchte:
 1. Quartal: 80,3 %
 2. Quartal: 67,8 %
 3. Quartal: 71,8 %
 4. Quartal: 84,4 %

Das Ziel der wasserhaushaltlichen Untersuchungen besteht nicht nur darin, quantitative Aussagen zu den langjährigen Mittelwerten der Wasserhaushaltsgrößen abzuleiten. Ferner geht es auch darum, Aussagen zur Schwankungsbreite in Nass- und Trockenjahren zu treffen.

In Bezug auf die Modellierung des Wasserhaushaltes für Nass- und Trockenjahre ist zu beachten, dass Nassjahr nicht gleich Nassjahr ist und Trockenjahr nicht gleich Trockenjahr. Es ist vielmehr entscheidend, für welches Wiederkehrintervall die Untersuchungen durchgeführt werden, d. h. ob für ein normales (d. h. statistisch relativ häufig auftretendes) Trocken- bzw. Nassjahr oder für ein extremes (sehr selten auftretendes) Trocken- bzw. Nassjahr. Für das zu betrachtende Untersuchungsobjekt wurden jeweils

2 Wiederkehrsintervalle T gewählt:

- T = 5 a (normales Nass- bzw. Trockenjahr) und
- T = 50 a (extremes Nass- bzw. Trockenjahr).

Zur Ermittlung der Niederschlagsmengen in Abhängigkeit vom Wiederkehrsintervall sind statistische Untersuchungen notwendig, wofür eine langjährige Niederschlagsreihe (mehrere Jahrzehnte) benötigt wird, um ein statistisch abgesichertes Ergebnis zu erhalten. Die 30-jährige Niederschlagsdatenreihe (1981 – 2010) kann hierfür (für Wiederkehrsintervalle bis ca. 50 Jahre) als ausreichend angesehen werden. Die Anlage 11 enthält die Details zur Ermittlung repräsentativer Nass- und Trockenjahre.

3.4.2. Starkregenmengen

Für die Untersuchungen zum Starkregenfall (Oberflächenabflussbildung, Drainspenden) wurden Regenmengen entsprechend Regendauern und Wiederkehrsintervallen auf Grundlage des KOSTRA-Starkregenatlas des Deutschen Wetterdienstes (BARTELS U. A., 2005) ermittelt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind für den Untersuchungsstandort in der Anlage 12 dokumentiert. Das den Untersuchungen zugrunde liegende Wiederkehrsintervall liegt bei 5 Jahren.

Die KOSTRA-Regenmengen wurden entsprechend der in BARTELS U. A. (2005) gegebenen Empfehlung um 10 % erhöht, um eine zusätzliche Sicherheit resultierend aus der Unsicherheit der Starkregenwerte einzurechnen.

4. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation

4.1. Langjähriges wasserhaushaltliches Verhalten

Unter Zugrundelegung der Hydrotopeninteilung (Abschnitt 3.1), des Schichtenaufbaus (Abschnitt 3.2) sowie der Modellparameter unter Berücksichtigung morphologischer, pedologischer und Bewuchsgegebenheiten (Abschnitt 3.3) ergeben sich für die drei betrachteten Zeitschnitte die in der Tabelle 6 aufgeführten Simulationsergebnisse, bezogen auf die gesamte Halde. In den Anlagen 13 – 16 sind darüber hinaus die Ergebnisse für die einzelnen Hydrotopen enthalten.

Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die abgedeckten Bereiche der Halde. Für die Zeitschnitte 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung) und 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung) ist dies die gesamte Halde, für den Fall des Zeitschnitts 1 (Beginn der Abdeckung) jedoch nur der östliche Haldenbereich nahe des Rückhaltebeckens (vgl. Anlage 5).

Die in der Tabelle 7 aufgeführten Werte für die Halde insgesamt ergeben sich auf Grundlage der flächengewichteten Werte der Einzelhydrotopen. Die hierfür notwendigen Flächengrößen wurden durch Planimetrie ermittelt und auf die durch das Büro Steinbacher Consult GmbH erarbeitete Gesamthaldenfläche abgeglichen.

Tabelle 7: Langjährig mittlere Jahresbilanzen für die betrachteten Zeitschnitte

Zeitschnitt	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
1	694,1	349,4	135,5	193,2	14,8	+0,0
2	694,1	430,8	55,5	192,3	15,4	+0,0
3	694,1	543,8	5,9	129,4	15,0	+0,0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Die Bilanzen zeigen für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung, Bilanzen betreffen nur den östlichen Haldenbereich nahe des Rückhaltebeckens) folgendes Bild:

- Die sich gerade erst entwickelnde Gras-/Krautvegetation ist in der Lage, von den Niederschlägen, die im langjährigen Jahresmittel knapp 700 mm/a betragen, etwa 350 mm/a (d. h. nur etwa die Hälfte) zu verdunsten. In Nassjahren liegen die Verdunstungsmengen wegen des erhöhten Niederschlagsdargebots über diesem Wert, in Trockenjahren wegen des Wassermangels darunter.
- Infolge des noch spärlichen Bewuchses kommt es zu einer beachtlichen Bildung von Oberflächenabflüssen. Diese liegen in einer Größenordnung von etwa 130 – 140 mm/a und spielen damit eine nicht unwesentliche Rolle.
- An der Basis der Kulturschicht/Deckschicht kommen ca. 200 – 210 mm/a Sickerwasser an. Dies sind in etwa 30 % von Niederschlag. Hiervon fließen in den Drainschichten etwa 190 mm/a hypodermisch ab, ca. 15 mm/a durchsickern die Tondichtung als Restdurchsickerung (ca. 2 % vom Niederschlag).

Für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung) sind gegenüber dem Zeitschnitt 1 folgende Veränderungen erkennbar:

- Der sich zunehmend entwickelnde Bewuchs bewirkt einen Anstieg der langjährig mittleren realen Verdunstung um etwa 80 mm/a, d. h. um ca. 20 – 25 %.
- Im Gegenzug sinken infolge des höheren Bedeckungsgrades die Oberflächenabflüsse in etwa um den gleichen Betrag.
- Die Sickerwassermengen (Summe aus Drainwassermengen RH und Restdurchsickerungsmengen RU) verringert sich folglich kaum. Die Restdurchsickerung beträgt gegenüber dem Zeitschnitt 1 unverändert etwa 15 mm/a.

Für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung) gestaltet sich die langjährige wasserhaushaltliche Situation wie folgt:

- Infolge des voll entwickelten Bewuchses steigt die langjährig mittlere reale Verdunstung gegenüber dem Bewuchszustand 2 noch einmal um über 100 mm/a an. Die Verdunstung erreicht damit einen Wert von ca. 80 % des Niederschlages.
- Die modellierten Oberflächenabflüsse liegen unter 10 mm/a und spielen damit im langjährigen Mittel kaum eine Rolle (dies sieht im Starkregenfall anders aus, vgl. Abschnitt 4.3).
- Die Sickerwassermengen (Summe aus Drainwassermengen und Restdurchsickerungsmengen) gehen auf knapp 150 mm/a zurück. Die Restdurchsickerung selbst liegt analog der Zeitschnitte 1 und 2 bei etwa 15 mm/a (2 % vom Niederschlag).

Für die 4 betrachteten Schichtkonfigurationen ergeben sich im langjährigen Mittel die folgenden Restdurchsickerungsmengen (Sickerwasser an der Basis der Abdeckung):

- Schichtkonfiguration A (Haldentop sowie Bermenaufweitung mit Tondichtung): ca. 15 – 16 mm/a $\approx 2\,600\text{ m}^3/\text{a}$
- Schichtkonfiguration B (Haldenböschungen ohne Tondichtung): etwa 13 mm/a, d. h. $\approx 1\,400\text{ m}^3/\text{a}$
- Schichtkonfiguration C und D (Haldenböschungen mit Horizontaldrainage, Basisdrainage und Basisabdichtung bzw. Haldenböschungen mit Basisdrainage und Basisabdichtung): ca. 16 mm/a $\approx 2\,400\text{ m}^3/\text{a}$

Bezüglich der weiteren Wasserhaushaltsgrößen sei auf die Anlage 16 verwiesen.

Zu den Modellergebnissen muss vermerkt werden, dass diese plausibel erscheinen. Die geringsten Sickerwassermengen (RH + RU) werden für den Zeitschnitt 3 (Endzustand) berechnet, die höchsten für die Zeitscheiben 1 (Beginn der Abdeckung – die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die bereits abgedeckten Bereiche im Osten der Halde, vgl. Anlage 5) und 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung).

Die Unterschiede hinsichtlich der Restdurchsickerungsmengen RU im Vergleich der drei Zeitscheiben fallen alles in allem moderat aus. Hierfür zeichnen zwei Hauptursachen verantwortlich:

- die starke Vergleichmäßigung der Sickerwassermengen, hervorgerufen durch die mächtigen Abdeckschichten und das damit verbundene hohe Rückhaltevermögen dieser Schichten sowie
- die Wirksamkeit der Tondichtung an der Basis der Abdeckung (betrifft Schichtkonfigurationen A, C und D) bzw. die Dichtheit der Schrägdichtung auf der Salzoberfläche (betrifft Schichtkonfiguration B).

Die Vergleichmäßigung der Restdurchsickerungsmengen ist in der Abbildung 15 beispielhaft für die 3 Schichtkonfigurationen mit einer Tondichtung dargestellt. Die Abbildung 15 verdeutlicht, dass der Versickerungsprozess (Sickerwasserzutritte zu den Drainagen bzw. zu den Tondichtungen) infolge der Vergleichmäßigung praktisch an jedem Tag des Jahres wirkt und folglich jeden Tag eine sehr kleine Menge an Wasser zur Tondichtung gelangt, die dann durch die Tondichtung hindurch strömt.

Bei Ansatz des DARCY-Gesetzes (DARCY, 1865) für ein hydraulisches Gefälle von 1 (vertikale Versickerung ohne zusätzlichen Wasseraufstau auf der Tondichtung) können durch eine Tondichtung mit einem k_f -Wert von $5 \cdot 10^{-10}\text{ m/s}$ pro Tag 0,043 mm an Sickerwasser hindurch treten. Im Jahr sind dies knapp 16 mm.

Im konkreten Oberflächenabdecksystem ist das hydraulische Gefälle jedoch an den meisten Tagen etwas größer als 1 (vgl. für ausgewählte Hydrotöpfe → Abbildung 16). In der oberhalb der Tondichtung (Schichtkonfigurationen A, C und D) liegenden Entwässerungsschicht kommt es folglich zu einem wenngleich eher geringem Wasseraufstau (→ s. auch Tabelle 13 im Abschnitt 4.5). Zu beachten ist dabei zum einen, dass HELP den Wasseraufstau nicht nach GDA-Empfehlung E-20, 2015 berechnet und zum anderen, dass sich die Werte in der Tabelle 13 auf ein Wiederkehrintervall von $T = 5\text{ a}$ beziehen. Die Werte sind folglich nur halbquantitativ vergleichbar). Es ist

folglich nicht verwunderlich, dass die Restdurchsickerungsmengen, die bezogen auf die Gesamtflächen mit einer Tondichtung im langjährigen Mittel bei etwa 15 mm/a liegen, zustande kommen. Eine Tondichtung mit $5 \cdot 10^{-10}$ m/s ist eben nicht dicht im Sinne von 0 mm/a.

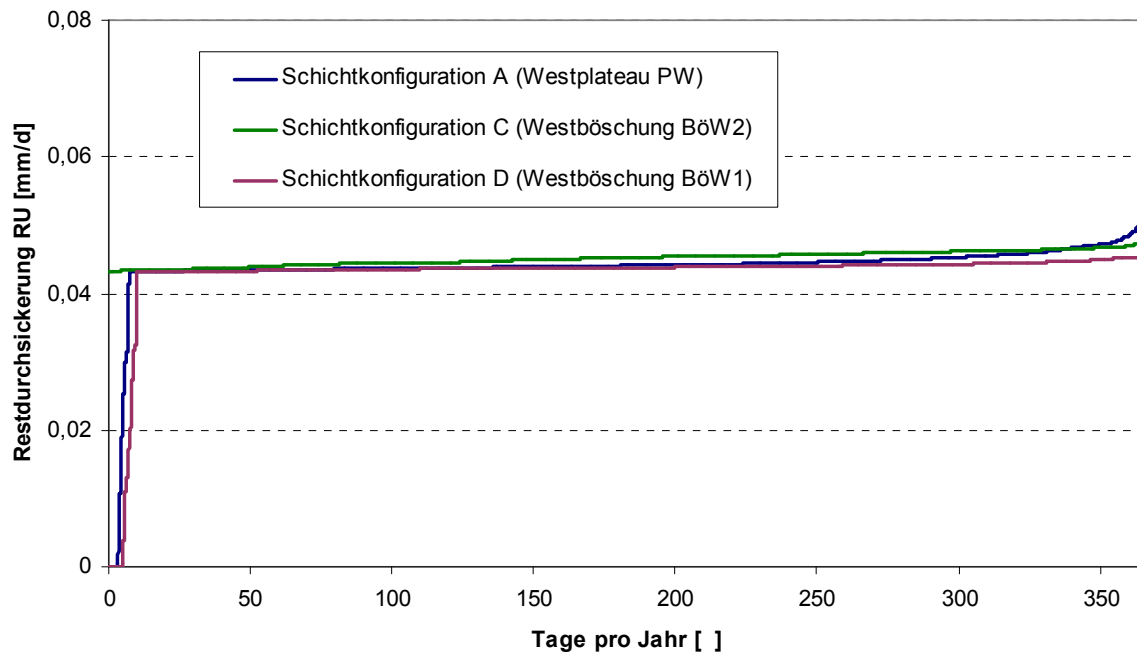


Abb. 15: Verteilung der täglichen Restdurchsickerungsmengen für die drei Schichtkonfigurationen mit einer Tondichtung (Zeitschnitt 3)

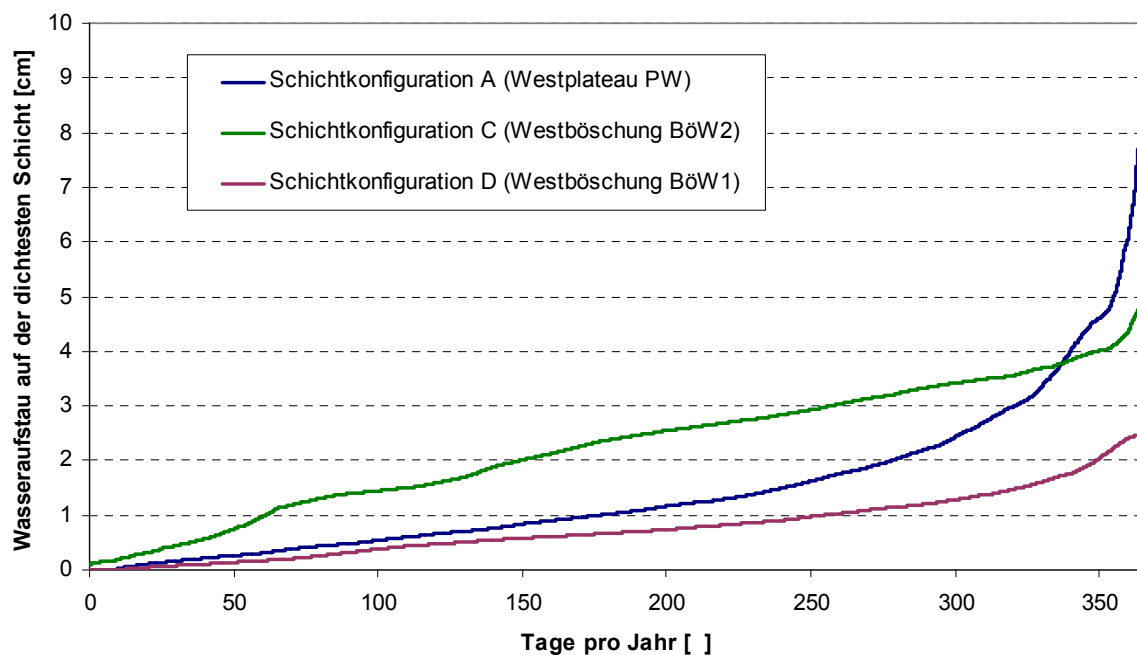


Abb. 16: Verteilung der täglichen Aufstauhöhen auf der Tondichtung (Schichtkonfigurationen A, C und D), Zeitschnitt 3

4.2. Austrocknungsverhalten der Kulturschicht/Deckschicht

Die Tabelle 8 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. akutes Stresspotenzial für die Pflanzen) und bezüglich beginnendem Trockenstress (Wassergehalte unter 30 % nFK), die sich für die 3 m mächtige Kulturschicht/Deckschicht für die drei betrachteten Zeitschnitte ergeben.

Die Austrocknungshäufigkeiten werden für das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober) analysiert. Die Details enthalten die Anlagen 17 und 18.

Tabelle 8: Minimale Wassergehalte sowie Häufigkeiten des Unterschreitens von Bodenfeuchtwerten unter 10 % nFK (akutes Stresspotenzial) und unter 30 % nFK (Stressbeginn) für die Kulturschicht/Deckschicht insgesamt sowie für die Wurzelzone für ausgewählte Hydrotome der drei Zeitschnitte

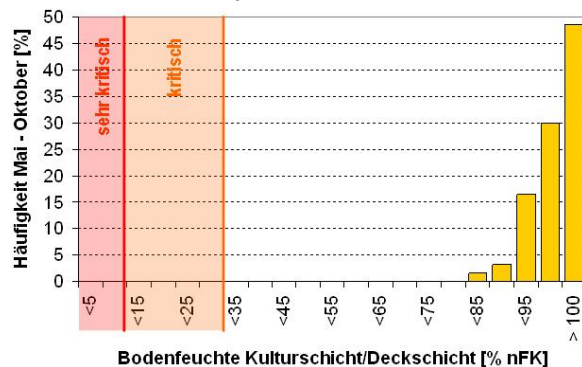
Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung				
Hydro-top	Bewuchszustand	Minimale Bodenfeuchte [% nFK]	Austrocknungshäufigkeit [%] (Mai bis Oktober)	
			< 10 % nFK	< 30 % nFK
BöE3	2: Grasbewuchs, spärlich	79,9	0,0	0,0

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung				
Hydro-top	Bewuchszustand	Minimale Bodenfeuchte [% nFK]	Austrocknungshäufigkeit [%] (Mai bis Oktober)	
			< 10 % nFK	< 30 % nFK
BöW5	2: Grasbewuchs, spärlich	79,8	0,0	0,0
BöW6	2: Grasbewuchs, spärlich	79,7	0,0	0,0
BöN5	3: Grasbewuchs, normal	50,4	0,0	0,0
BöN6	3: Grasbewuchs, normal	50,4	0,0	0,0
BöE5	4: Büsche, Bäume, Gras, üppig	33,5	0,0	0,0
BöE6	4: Büsche, Bäume, Gras, üppig	33,5	0,0	0,0

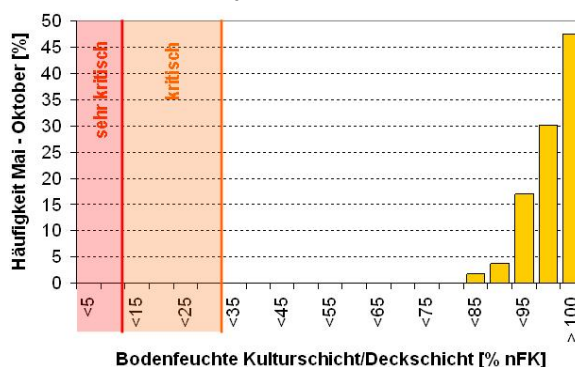
Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung				
Hydro-top	Bewuchszustand	Minimale Bodenfeuchte [% nFK]	Austrocknungshäufigkeit [%] (Mai bis Oktober)	
			< 10 % nFK	< 30 % nFK
BöN5	4: Büsche, Bäume, Gras, üppig	35,3	0,0	0,0
BöN6	4: Büsche, Bäume, Gras, üppig	34,5	0,0	0,0
BöS5	4: Büsche, Bäume, Gras, üppig	33,5	0,0	0,0
BöS6	4: Büsche, Bäume, Gras, üppig	33,5	0,0	0,0

In der Abbildung 17 sind die Bodenfeuchteverteilungen für ausgewählte Hydrotöpfe der drei Zeitschnitte gegenüber gestellt. Die Auswahl der Hydrotöpfe erfolgte nach drei Kriterien: Exposition, Hangneigung (Nummer der Hydrotopkennung: höchste Hangneigung = Nr. 5, geringste Hangneigung = Nr. 6, vgl. auch Anlage 3) und Bewuchs.

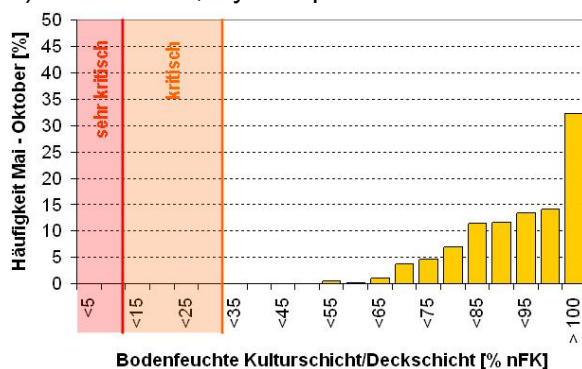
a) Zeitschnitt 1, Hydrotop BöE3:



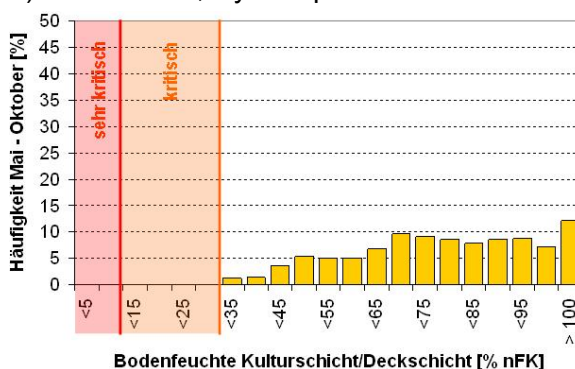
b) Zeitschnitt 2, Hydrotop BöW5:



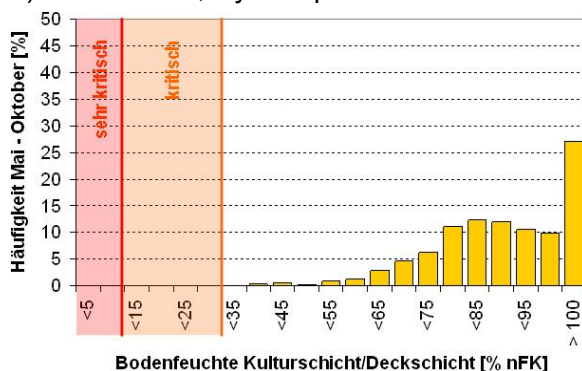
c) Zeitschnitt 2, Hydrotop BöN5:



d) Zeitschnitt 2, Hydrotop BöE5:



e) Zeitschnitt 3, Hydrotop BöN5:



f) Zeitschnitt 3, Hydrotop BöS5:

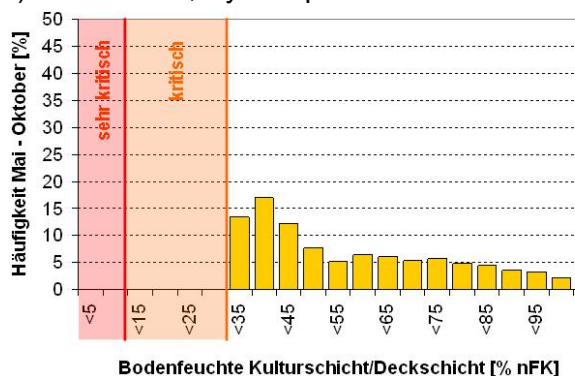


Abb. 17: Verteilung der Bodenfeuchtwerte in der Kulturschicht/Deckschicht für die drei Zeitschnitte

Wie der Tabelle 8 und der Abbildung 17 entnehmbar ist, steht dem Bewuchs durch die Kulturschicht/Deckschicht auch in Trockenjahren immer ausreichend Bodenwasser zur Verfügung. Trockenstress ist praktisch selbst für die südlich exponierten Böschungsbereiche und selbst für den Fall eines voll ausgebildeten primärer Busch- bzw. Baumbewuchs mit sekundärem (untergelagertem) Gras-Krautbewuchs (üppige Bewuchsentwicklung im Bewuchsendstadium) weitgehend auszuschließen.

4.3. Oberirdische Abflussmengen im Starkregenfall

4.3.1. Vorbetrachtungen

Die Oberflächenabflussbestimmung erfolgte wie in Abschnitt 2.2 methodisch beschrieben. Die Parametrisierung erfolgte entsprechend Abschnitt 3.3.2. Betrachtet wurden analog des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens (s. Abschnitt 4.1) und des Austrocknungsverhaltens (s. Abschnitt 4.2) die drei Zeitschnitte:

- Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung,
- Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung und
- Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung.

4.3.2. Ergebnis für den Zeitschnitt 1

Zunächst war die mittlere maßgebende Bemessungsregendauer für die Oberflächenabflussbildung zu ermitteln (Regendauer, für die der Durchflussscheitel maximal wird, mittels Modell ROHALDEP berechenbar). Für ein Wiederkehrintervall von 5 Jahren variieren die maßgebenden Regendauern für die 21 Entwässerungsflächen je nach Flächeneigenschaften zwischen 20 und 63 Minuten. Aus der flächengewichteten Mittlung aller Regendauern kann für die gesamte Halde eine mittlere maßgebende Regendauer von 45 Minuten abgeleitet werden. Ein Regen mit einer Regendauer von 45 Minuten führt insgesamt gesehen (bezogen auf die gesamte Halde) zu einem maximalen Durchflussscheitelwert (Details → s. Anlage 19).

Die Ergebnisse der sich für diese maßgebende Regendauer ergebenden Oberflächenabflüsse und Durchflüsse enthält ebenfalls die Anlage 19. Dort sind ferner die modellierten Scheiteldurchflüsse für alle Knotenpunkte visualisiert. Die Tabelle 9 enthält eine Ergebniszusammenfassung bezüglich der modellierten Durchflüsse für die 13 Knotenpunkte (Lage → s. Anlagen 2 und 5).

Tabelle 9: Scheiteldurchflüsse für die Knotenpunkte (Wiederkehrintervall: 5 Jahre, maßgebende Regendauer: 45 Minuten, Zeitschnitt 1)

Knotenpunkt (Lage → s. Anlagen 2 und 5)	Modellierter Scheiteldurchfluss [l/s]
K02	78
K07	150
K09	239
K10	276
K12	300
K13	396
K15	436
K16	459
K19	43
K20	467
K21	480
K23	485
K25 = Zufluss RHB	566

4.3.3. Ergebnis für die Zeitschnitt 2

Für die Zeitschnitt 2 liegen die maßgebenden Regendauern für die 21 Entwässerungsflächen zwischen 19 und 65 Minuten. Das sich für die gesamte Halde ergebende flächengewichtete Mittel aller Regendauern beträgt 53 Minuten (Details → s. Anlage 20).

Die Ergebnisse der sich für die maßgebende Regendauer von 53 Minuten ergebenden Oberflächenabflüsse und Durchflüsse enthält die Anlage 20 (Visualisierung → s. ebenfalls Anlage 20). In der Tabelle 10 sind die wesentlichen Ergebnisse bezüglich der modellierten Durchflüsse für die 25 Knotenpunkte zusammengefasst.

Tabelle 10: Scheiteldurchflüsse für die Knotenpunkte (Wiederkehrintervall: 5 Jahre, maßgebende Regendauer: 53 Minuten, Zeitschnitt 2)

Knotenpunkt (Lage → s. Anlagen 2 und 5)	Modellierter Scheiteldurchfluss [l/s]
K01	64,1
K02	15,3
K03	35,5
K04	76,2
K05	98,8
K06	120,9
K07	200,0
K08	46,4
K09	218,3
K10	271,7
K11	42,8
K12	322,9
K13	340,8
K14	28,4
K15	354,1
K16	427,1
K17	45,9
K18	45,2
K19	57,9
K20	428,5
K21	442,7
K22	79,8
K23	518,9
K24	44,9
K25 = Zufluss RHB	627,9

4.3.4. Ergebnis für die Zeitschnitt 3

Analog zu den Zeitschnitten 1 und 2 enthält die Tabelle 11 die wesentlichen Ergebnisse bezüglich der modellierten Durchflüsse für die 25 Knotenpunkte für den Zeitschnitt 3. Die Details sind der Anlage 21 entnehmbar. Die maßgebenden Regendauern für die 21 Entwässerungsflächen bewegen sich analog des Zeitschnitts zwischen 19 und 65 Minuten. Das sich für die gesamte Halde ergebende flächengewichtete Mittel aller Regendauern beträgt 51 Minuten.

Tabelle 11: Scheiteldurchflüsse für die Knotenpunkte (Wiederkehrintervall: 5 Jahre, maßgebende Regendauer: 51 Minuten, Zeitschnitt 3)

Knotenpunkt (Lage → s. Anlagen 2 und 5)	Modellierter Scheiteldurchfluss [l/s]
K01	19,8
K02	12,7
K03	6,0
K04	11,7
K05	26,8
K06	32,8
K07	51,9
K08	9,9
K09	64,0
K10	80,0
K11	8,5
K12	95,4
K13	107,9
K14	5,7
K15	116,3
K16	132,8
K17	9,1
K18	6,5
K19	15,0
K20	134,2
K21	144,2
K22	10,7
K23	162,8
K24	6,4
K25 = Zufluss RHB	184,2

4.4. Ergebnisse bezüglich der Speichervolumina der Rückhalteräume

Analog der Untersuchungen zu den oberirdischen Abflussmengen im Starkregenfall (vgl. Abschnitt 4.3) liegt den Speicherbemessungen ein 5-jähriges Starkregenereignis zugrunde.

Für eine Regelabgabe von $200 \text{ m}^3/\text{h} = 55,6 \text{ l/s}$ ist zu prüfen, wie hoch die Speichervolumina für die drei Zeitschnitte sein müssen, um die aus dem oberirdischen Abfluss resultierenden Zuflussmengen zwischenspeichern. Im Unterschied zu den Entwässerungseinrichtungen, die ausschließlich auf Grundlage der Scheiteldurchflusswerte bemessen werden, ist für eine Speicherbemessung vor allem das zufließende Wasservolumen maßgebend. Dieses Wasservolumen wird durch die Regendauer maßgebend beeinflusst. Die Speicherbemessung muss folglich für verschiedene Regendauern erfolgen.

In den Anlagen 22 bis 24 sind die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Speichervolumina für die drei Zeitschnitte im Detail aufgeführt. Hierbei berücksichtigt sind die Wassermengen, die aus den direkt auf die Speicherräume fallenden Niederschlägen resultieren. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Minimal notwendigen Speichervolumina für die drei Zeitschnitte

Zeitschnitt	Maßgebende Regendauer bezüglich des Speichervolumens	Minimal notwendiges Speichervolumen [m^3]
1	12 h	6 898
2	6 h	4 063
3	2 h	1 120

Den Anlagen 22 bis 24 sowie der Tabelle 12 ist entnehmbar, dass für die Bemessung der Speichervolumina der Rückhalteräume eine deutlich höhere Regendauer maßgebend ist als bezüglich der Durchflussscheitel. Hierfür verantwortlich ist der Fakt, dass die Speichervolumina in erster Linie vom Wechselspiel der zufließenden Wassermengen und der Regelabgabe von $55,6 \text{ l/s}$ abhängig sind.

Die Rückhalteräume sind zu folgenden Zeitpunkten nach Regenende wieder leer gepumpt und stehen für das nächste Starkregenereignis zur Verfügung:

- Zeitschnitt 1: nach 39 Stunden,
- Zeitschnitt 2: nach 31 Stunden,
- Zeitschnitt 3: nach 10 Stunden.

4.5. Drainwasserabführbarkeit im Starkregenfall

Die Drainwasserabführbarkeit im Starkregenfall wird nach der im Abschnitt 2.4 dargelegten Methodik geprüft. Dabei erfolgt die Prüfung für die fünf Drainagen (Drainagegeschichte Haldentop, Horizontaldrainagen, Drainagen im Bereich der Bermenaufweitung, Schrägdrainagen und Sohl drainagen) jeweils für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung).

Analog der Untersuchungen zu den oberirdischen Abflussmengen im Starkregenfall (vgl. Abschnitte 4.3 und 4.4) wird ein Wiederkehrintervall von $T = 5$ Jahren angesetzt.

Grundlage der Prüfung der Drainwasserabführbarkeit im Starkregenfall stellen die Häufigkeitsverteilungen der mittels HELP-Modell ermittelten Sickerwasserzuflüsse (Drainspenden) dar, die den Drainsystemen von oben zusitzen. Diese sind der Anlage 25 zu entnehmen).

Basierend auf den ermittelten Drainspenden erfolgte die Berechnung der maximalen Aufstauhöhen in den Drainagen entsprechend dem Ansatz nach SCHMID (1993) für ausschließlich talseitige Entwässerung (Methodik → s. Abschnitt 2.4). In der Anlage 25 sind die Details zur Drainbemessung aufgeführt. Die Tabelle 13 vermittelt eine zusammenfassende Übersicht über die Simulationsergebnisse bezüglich der hydraulischen Wirksamkeiten der Drainelemente. Im Fall der Drainagen im Bereich der Bermenaufweitung und der Sohldrainagen sind seitliche Zuflüsse von oberhalb liegenden Drainagen berücksichtigt worden.

Tabelle 13: Drainkapazitäten für die fünf untersuchten Drainagetypen (Details → s. Anlage 25)

Drainelement	Maximale Aufstauhöhen im Drainelement [cm]	Vorhandene Mächtigkeit des Drainelements [cm]	Bemerkungen
Drainageschichten Haldentop	4 ... 32	40	Drainage ausreichend bemessen, Drainkapazitäten trotz geringen Gefälles und großer Entwässerungsstrecken gegeben
Horizontaldrainagen	3 ... 13	40	Drainage ausreichend bemessen, reichlich Reserven bezüglich der Drainkapazitäten vorhanden
Drainagen Bermenaufweitung	12	40	Drainage ausreichend bemessen, reichlich Reserven bezüglich der Drainkapazitäten vorhanden
Schrägdrainagen	0 ... 1	200	Drainage ausreichend bemessen, reichlich Reserven bezüglich der Drainkapazitäten vorhanden
Sohldrainagen	1 ... 7	100	Drainage ausreichend bemessen, reichlich Reserven bezüglich der Drainkapazitäten vorhanden

Die in der Tabelle 13 aufgelisteten Werte machen deutlich, dass es für das untersuchte Wiederkehrintervall keine Probleme bezüglich der Drainwasserabführung gibt. Dies ist neben den guten hydraulischen Eigenschaften der geplanten Drainmaterialien auch den geringen Drainwasserspenden zu verdanken.

Generell liegen die Drainspenden (Sickerwasserzutritte von oben, Werte → s. Anlage 25) auf einem niedrigen Niveau. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die Sickerwassermengen durch die guten Wasserspeichereigenschaften der Kulturschicht/Deckschicht und des Schüttkörpers und durch deren große Mächtigkeiten stark gedämpft werden.

5. Zusammenfassung

Seit 2014 laufen für die Kalisalzhalden Niedersachsen bei Wathlingen die Vorbereitungen zur Rekultivierung, die 2018 beginnen soll. Im Zuge der hierfür notwendigen Planungsvorleistungen sind u. a. wasserhaushaltliche Untersuchungen notwendig, wobei die folgenden Dinge von besonderem Interesse sind:

- die Restdurchsickerungsmengen an der Basis der Oberflächensicherung,
- die Höhe der realen Verdunstung → betrifft das langjährige Mittel sowie Schwankungen in Nass- und besonders in Trockenjahren,
- damit im Zusammenhang stehend der Grad der Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht in Trockenjahren und die damit verbundene Häufigkeit von Austrocknungsbeträgen, die als trockenstressrelevant für den Bewuchs angesehen werden können (wichtig bezüglich der Einschätzung bezüglich der Chancen für eine gute Bewuchsentwicklung) sowie
- das Verhalten im Starkregenfall → betrifft die Menge an Oberflächenabfluss und damit im Zusammenhang stehend die Bemessung der oberirdischen Entwässerungseinrichtungen sowie die Sickerwasserzutritte zu den Drainelementen und folglich die Bemessung der unterirdischen Entwässerungseinrichtungen.

Zur Quantifizierung der Wasserhaushaltsgrößen wird das Halden- und Deponiewasserhaushaltsmodelle HELP verwendet, das weltweit anerkannt und angewendet wird und dessen deutsche Version einen hohen Validierungsgrad aufweist.

Die Modellparametrisierung erfolgte auf Basis vorhandener Unterlagen. Im Hinblick auf die Verbesserung der Datenlagen flossen die Ergebnisse von in-situ- und Laboruntersuchungen zu den Wassertransport- und -speichereigenschaften in die Parametrisierung der Kulturschicht/Deckschicht ein. Ferner wurden Laborergebnisse bezüglich der Wasserdurchlässigkeit der Schrägdichtung zur Modellparametrisierung genutzt.

Bezüglich der meteorologischen Eingangsdaten wurden tägliche Werte der ca. 8 km entfernten DWD-Station Celle verwendet. Die Datenreihe umfasst den seitens des DWD favorisierten 30-jährigen Referenzzeitraum 1981 – 2010.

Wasserhaushaltlich wurden drei Zeitschnitte betrachtet:

- Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung (Bilanzen betreffen nur den östlichen Haldenbereich nahe des Rückhaltebeckens),
- Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung und
- Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung.

Die zeitliche Entwicklung des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens der für die Halden Niedersachsen geplanten Oberflächensicherung (von Zeitschnitt 1 zu Zeitschnitt 3) kann wie folgt charakterisiert werden:

- Bei einem mittleren Jahresniederschlag von knapp 700 mm/a steigen die langjährig mittleren Verdunstungswerte von etwa 350 mm/a für den Zeitschnitt 1 infolge des zunehmend wirksamen Bewuchses auf knapp 550 mm/a (Zeitschnitt 3) an. In Nassjahren liegen die Werte wegen des erhöhten Niederschlagsdargebots über diesen Werten, in Trockenjahren wegen des Wassermangels darunter.
- Im Gegenzug sinken die Oberflächenabflüsse von etwa 130 – 140 mm/a (Zeitschnitt 1) auf etwa 5 – 10 mm/a (Zeitschnitt 3) ab.
- Die der Basis der Oberflächensicherung ankommenden Restdurchsickerungsmengen liegen infolge der dichtenden Wirkung der Tondichtung (Schichtkonfigurationen A, C und D) bzw. der Schrägdichtung (Schichtkonfiguration B) für alle drei Zeitschnitte bei etwa 15 mm/a. Unterschiedliche Witterungssituationen (Nass- und Trockenjahre bewirken wegen des hohen Speichervermögens der Haldenabdeckung kaum Variationen bezüglich der Restdurchsickerungsmengen.

Die Untersuchungen zum Austrocknungsverhalten der Kulturschicht-Deckschicht ergeben, dass dem Bewuchs auch in Trockenjahren immer ausreichend Bodenwasser zur Verfügung steht. Trockenstress ist praktisch selbst für die südlich exponierten Böschungsbereiche und selbst für den Fall eines voll ausgebildeten primärer Busch- bzw. Baumbewuchs mit sekundärem (untergelagertem) Gras-Krautbewuchs (üppige Bewuchsentwicklung im Bewuchsendstadium) zumindest für die gegenwärtige klimatische Situation weitgehend auszuschließen.

Die Untersuchungen zum Starkregenfall (Wiederkehrsintervall: 5 Jahre) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Am tiefsten Punkt der oberirdischen Entwässerungseinrichtungen (Zufluss zum Rückhaltebecken) wird für den Fall der Zeitscheibe 1 ein Durchflussscheitelwert von etwa 550 – 600 l/s berechnet. Dieser Wert bezieht sich allerdings ausschließlich auf die zu diesem Zeitpunkt bereits abgedeckten Haldenbereiche. Für den Zeitschnitt 2 sind es ca. 600 – 650 l/s (hier bereits bezogen auf die gesamte Halde, weil diese in der Zeitscheibe 2 bereits vollständig abgedeckt ist). Für die Zeitscheibe 3 ist wegen des dann vollständig ausgeprägten Bewuchses ein Rückgang des Durchflussscheitels auf etwa 150 – 200 l/s ermittelt worden.
- Als minimal notwendige Speichervolumina für das Rückhaltebecken ergeben sich für die drei Zeitschnitte:
 - Zeitschnitt 1: ca. 6 900 m³,
 - Zeitschnitt 2: ca. 4 100 m³ bzw.
 - Zeitschnitt 3: ca. 1 100 m³.
- Für das untersuchte Wiederkehrsintervall von 5 Jahren gibt es keine Probleme bezüglich der Drainwasserabführung in den Drainagen der Oberflächensicherung. Dies ist neben den guten hydraulischen Eigenschaften der geplanten Drainmaterialien auch den geringen Drainwasserspenden zu verdanken.

6. Literaturverzeichnis

ARGE (2013): Neuhalde Siegfried-Giesen: Erstellung einer Haldenwasserbilanz für die Oberflächensicherung – Untersuchungen zum Einfluss erhöhter Ausschöpftiefen auf den Wasserhaushalt, Bericht vom 03.06.2013 für K+S KALI GmbH Kassel.

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.

Berger, K. (1998): Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Berechnung des Wasserhaushaltes von Deponien für deutsche Verhältnisse. Schlussbericht. Umweltbundesamt, Fachgebiet III 3.6 (Projekträger Abfallwirtschaft und Altlastensanierung des BMBF Berlin).

Berger, K. (2001): Dimensionierung und Optimierung von Rekultivierungsschichten mit dem HELP-Modell zur Minimierung des Sickerwasseranfalls. Beitrag zu den Bayerischen Abfall- und Deponietagen 2001 am 16./17. Mai 2001 im Bayerischen Landesamt für Umweltschutz, Augsburg.

Berger, K. (2004): Anwendungsmöglichkeiten des Wasserhaushaltsmodells HELP. EVI e.V.: Zeitgemäße Deponietechnik 2004, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 81, März 2004.

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.

Braunisch, F. (2008): Untersuchungen zum Aufbau einer funktional optimierten Rekultivierungsschicht auf einer hochbasischen Aschedeponie. Ökologie und Umweltsicherung, Heft 30/2008, Universität Kassel.

Darcy, H. (1856): Les fontains publiques de la ville de Dijon. Dalmont, Paris.

DBI (2016): Halde in Friedrichshall / Sehnde der K+S AG: Stellungnahme der DBI-EWI GmbH bzgl. bodenkundlicher Parameter des Rekultivierungsbodens. Bericht der DBI – EWI GmbH – Ingenieurgesellschaft für Wasser, Umwelt und Spezialbau Freiberg.

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

DIN 18196 (2011): Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke. Beuth-Verlag, Ausgabedatum 2011-05.

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): 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. (2016): Wasserhaushaltliche Untersuchungen im Zuge der Planung der Abdeckung und Rekultivierung der Halde Niedersachsen bei Wathlingen, Teilleistung: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit für ausgewählte Versuchs-/Beprobungspunkte der Kulturschicht/ Deckschicht der Halde Friedrichshall. Bericht vom 21.06.2016 für K+S Entsorgung GmbH Kassel.

DVWK - Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (1984): DVWK-Regel 113, Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlags-Abfluss-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II: Synthese; Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

DVWK - Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft. DVWK-Geschäftsstelle, Bonn.

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

GDA E2-31 (2000): Rekultivierungsschichten (Entwurf). DGGT Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, AK 6.1: Geotechnik der Deponiebauwerke, UG 7: Oberflächenabdichtungssysteme. Bautechnik, Heft 77, Verlag Ernst & Sohn Berlin.

GDA E2-20 (2015): Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen. Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), online abrufbar über <http://www.gdaonline.de>.

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

Heilbrock, G. (2000): Anwendung von Wasserhaushaltsmodellen bei dem Entwurf mineralischer Oberflächenabdichtungssysteme. In: Ramke, H.-G., K. Berger, K.; und K. Stief (Hrsg.) (2000): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien und Altlasten – Anwendung des HELP-Modells und Gestaltung der Rekultivierungsschicht. Fachtagung, Hamburg, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 47, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg.

K+S (2014 a): Projekt – Kurzbeschreibung: Abdeckung und Rekultivierung der Halde Niedersachsen (Wathlingen). K+S Entsorgung GmbH Kassel, Stand: September 2014.

K+S (2014 b): Nachhaltiges Rückstandsmanagement am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf), Band 3.17 der Antragsunterlage Haldenkörperbohrungen am Standort Hattorf – Ergebnisbericht. Kali GmbH Kassel, Fassung vom 03.06.2014.

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

Knisel, W.G., D.C. Moffitt & T.A. Dumper (1985): Representing Seasonally Frozen Soil with the CREAMS Model. Transactions Am. Soc. Agric. Engrs., 28 (5), pp. 1487 – 1493.

Konold, W. (1995): Anforderungen an die Rekultivierungsschicht beim Rekultivierungsziel Wald. In: Egloffstein, Burkhardt: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 1995. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Heft 103, Erich Schmidt Verlag Berlin.

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): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-1: „Mineralische Entwässerungsschichten aus natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“ vom 07.06.2011. LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, im Internet abrufbar über www.laga-online.de.

LAGA (2014): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 6-2: „Mineralische Entwässerungsschichten aus nicht natürlichen Baustoffen in Oberflächenabdichtungssystemen“ vom 04.12.2014. LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, im Internet abrufbar über www.laga-online.de.

LANUV NRW – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Hrsg. (2010): Technische Anforderungen und Empfehlungen für Deponieabdichtungssysteme – Konkretisierungen und Empfehlungen zur Deponieverordnung. LANUV Arbeitsblatt 13, Eigenverlag, Recklinghausen.

Lesaffre, B. (1987): Analytical formulae for travers drainage of sloping lands with constant rainfall. Irrigation and Drainage Systems, Vol. 1, No 2.

Maniak, U. (2010): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

Markwardt, N. (1990): Der Bodenwasserhaushalt in Deponieabdeckschichten. Dissertation, FB Landschaftsentwicklung, TU Berlin.

Pommerening, J. (2016): E-Mail im Zusammenhang mit der Projektbearbeitung vom 22.10.2016.

Ramke, H.-G. (1991): Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle – Wasserhaushalt, hydraulische Kennwerte Berechnungsverfahren. Dissertation, an der Technischen Universität Braunschweig.

Ramke, H.-G. (2000): Anwendung des HELP-Modells bei der Dimensionierung von Einrichtungen zur Oberflächenwassersammlung und der Entwässerungsschicht. In: Ramke, H.-G., K. Berger und K. Stief (Hrsg.): Wasserhaushalt der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponie und Altlasten – Anwendung des HELP-Modells und Gestaltung der Rekultivierungsschicht. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Heft 47.

Ramke, H.-G. (2002): Oberflächenwassersammlung und -ableitung. In: Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4542, Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Reinhold, F. (1940): Regenspenden in Deutschland (Grundwerte für die Entwässerungstechnik, GE 1940). 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, DC.

Schmid, B. H. (1993): Die maximale Wassertiefe über gleichmäßig beaufschlagten, geneigten Dichtungshorizonten. Zeitschrift Wasser und Boden, Heft 9.

UPI (2015): Umsetzung eines nachhaltigen Rückstandsmanagements am Standort Hattorf (Haldenerweiterung Hattorf). Band 1.3.1 der Antragsunterlage Haldenwasserbilanz. Fassung vom 17.03.2015, Gutachter: upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH Stendal.

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.

Witt, K. J. und H.-G. Ramke (2003): Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT). Zeitschrift Bautechnik, Verlag Ernst und Sohn Berlin, 80 (2003), Heft 9, S. 565 – 579.

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.

7. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
BFI	Blattflächenindex	-
d	Drainabstand (hangparallel)	m
D	Niederschlagsdauer	min, h
d _{max}	maximaler Drainabstand	m
DepV	Deponieverordnung	-
DK	Deponieklasse	-
DS	Speicheränderung innerhalb des betrachteten Systems	mm
DS _{DRAIN}	Wasserspeicheränderung innerhalb des Drainelements	mm, m/s
DSB	Bodenspeicheränderung	mm
dS(t)	Änderung des Speicherinhaltes	l/Δt
DWD	Deutscher Wetterdienst	-
e	EULER'sche Zahl (e = 2,71828)	
EI	Interzeptionsverdunstung (als Teil der Evapotranspiration)	mm
ETP	potenzielle Evapotranspirationsmenge	mm
ETR	reale Verdunstungsmenge	mm
F	Infiltration durch die Oberfläche in die 1. Schicht	mm
FK	Feldkapazität	Vol.-%
h	hydraulisches Potenzial	m/m
h	Niederschlagshöhe	mm
h _{max}	maximaler Aufstau über der Drainsohle	m
Hy	Hydrotop	-
I	Draingefälle	m/m
k(T)	k(T)-Beziehung der Momentenmethode	-
k _f	k _f -Wert	m/s
k _{f, DRAIN}	k _f -Wert der Drainageschicht	m/s
k _{f,x}	Durchlässigkeitsbeiwert (k _f -Wert) in x-Richtung	m/s
LK	Luftkapazität	Vol.-%
LK _{BKA}	Luftkapazität (deutsche Norm nach BKA5)	Vol.-%
LK _{US}	Luftkapazität (amerikanische Norm, HELP-relevant)	Vol.-%
nFK	nutzbare Feldkapazität	Vol.-%
nFK _{BKA}	nutzbare Feldkapazität (deutsche Norm nach BKA5)	Vol.-%
nFK _{US}	nutzbare Feldkapazität (amerikanische Norm, HELP-relevant)	Vol.-%
P	Niederschlag	mm
P(T)	Niederschlag mit dem Wiederkehrintervall T	mm
PD	Regendauer	min
pF	pF-Wert (negativer dekadischer Logarithmus der Wasserspannung in cm Wassersäule)	-
PWP	permanenter Welkepunkt	Vol.-%
P _U	Unterschreitungswahrscheinlichkeit	-, %

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
$P_{\bar{U}}$	Überschreitungswahrscheinlichkeit	-, %
$Q_A(t)$	Ausflussganglinie	$l/\Delta t$
$Q_R(t)$	Zuflussganglinie	$l/\Delta t$
$Q_Z(t)$	Regelabgabe	$l/\Delta t$
R_H	hypodermischer (Drainage-) Abfluss	mm
$R_{H_{MAX}}$	maximale Drainwasserspende	mm/d
RLF	relative Luftfeuchte	%
RO	Oberflächenabfluss	mm
r_N	Niederschlagsspende	$l/(s \cdot ha)$
RU	Sickerwassermenge an der Modellbasis	mm
R_{AB}	Drainwasserabfluss nach unten	mm/d
R_G	mittlere Tagessumme der Globalstrahlung	J/cm^2
R_o	extraterrestrische Strahlung	J/cm^2
R_{ZU}	Drainwasserzufluss (Drainspende von oben)	mm/d
S	tatsächliche Sonnenscheindauer	h/d
SAT	Sättigungswassergehalt	Vol.-%
SSD	Sonnenscheindauer	h
STW	Stauwassermenge	mm
S_o	astronomisch mögliche Sonnenscheindauer	h/d
$S(t_{j+1})$	Speicherinhalt zum Zeitpunkt t_{j+1}	l
$S(t_j)$	Speicherinhalt zum Zeitpunkt t_j	l
T	Transpiration (als Teil der Evapotranspiration)	mm
T	Wiederkehrintervall	a
V_W	Windgeschwindigkeit	km/h
We	effektiver Wurzelraum	cm
x	horizontale Koordinate	-
α	Neigungswinkel der Drainage	m/m

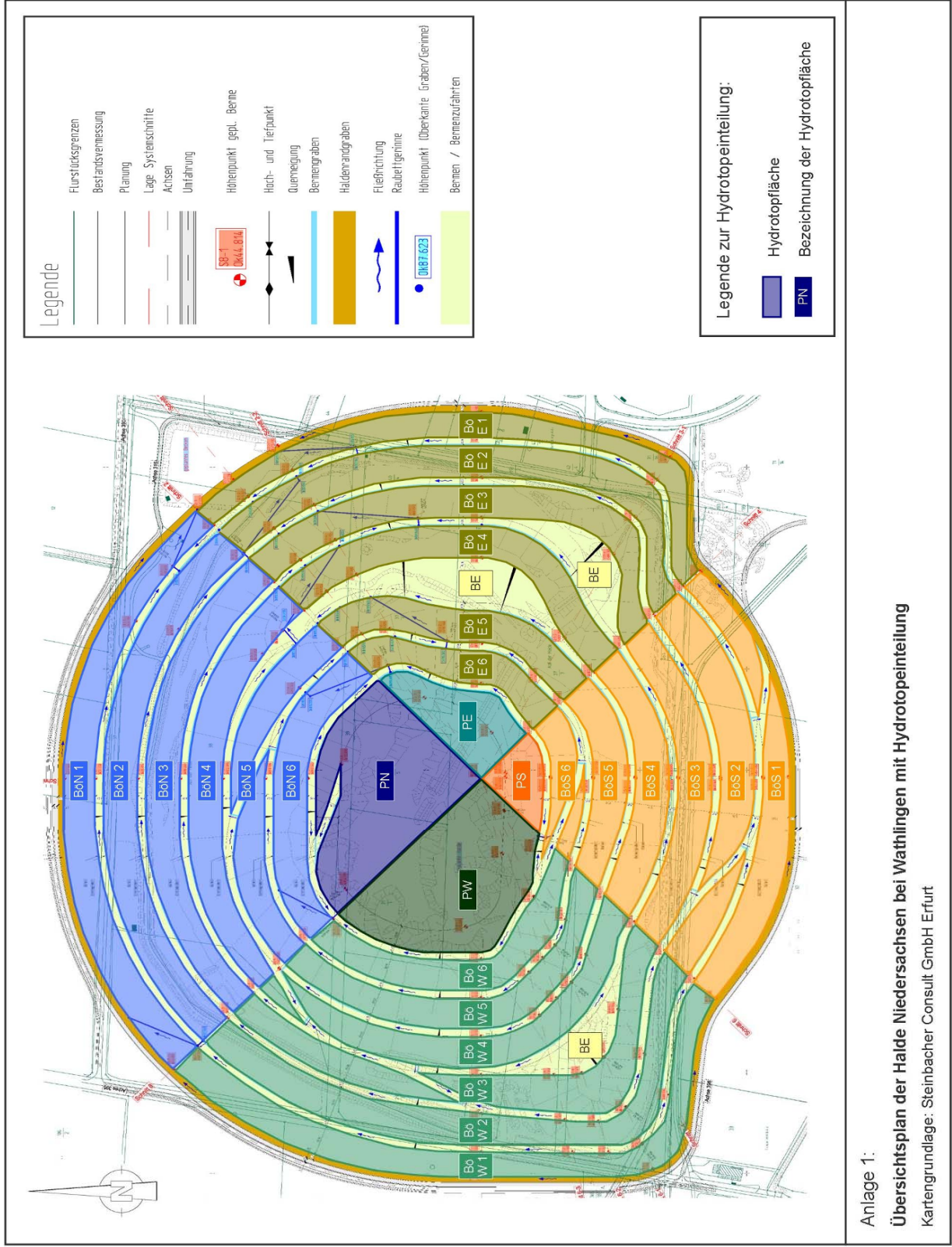
8. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtsplan der Halde Niedersachsen bei Wathlingen mit Hydrotop-einteilung
- Anlage 2: Entwässerungskonzept mit Entwässerungsflächen und Durchfluss-modellierungspunkten für die Halde Niedersachsen bei Wathlingen
- Anlage 3: Hydrotopcharakteristik
- Anlage 4: Einbaumaterialien und Kennwerte der verschiedenen Bauteile (aus SONDERBETRIEBSPLAN ABDECKUNG HALDE FRIEDRICHSHALL, 2010)
- Anlage 5: Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen
- Anlage 6: Kurvenzahlen des CN-Verfahrens auf Basis des HELP-Modells

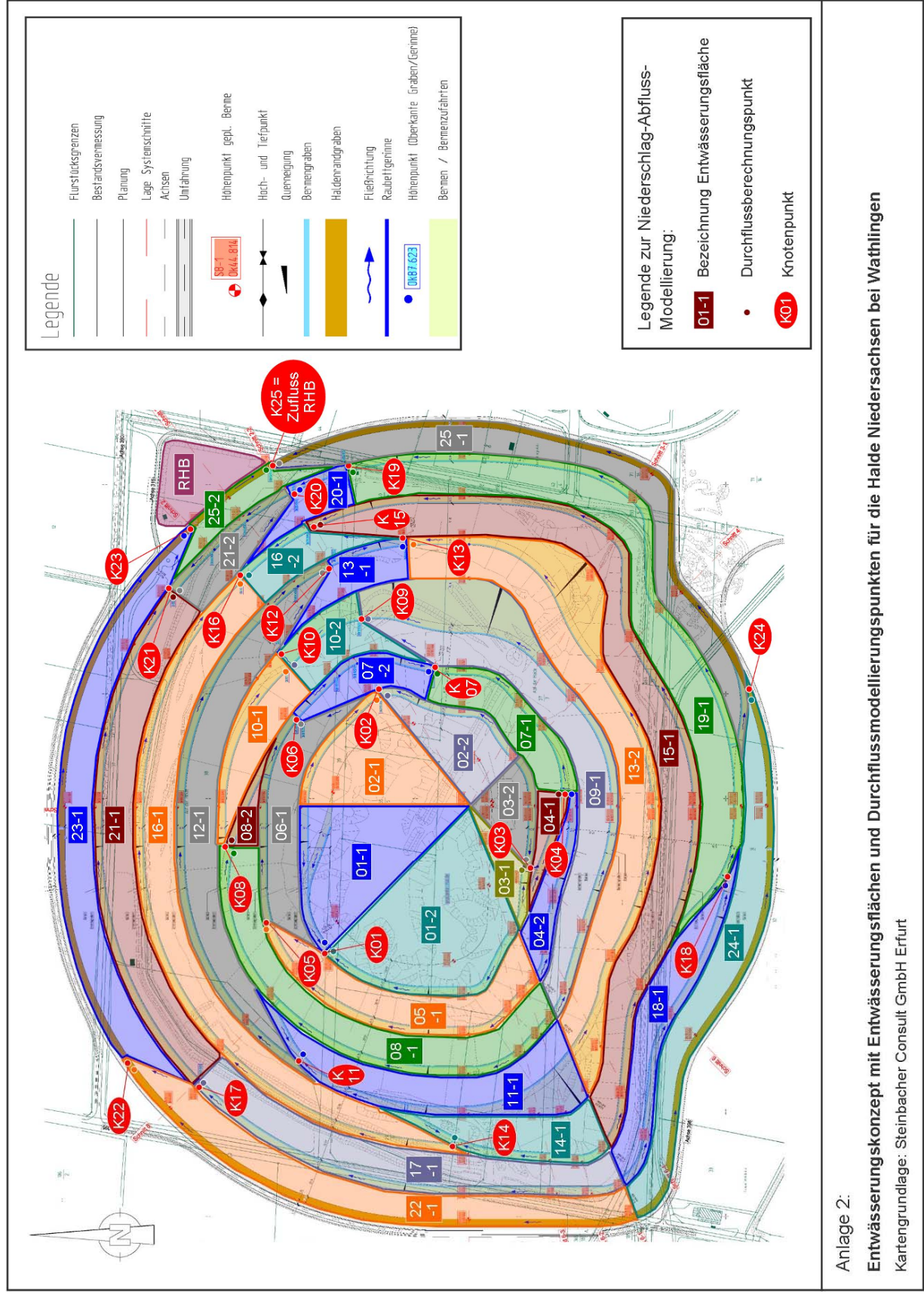
- Anlage 7: Wesentliche Parameter für die Modellierung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall
- Anlage 8: Berechnung der Laufzeitdifferenzen in den Entwässerungsgräben
- Anlage 9: Übersicht über Fehlwerte der modellrelevanten Klimaelemente für die DWD-Station Celle, Reihe 1981 - 2010
- Anlage 10: Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Ebene (mWh/cm^2) und auf diese normierte, aus Stundensummen berechnete Globalstrahlung unterschiedlich exponierter Ebenen für Hamburg-Sasel, 1987 – 1993 (aus BERGER, 1998)
- Anlage 11: Herleitung repräsentativer Nass- und Trockenjahre
- Anlage 12: Niederschlagshöhen und -spenden für den Untersuchungsstandort (nach BARTELS U. A., 2005)
- Anlage 13: Langjährig mittlere Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung)
- Anlage 14: Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung) für Nass- und Trockenjahre
- Anlage 15: Langjährig mittlere Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung)
- Anlage 16: Langjährig mittlere Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung)
- Anlage 17: Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht
- Anlage 18: Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone
- Anlage 19: Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung)
- Anlage 20: Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung)
- Anlage 21: Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung)
- Anlage 22: Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 1

- Anlage 23: Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 2
- Anlage 24: Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 3
- Anlage 25: Ermittlung der Drainableitkapazitäten für die Zeitscheibe 3

Anlagen



Anlage 1:
Übersichtsplan der Halde Niedersachsen bei Wathlingen mit Hydrotopleitung
Kartengrundlage: Steinbacher Consult GmbH Erfurt



Anlage 3:

Hydrotopcharakteristik

Hydrotop- nummer	Hydrotop- größe [m ²]	Flächen- anteil [%]	Expo- sition	Neigung Oberfläche [%]	Neigung Drain [%]	Mittlere Hanglänge [m]	Schichtkon- figuraion
PN	19 130	4,4	N	7	5,8	163	A
PW	18 120	4,2	W	9	5,6	146	A
PE	5 640	1,3	E	13	7,9	95	A
PS	4 030	0,9	S	17	9,6	64	A
BöN1	20 150	4,7	N	50	2,0	27	D
BöN2	16 920	4,0	N	50	2,0	32	C
BöN3	15 100	3,5	N	50	2,0	30	B
BöN4	12 490	2,9	N	50	2,0	30	B
BöN5	11 880	2,8	N	50	2,0	30	B
BöN6	9 260	2,2	N	50	5,8	31	A
BöW1	19 530	4,6	W	50	2,0	27	D
BöW2	16 920	4,0	W	50	2,0	31	C
BöW3	13 900	3,3	W	50	2,0	29	C
BöW4	10 670	2,5	W	50	2,0	29	B
BöW5	9 870	2,3	W	50	2,0	29	B
BöW6	8 460	2,0	W	50	5,6	30	A
BöE1	16 110	3,8	E	50	2,0	23	D
BöE2	14 900	3,5	E	50	2,0	32	C
BöE3	13 690	3,2	E	50	2,0	32	B
BöE4	11 880	2,8	E	50	2,0	32	B
BöE5	8 860	2,1	E	50	2,0	34	B
BöE6	5 640	1,3	E	50	7,9	32	A
BöS1	12 080	2,8	S	50	2,0	24	D
BöS2	11 080	2,6	S	50	2,0	32	C
BöS3	9 260	2,2	S	50	2,0	32	C
BöS4	7 450	1,7	S	50	2,0	32	B
BöS5	5 840	1,4	S	50	2,0	31	B
BöS6	4 430	1,0	S	50	9,6	31	A
BE	94 240	22,0	-	1 (quer)	4,5	8 (quer)	A

Erklärung der Schichtkonfigurationen → s. Folgeseite

Schichtkonfiguration A: Haldenbereiche mit 3,0 m Kulturschicht/Deckschicht, 3,0 m Schüttkeil Haldentop, 0,1 m oberer Gegenfilter Drainageschicht Haldentop, 0,4 m Drainageschicht Haldentop, 0,2 m unterer Gegenfilter Drainageschicht Haldentop und 0,5 m Dichtungsschicht Haldentop

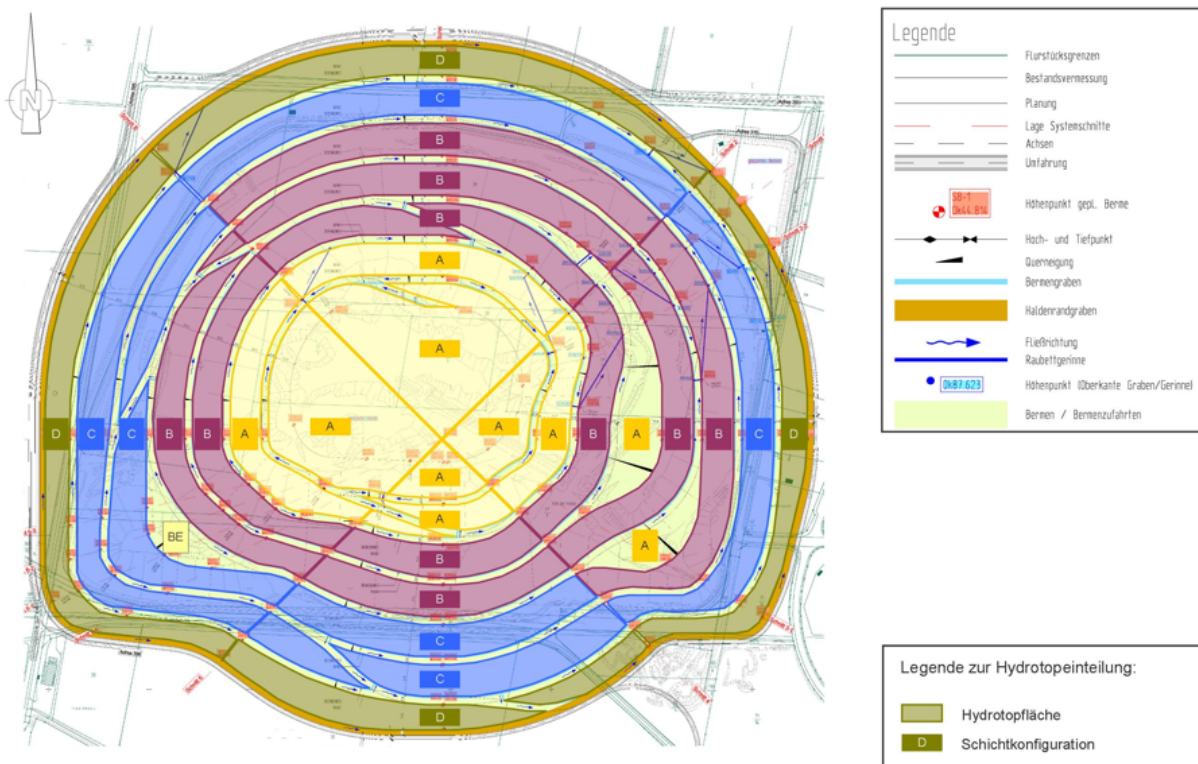
Die Bermen wurden mit Schichtkonfiguration A angenommen, weil die aufgeweiteten Bereiche mittels Dichtschicht gesichert sind, sich unter den übrigen Bermen überwiegend eine Dichtschicht befindet und die Wege verdichtet sind.

Schichtkonfiguration B: Haldenbereiche mit 3,0 Kulturschicht/Deckschicht, 10,0 m Schüttkörper, 0,1 m oberer Gegenfilter Horizontaldrainage, 0,4 m Horizontaldrainage, 0,2 m unterer Gegenfilter Horizontaldrainage, 10,0 m Schüttkörper, 1,0 m oberer Gegenfilter Schrägdrainage, 2,0 m Schrägdrainage und 3,0 m verdichteter Schüttkörper mit guten Dichtungseigenschaften

Schichtkonfiguration C: Haldenbereiche mit 3,0 m Kulturschicht/Deckschicht, 10,0 m Schüttkörper, 0,1 m oberer Gegenfilter Horizontaldrainage, 0,4 m Horizontaldrainage, 0,2 m unterer Gegenfilter Horizontaldrainage, 15 m Schüttkörper, 0,25 m oberer Gegenfilter Sohldrainage, 1,0 m Sohldrainage, 0,25 m unterer Gegenfilter Sohldrainage und 0,5 m Sohldichtung

Schichtkonfiguration D: Haldenbereiche mit 3,0 m Kulturschicht/Deckschicht, 10,0 m Schüttkörper, 0,25 m oberer Gegenfilter Sohldrainage, 1,0 m Sohldrainage, 0,25 m unterer Gegenfilter Sohldrainage und 0,5 m Sohldichtung

Flächenmäßige Zuordnung der Schichtkonfigurationen (Kartengrundlage: Steinbacher Consult GmbH Erfurt):



**Ermittlung des mittleren Gefälles der Rückstandshalde unter der Oberflächen-
sicherung auf Basis der Schnitte, bereitgestellt durch Steinbacher Consult GmbH
Erfurt:**

Schnitt	Haldenabschnitt	Gefälle [%]
1	3. – 6. Berme	60
2	2. – 6. Berme	46
3	2. – 6. Berme	33
4	2. – 6. Berme	42
5	3. – 6. Berme	67
6	3. – 6. Berme	58
7	3. – 6. Berme	59
8	3. – 6. Berme	60
Mittel		53

Anlage 4:

Einbaumaterialien und Kennwerte der verschiedenen Bauteile für die Halde Friedrichshall bei Sehnde (aus SONDERBETRIEBSPLAN ABDECKUNG HALDE FRIEDRICHSHALL, 2010)

Schicht	Mächtigkeit	Quergefälle	Bodengruppe / Material	Durchlässigkeit (k_f)
Aufstandsfläche		0-2 % nach außen	ggf. Austausch durch Boden der Gruppen GU+, GT+ (Feinanteil 20 - 30 Gew.-%)	
Sohldichtung	0,5 m	1-2 % nach außen	TM, TA, (TL)	$< 5 \times 10^{-10}$ m/s
Sohldrainage			vorrangig RC-Material	
Oberer Gegenfilter	0,25-0,5 m	2-4 % nach außen	gemischtkörnig, ersatzw. GW, GI, GU, SE, SW, SI, SU, Anteil $< 0,06$ mm < 10 %	- / -
Drainageschicht	1,0 m	2-4 % nach außen	obere Lage (0,7 m): 0/45, untere Lage (0,3 m): 8/45, ersatzw. GW, GI, Anteil $< 0,06$ mm < 5 % %, Kieskorn > 40 %	$> 10^{-4}$ m/s
Unterer Gegenfilter	0,2 m	2-4 % nach außen	0/8, ersatzw. GW, GI, GU, SE, SW, SI, SU, Anteil $< 0,06$ mm < 15 %	- / -
Schrägdrainage			vorrangig RC-Material	
Gegenfilter	1,0 m	= Haldenoberfläche	0/45, ersatzw. GW, GI, GU, SE, SW, SI, SU, Anteil $< 0,06$ mm < 5 % %, Kieskorn > 40 %	$> 10^{-4}$ m/s
Drainageschicht	2,0 m	= Haldenoberfläche	45/X, ersatzw. GW, GI	- / -
Schüttteil	10 m	2-4 % nach außen	alle Bodengruppen (außer organ. Böden), sofern bodenmechanisch geeignet	- / -
Horizontaldrainagen			vorrangig RC-Material	
Oberer Gegenfilter	0,1 m	2-4 % nach außen	0/20, ersatzw. SW, SE, SI	- / -
Drainageschicht	0,4 m	2-4 % nach außen	0/45, ersatzw. GW, GI	$> 10^{-4}$ m/s
Unterer Gegenfilter	0,2 m	2-4 % nach außen	0/20, ersatzw. GU+, GT+	- / -
Deckschicht	3,0 m	2-4 % nach außen	SU+, ST+, GU+, GT+, UL, UM, TL	- / -

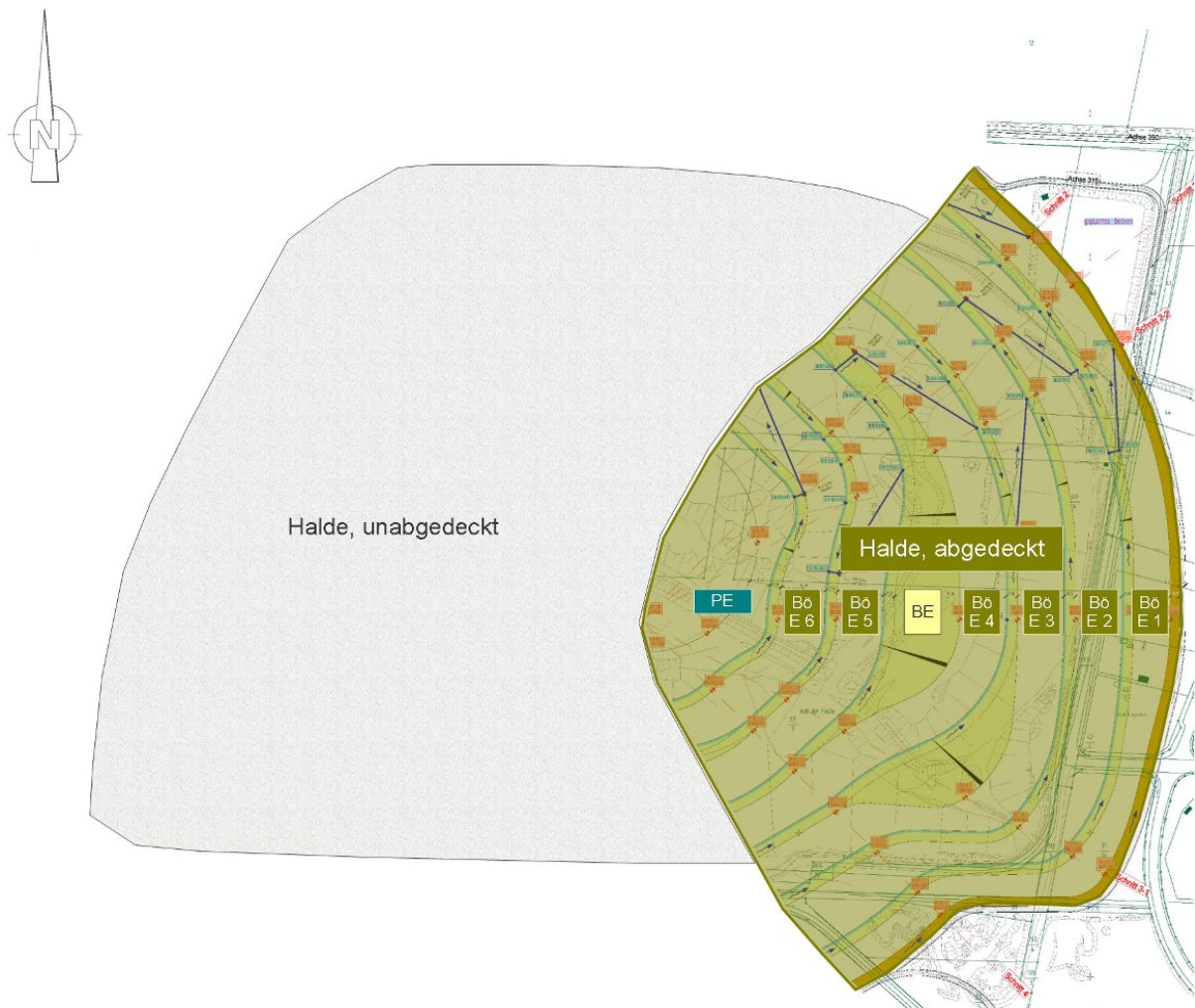
Bodengruppen nach DIN 18196 (2011)

Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung, kritischer Zustand bezüglich der Bemessung des Regenrückhaltebeckens:

Hydrotopeinteilung zur Ermittlung des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens:



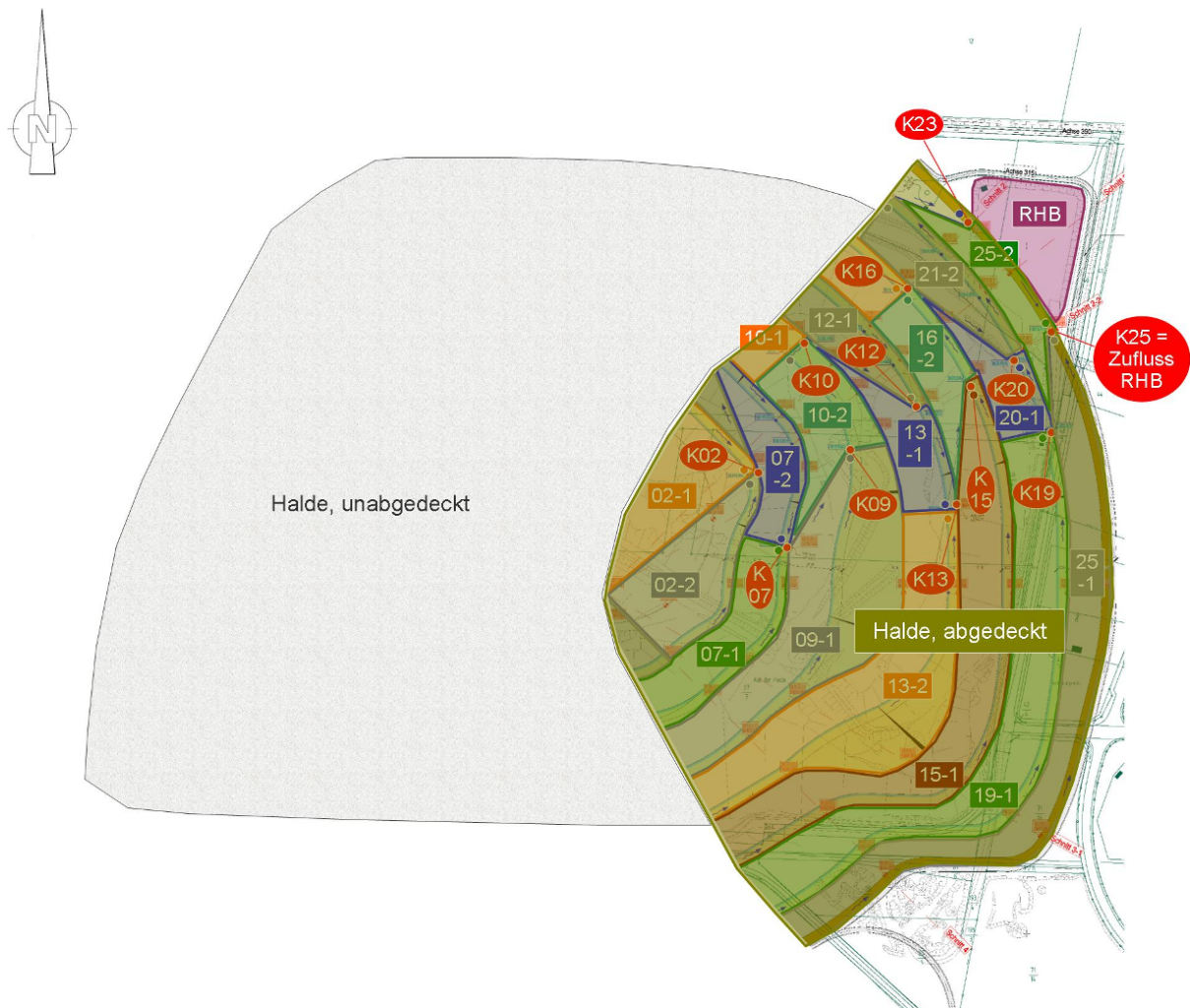
- Betrachtung des abgedeckten Bereichs mit einer Ostexposition
- Hydrotope analog Anlagen 1 und 2 (mit Ausnahme der Flächengrößen)
- Bewuchs:
 - 50 % Bewuchszustand 1 (unbewachsen) → betrifft Plateauhidrotop PE, Berme BE sowie Böschungshydrotope BöE4 – BöE6
 - 50 % Bewuchszustand 2 (Gras-Krautbewuchs mit spärlicher Bewuchsentwicklung) → betrifft Böschungshydrotope BöE1 – BöE3

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung, kritischer Zustand bezüglich der Bemessung des Regenrückhaltebeckens:

Entwässerungskonzept zur Ermittlung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall:



- Betrachtung des abgedeckten Bereichs entsprechend Fließkonzept nach Anlage 2
- Parameter analog Anlagen 6 und 7 (bei teilweise verkleinerten Entwässerungsflächen, Details → s. Folgeseite)
- Bewuchs:
 - 50 % Bewuchszustand 1 (unbewachsen)
 - 50 % Bewuchszustand 2 (Gras-Krautbewuchs mit spärlicher Bewuchsentwicklung)

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung, kritischer Zustand bezüglich der Bemessung des Regenrückhaltebeckens:

Wesentliche Parameter für die Oberflächenabflussmodellierung im Starkregenfall:

Entwässerungsfläche	Fläche [m ²]	Mittl. Hangneigung [%]	Mittl. Hanglänge [m]	Breite am Haldenfuß [m]	Höchster Punkt [m NN]	Niedrigster Punkt [m NN]	Drainabfluss (HELP-Modell) T = 5 a [mm/d]	Drainabfluss (Basisdurchfluss) [l/s]	Bewuchszustand
02-1	5 940	7	160	65	143,00	131,62	1,04	0,072	1
02-2	6 810	13	95	150	143,00	131,62	1,04	0,082	1
03-2	1 270	16	65	25	143,00	132,46	1,04	0,015	1
06-1	1 060	50	15	65	131,90	119,71	0,48	0,006	1
07-1	6 360	50	30	170	132,46	119,37	0,48	0,035	1
07-2	4 450	50	25	155	132,11	119,37	0,48	0,025	1
09-1	16 540	50	30	285	120,34	101,62	0,46	0,088	1
10-1	1 700	50	30	185	119,79	101,40	0,46	0,009	1
10-2	4 470	50	30	85	119,75	101,40	0,46	0,024	1
12-1	4 030	50	25	125	101,57	87,62	0,47	0,022	1
13-1	3 620	50	25	75	102,01	87,54	0,47	0,020	1
13-2	15 900	50	30	310	102,46	87,54	0,47	0,086	1
15-1	16 320	50	25	475	88,57	71,10	0,85	0,089	2
16-1	2 330	50	30	55	87,90	70,89	0,85	0,013	2
16-2	4 260	50	25	80	87,84	70,89	0,85	0,023	2
19-1	18 230	50	30	480	72,15	56,14	1,59	0,335	2
20-1	2 550	50	25	60	71,28	55,89	1,59	0,047	2
21-2	4 890	50	20	145	71,65	55,67	1,59	0,090	2
23-1	1 700	50	15	60	55,67	43,78	1,75	0,034	2
25-1	12 400	50	20	590	57,03	43,42	1,75	0,251	2
25-2	4 470	50	15	100	56,12	43,42	1,75	0,091	2

Der Grasbewuchs im Bewuchszustand 2 wurde als spärlich entwickelt angenommen.

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung, kritischer Zustand bezüglich der Bemessung des Regenrückhaltebeckens:

Wesentliche Parameter für die Modellierung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall für die unabgedeckte Halde (grauer Bereich im Bild 2 Seiten zuvor):

Entwässerungsfläche	Fläche [m ²]	Mittl. Hangneigung [%]	Mittl. Hanglänge [m]	Breite am Haldenfuß [m]	Höchster Punkt [m NN]	Niedrigster Punkt [m NN]	Drainabfluss (Basisdurchfluss) [l/s]	Bewuchs
Halde unabgedeckt	184 260	61	154	1 460	130,89	41,94	0,0	Ohne

Freie Wasserflächen (Werte bereitgestellt durch Steinbacher Consult GmbH Erfurt und abgestimmt mit K+S Entsorgung GmbH):

- verkleinertes RHB: 4 940 m²
- alter Haldenrandgraben (1 300 m lang, 2,5 m breit): 3 250 m²
- neuer Haldenrandgraben (400 m lang, 6,25 m breit): 2 500 m²
- freie Wasserflächen insgesamt: 10 690 m²

Starkniederschlagsganglinien für die Niederschläge, die auf die Wasserflächen fallen:

- für T = 5 a und Regendauer = 5 min (vgl. Anlage 12): $9,1 \text{ mm} \cdot 1,1 = 10,0 \text{ mm} = 10,0 \text{ l/m}^2 \cdot 10 690 \text{ m}^2 = 106 900 \text{ l}$ in 5 min (300 s) → Niederschlagsganglinie 0 ... 300 s: 356,3 l/s
- alle Regendauern PD:

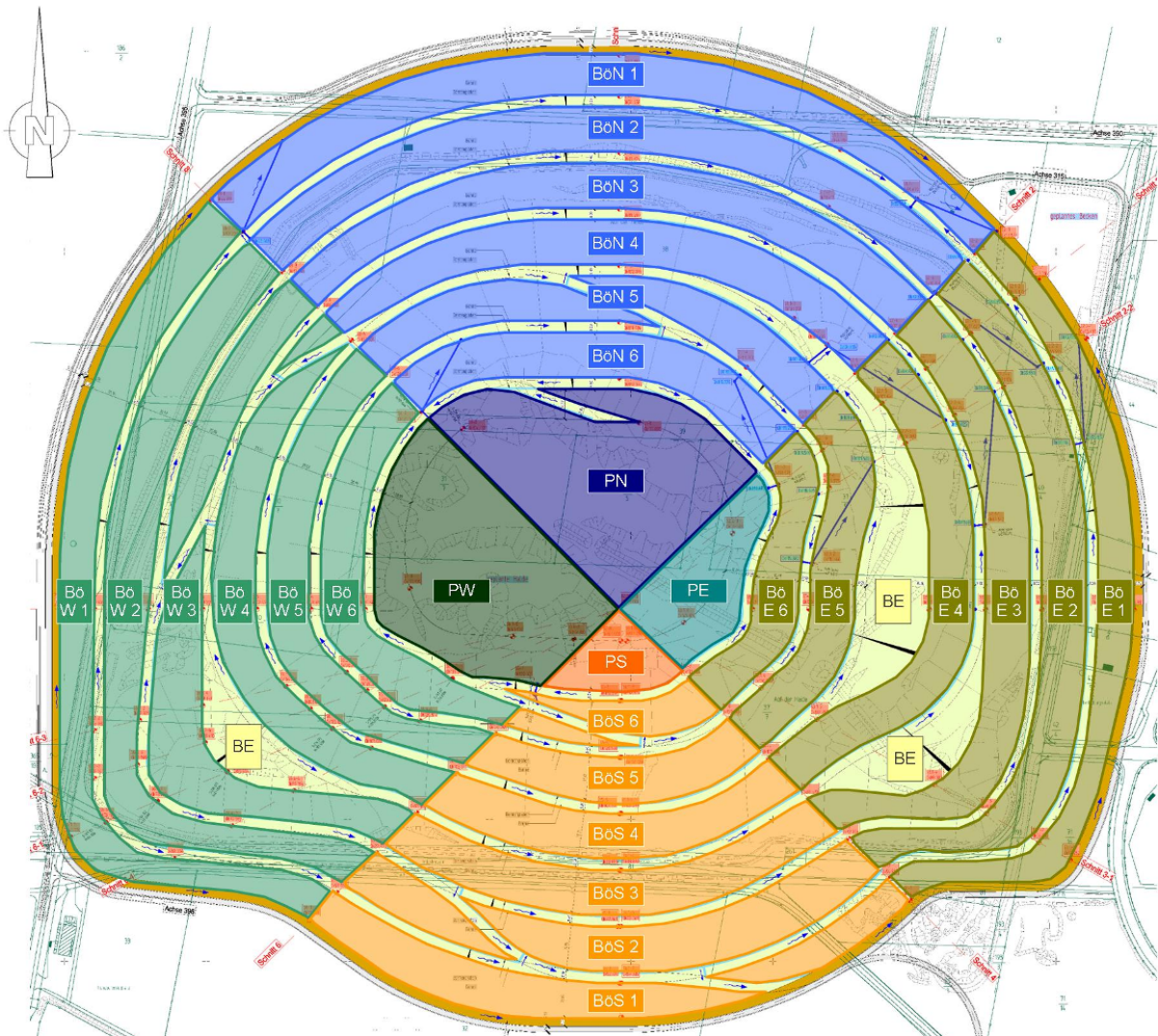
PD	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min
P [l/s]	356,3	258,3	206,7	173,7	133,0	100,2	81,1	57,0
PD	2 h	3 h	4 h	6 h	9 h	12 h	18 h	24 h
P [l/s]	44,4	31,4	24,6	17,4	12,3	9,7	6,9	5,5

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung:

Hydrotopeinteilung zur Ermittlung des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens:



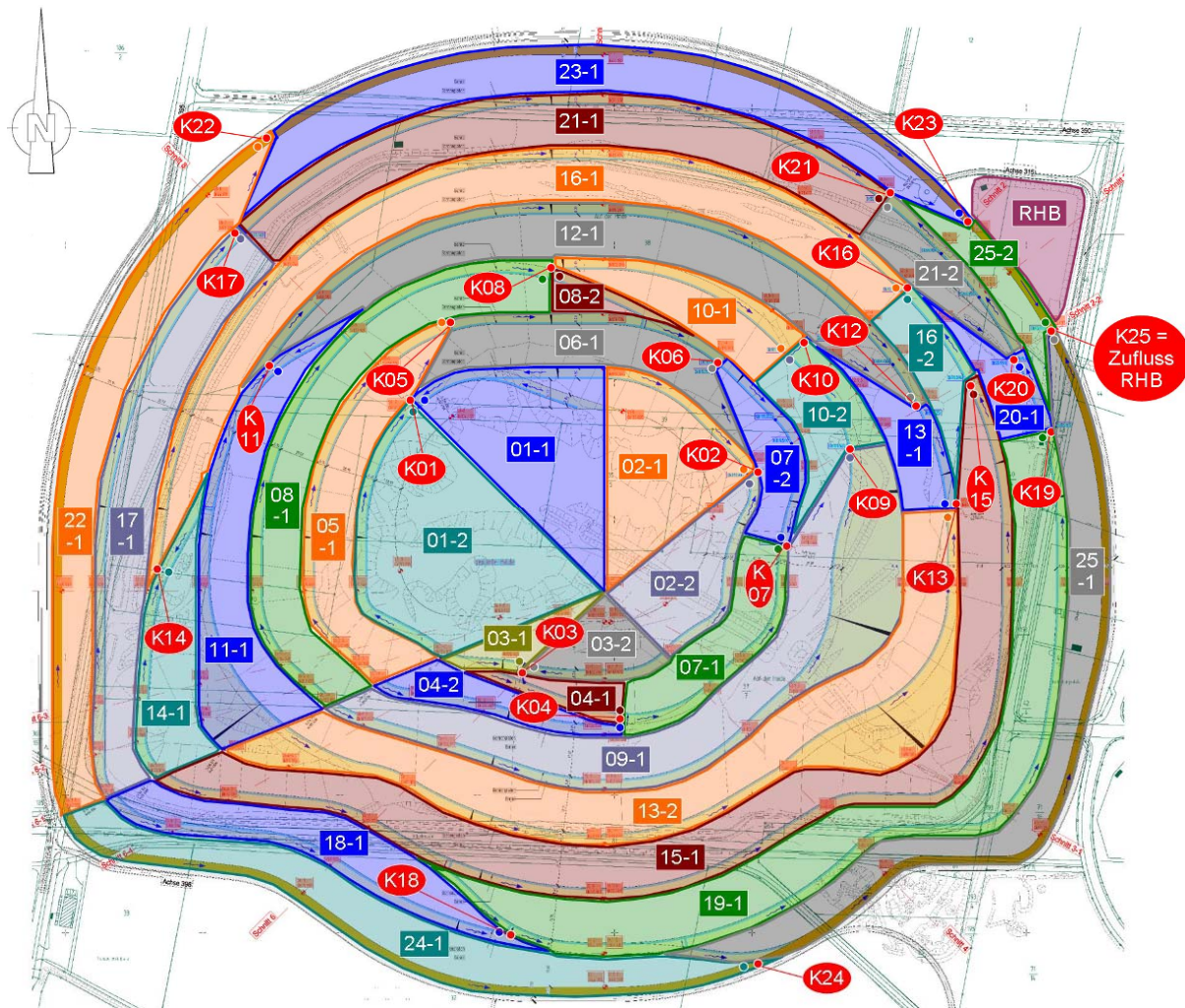
- alle Hydrotope und Hydrotopeigenschaften entsprechend Anlagen 1 und 2
- Bewuchs:
 - Bermen: Bewuchszustand 2 (spärlicher Gras-Krautbewuchs)
 - alle anderen Hydrotope: jeweils ca. 25 % Bewuchszustände 1 bis 4
 - Bewuchszustand 1 = Südplateau und Südböschung, Bewuchszustand 2 = Westplateau und Westböschung, Bewuchszustand 3 = Nordplateau und Nordböschung, Bewuchszustand 4 = Ostplateau und Ostböschung

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung:

Entwässerungskonzept zur Ermittlung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall:



- Gesamtentwässerung entsprechend Fließkonzept nach Anlage 2
- Parameter analog Anlagen 6 und 7
- Bewuchs:
 - jeweils 25 % Bewuchszustände 1 bis 4 (analog Hydrotöpfe)

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung:

Wesentliche Parameter für die Oberflächenabflussmodellierung m Starkregenfall:

Entw.- fläche	Fläche [m ²]	Hang- neigung [%]	Hang- länge [m]	Breite am Halden fuß [m]	Höchster Punkt [m NN]	Niedrigste r Punkt [m NN]	Drainab- fluss [mm/d]	Drainab- fluss [l/s]	Bewuchs- zustand vorrangig
01-1	12 980	7	170	145	143,00	131,08	0,92	0,138	3
01-2	19 370	7	165	225	143,00	131,08	1,03	0,231	2
02-1	9 360	7	145	130	143,00	131,62	0,92	0,100	3
02-2	6 810	13	95	150	143,00	131,62	1,42	0,112	4
03-1	2 550	11	95	55	143,00	132,24	1,03	0,030	2
03-2	4 470	16	65	100	143,00	132,24	0,87	0,045	1
04-1	2 340	50	15	100	132,52	120,53	0,36	0,010	1
04-2	4 680	50	15	180	133,01	120,53	0,36	0,020	1
05-1	11 070	50	30	325	133,01	120,23	0,87	0,111	2
06-1	8 940	50	30	205	132,04	119,71	1,19	0,123	3
07-1	7 240	50	30	195	132,52	119,37	0,49	0,041	4
07-2	5 110	50	25	155	132,11	119,37	0,49	0,029	4
08-1	16 810	50	30	465	120,87	102,20	0,87	0,169	2
08-2	1 490	50	15	75	120,08	102,20	1,19	0,021	3
09-1	26 390	50	30	550	120,87	101,62	1,04	0,318	3
10-1	5 750	50	20	185	119,89	101,40	1,19	0,079	3
10-2	4 470	50	30	85	119,75	101,40	0,49	0,025	4
11-1	13 830	50	30	345	103,13	88,90	0,87	0,139	2
12-1	18 730	50	30	560	102,51	87,62	1,19	0,258	3
13-1	3 620	50	25	75	102,01	87,54	0,50	0,021	4
13-2	27 670	50	30	635	103,13	87,54	1,04	0,333	3
14-1	7 020	50	30	205	89,46	72,70	0,87	0,071	2
15-1	31 070	50	25	915	89,46	71,10	1,08	0,388	3
16-1	25 110	50	30	740	89,12	70,89	0,59	0,171	2
16-2	4 260	50	25	80	87,84	70,89	0,50	0,025	4
17-1	17 020	50	25	440	73,05	57,22	1,46	0,288	2
18-1	9 360	50	25	310	73,05	57,44	1,13	0,122	1
19-1	25 540	50	30	750	72,62	56,14	1,04	0,307	3
20-1	2 550	50	25	60	71,28	55,89	0,90	0,027	4
21-1	18 940	50	30	505	72,25	55,67	1,62	0,355	3
21-2	4 890	50	20	145	71,65	55,67	0,90	0,051	4
22-1	16 170	50	25	550	58,11	44,74	1,73	0,324	2
23-1	19 150	50	30	560	57,30	43,78	2,07	0,459	3
24-1	15 110	50	25	550	58,11	44,64	1,17	0,205	1
25-1	13 190	50	20	620	57,24	43,42	1,11	0,169	3
25-2	4 470	50	15	100	56,12	43,42	1,44	0,075	4

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung:

Freie Wasserflächen (Werte bereitgestellt durch Steinbacher Consult GmbH Erfurt):

- verkleinertes RHB: 4 940 m²
- Haldenrandgraben (angestautem Bereich): 14 770 m²
- freie Wasserflächen insgesamt: 19 710 m²

Starkniederschlagsganglinien für die Niederschläge, die auf die Wasserflächen fallen:

- für T = 5 a und Regendauer = 5 min (vgl. Anlage 12): 9,1 mm * 1,1 = 10,0 mm = 10,0 l/m² * 19 710 m² = 197 100 l in 5 min (300 s) → Niederschlagsganglinie 0 ... 300 s: 657,0 l/s
- alle Regendauern PD:

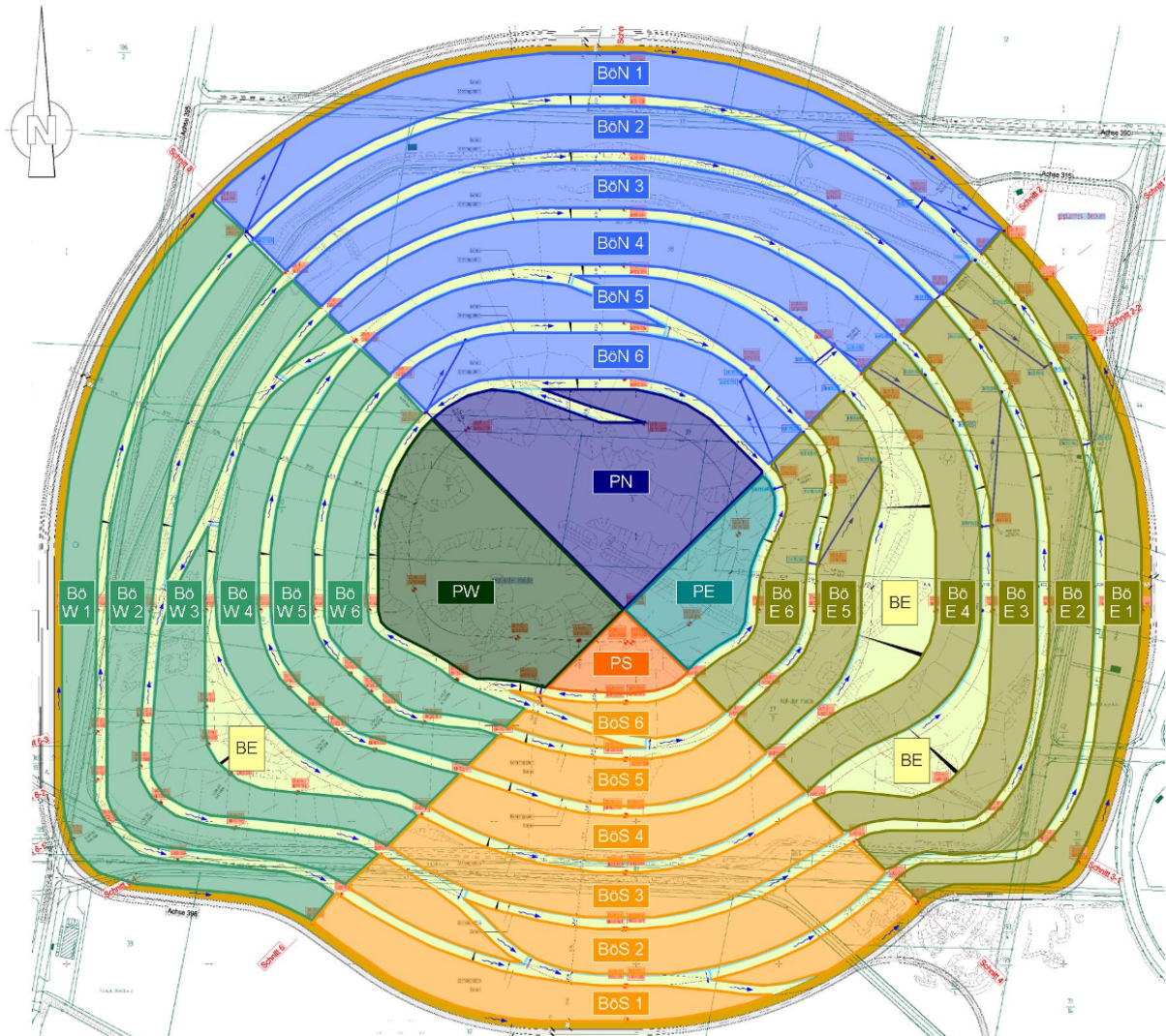
PD	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min
P [l/s]	657,0	476,3	381,1	320,3	245,3	174,7	149,5	105,1
PD	2 h	3 h	4 h	6 h	9 h	12 h	18 h	24 h
P [l/s]	81,9	57,9	45,3	32,0	22,7	17,8	12,7	10,2

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung:

Hydrotopeninteilung zur Ermittlung des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhaltens:



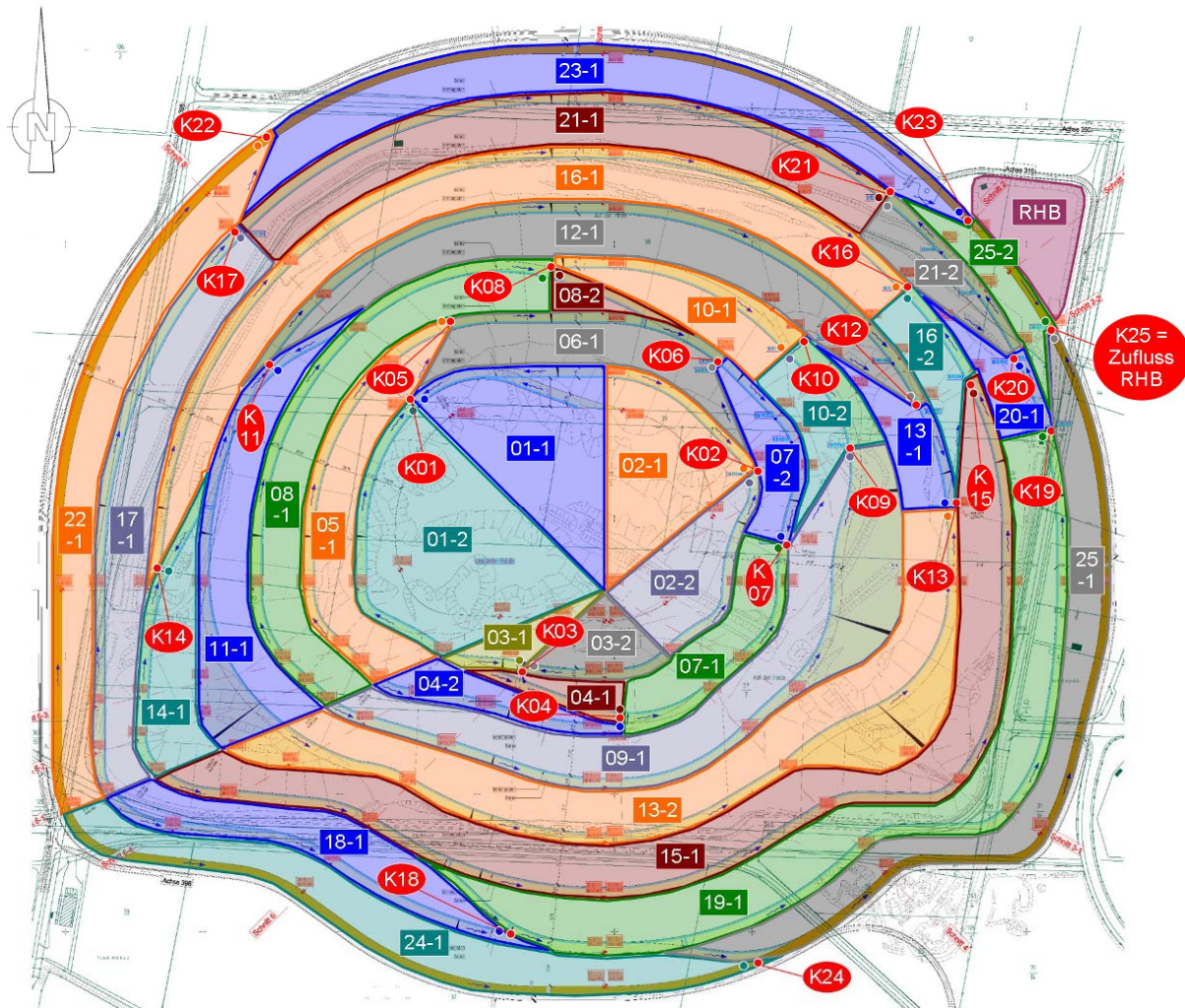
- alle Hydrotopen und Hydrotopenigenschaften entsprechend Anlagen 1 und 2
- Bewuchs:
 - Bermen: Bewuchszustand 3 (normaler Gras-Krautbewuchs)
 - alle anderen Hydrotopen: Bewuchszustand 4 = primärer Busch- bzw. Baumbewuchs mit sekundärem (untergelagertem) Gras-Krautbewuchs (üppige Bewuchsentwicklung)

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung:

Entwässerungskonzept zur Ermittlung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall:



- Gesamtentwässerung entsprechend Fließkonzept nach Anlage 2
- Parameter analog Anlagen 6 und 7
- Bewuchs:
 - Bewuchszustand 4 = primärer Busch- bzw. Baumbewuchs mit sekundärem (untergelagertem) Gras-Krautbewuchs (üppige Bewuchsentwicklung) → analog Hydrotope

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung:

Wesentliche Parameter für die Oberflächenabflussmodellierung m Starkregenfall:

Entw.- fläche	Fläche [m ²]	Hang- neigung [%]	Hang- länge [m]	Breite am Halden fuß [m]	Höchster Punkt [m NN]	Niedrigste r Punkt [m NN]	Drainab- fluss [mm/d]	Drainab- fluss [l/s]	Bewuchs- zustand vorrangig
01-1	12 980	7	170	145	143,00	131,08	0,79	0,119	4
01-2	19 370	7	165	225	143,00	131,08	0,93	0,208	4
02-1	9 360	7	145	130	143,00	131,62	0,79	0,086	4
02-2	6 810	13	95	150	143,00	131,62	1,42	0,112	4
03-1	2 550	11	95	55	143,00	132,24	0,93	0,027	4
03-2	4 470	16	65	100	143,00	132,24	0,99	0,051	4
04-1	2 340	50	15	100	132,52	120,53	0,15	0,004	4
04-2	4 680	50	15	180	133,01	120,53	0,15	0,008	4
05-1	11 070	50	30	325	133,01	120,23	0,49	0,063	4
06-1	8 940	50	30	205	132,04	119,71	1,06	0,110	4
07-1	7 240	50	30	195	132,52	119,37	0,49	0,041	4
07-2	5 110	50	25	155	132,11	119,37	0,49	0,029	4
08-1	16 810	50	30	465	120,87	102,20	0,50	0,097	4
08-2	1 490	50	15	75	120,08	102,20	1,09	0,019	4
09-1	26 390	50	30	550	120,87	101,62	0,49	0,150	4
10-1	5 750	50	20	185	119,89	101,40	1,09	0,073	4
10-2	4 470	50	30	85	119,75	101,40	0,49	0,025	4
11-1	13 830	50	30	345	103,13	88,90	0,49	0,078	4
12-1	18 730	50	30	560	102,51	87,62	1,09	0,236	4
13-1	3 620	50	25	75	102,01	87,54	0,50	0,021	4
13-2	27 670	50	30	635	103,13	87,54	0,50	0,160	4
14-1	7 020	50	30	205	89,46	72,70	0,50	0,041	4
15-1	31 070	50	25	915	89,46	71,10	0,50	0,180	4
16-1	25 110	50	30	740	89,12	70,89	0,50	0,145	4
16-2	4 260	50	25	80	87,84	70,89	0,50	0,025	4
17-1	17 020	50	25	440	73,05	57,22	0,91	0,179	4
18-1	9 360	50	25	310	73,05	57,44	0,89	0,096	4
19-1	25 540	50	30	750	72,62	56,14	0,90	0,266	4
20-1	2 550	50	25	60	71,28	55,89	0,90	0,027	4
21-1	18 940	50	30	505	72,25	55,67	1,40	0,307	4
21-2	4 890	50	20	145	71,65	55,67	0,90	0,051	4
22-1	16 170	50	25	550	58,11	44,74	1,38	0,255	4
23-1	19 150	50	30	560	57,30	43,78	1,98	0,439	4
24-1	15 110	50	25	550	58,11	44,64	0,89	0,156	4
25-1	13 190	50	20	620	57,24	43,42	1,96	0,299	4
25-2	4 470	50	15	100	56,12	43,42	1,44	0,075	4

Fortsetzung Anlage 5:

Zeitschnitte bezüglich des Abdeckfortschritts und daraus resultierenden verschiedenen Bewuchszuständen und deren Flächenzuordnungen

Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung:

Freie Wasserflächen (Werte bereitgestellt durch Steinbacher Consult GmbH Erfurt):

- verkleinertes RHB: 4 940 m²
- Haldenrandgraben (angestautem Bereich): 14 770 m²
- freie Wasserflächen insgesamt: 19 710 m²

Starkniederschlagsganglinien für die Niederschläge, die auf die Wasserflächen fallen:

- für T = 5 a und Regendauer = 5 min (vgl. Anlage 12): 9,1 mm * 1,1 = 10,0 mm = 10,0 l/m² * 19 710 m² = 197 100 l in 5 min (300 s) → Niederschlagsganglinie 0 ... 300 s: 657,0 l/s
- alle Regendauern PD:

PD	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min	90 min
P [l/s]	657,0	476,3	381,1	320,3	245,3	174,7	149,5	105,1
PD	2 h	3 h	4 h	6 h	9 h	12 h	18 h	24 h
P [l/s]	81,9	57,9	45,3	32,0	22,7	17,8	12,7	10,2

Anlage 6:

Kurvenzahlen des CN-Verfahrens auf Basis des HELP-Modells

Zeitschnitt 1: Beginn der Abdeckung, kritischer Zustand bezüglich der Bemessung des Regenrückhaltebeckens:

Entwässerungs- fläche	Hydrotop	Kurvenzahl HELP- Modell	Kurvenzahl Modell ROHALDEP
02-1	PE	95,4	95,5
02-2	PE	95,4	95,6
03-2	PE	95,4	95,8
06-1	BöE6	95,6	96,1
07-1	BöE6	95,6	96,0
07-2	BöE6	95,6	96,0
09-1	BöE5	95,7	96,0
10-1	BöE5	95,7	96,0
10-2	BöE5	95,7	96,0
12-1	BöE4	95,7	96,1
13-1	BöE4	95,7	96,1
13-2	BöE4	95,7	96,0
15-1	BöE3	91,2	91,0
16-1	BöE3	91,2	90,9
16-2	BöE3	91,2	91,0
19-1	BöE2	91,2	90,9
20-1	BöE2	91,2	91,0
21-2	BöE2	91,2	91,1
23-1	BöE1	91,4	91,2
25-1	BöE1	91,4	91,1
25-2	BöE1	91,4	91,3

Fortsetzung Anlage 6:

Kurvenzahlen des CN-Verfahrens auf Basis des HELP-Modells

Zeitschnitt 2: Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung:

Entwässerungs- fläche	Hydrotop	Kurvenzahl HELP- Modell	Kurvenzahl Modell ROHALDEP
01-1	PN	58,8	59,5
01-2	PW	90,1	89,9
02-1	PN	58,8	60,0
02-2	PE	46,2	45,4
03-1	PW	90,1	90,3
03-2	PS	95,3	95,8
04-1	BöS6	95,7	96,1
04-2	BöS6	95,7	96,1
05-1	BöW6	91,2	91,1
06-1	BöN6	65,6	66,5
07-1	BöE6	52,0	52,1
07-2	BöE6	52,0	53,3
08-1	BöW5	91,3	91,2
08-2	BöN5	66,0	68,7
09-1	BöS5 + BöE5	66,0	67,0
10-1	NöN5	66,0	68,1
10-2	BöE5	52,4	53,3
11-1	BöW4	91,3	91,1
12-1	BöN4	65,9	66,7
13-1	BöE4	52,4	53,7
13-2	BöS 4 + BöE4	65,8	66,7
14-1	BöW3	91,3	91,1
15-1	BöS3 + BöE3	66,4	67,3
16-1	BöW3 + BöN3	91,3	91,2
16-2	BöE3	52,7	54,3
17-1	BöW2	91,2	91,2
18-1	BöW2 + BöS2	95,7	96,1
19-1	BöS2 + BöE2	66,0	66,8
20-1	BöE2	52,6	54,0
21-1	BöN2	65,8	66,8
21-2	BöE2	52,6	55,4
22-1	BöW1	91,3	91,2
23-1	BöN1	66,2	66,7
24-1	BöW1 + BöS1	95,7	96,1
25-1	BöS1 + BöE1	67,0	67,9
25-2	BöE1	54,3	56,5

Fortsetzung Anlage 6:

Kurvenzahlen des CN-Verfahrens auf Basis des HELP-Modells

Zeitschnitt 3: Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung:

Entwässerungs- fläche	Hydrotop	Kurvenzahl HELP- Modell	Kurvenzahl Modell ROHALDEP
01-1	PN	37,8	38,8
01-2	PW	39,3	39,1
02-1	PN	37,8	36,7
02-2	PE	46,2	45,4
03-1	PW	39,3	39,0
03-2	PS	43,1	43,6
04-1	BöS6	52,2	55,3
04-2	BöS6	52,2	55,3
05-1	BöW6	52,3	52,1
06-1	BöN6	52,2	52,1
07-1	BöE6	52,0	52,1
07-2	BöE6	52,0	52,1
08-1	BöW5	54,0	53,6
08-2	BöN5	55,0	56,8
09-1	BöS5 + BöE5	52,4	52,1
10-1	NöN5	55,0	55,1
10-2	BöE5	52,4	52,1
11-1	BöW4	53,1	52,8
12-1	BöN4	52,9	52,8
13-1	BöE4	52,4	52,6
13-2	BöS 4 + BöE4	52,4	52,6
14-1	BöW3	53,2	52,8
15-1	BöS3 + BöE3	52,7	53,1
16-1	BöW3 + BöN3	53,2	53,3
16-2	BöE3	52,7	53,2
17-1	BöW2	52,8	52,8
18-1	BöW2 + BöS2	52,6	52,9
19-1	BöS2 + BöE2	52,6	51,6
20-1	BöE2	52,6	52,8
21-1	BöN2	52,6	51,6
21-2	BöE2	52,6	54,3
22-1	BöW1	53,3	52,6
23-1	BöN1	53,4	52,8
24-1	BöW1 + BöS1	54,1	54,1
25-1	BöS1 + BöE1	54,3	54,6
25-2	BöE1	54,3	56,5

Anlage 7:

Wesentliche Parameter für die Modellierung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall

Entwässerungsfläche	Fläche [m ²]	Mittlere Hangneigung [%]	Mittlere Hanglänge [m]	Breite am Haldenfuß [m]	Höchster Punkt [m NN]	Niedrigster Punkt [m NN]
01-1	12 980	7	170	145	143,00	131,08
01-2	19 370	7	165	225	143,00	131,08
02-1	9 360	7	145	130	143,00	131,62
02-2	6 810	13	95	150	143,00	131,62
03-1	2 550	11	95	55	143,00	132,24
03-2	4 470	16	65	100	143,00	132,24
04-1	2 340	50	15	100	132,52	120,53
04-2	4 680	50	15	180	133,01	120,53
05-1	11 070	50	30	325	133,01	120,23
06-1	8 940	50	30	205	132,04	119,71
07-1	7 240	50	30	195	132,52	119,37
07-2	5 110	50	25	155	132,11	119,37
08-1	16 810	50	30	465	120,87	102,20
08-2	1 490	50	15	75	120,08	102,20
09-1	26 390	50	30	550	120,87	101,62
10-1	5 750	50	20	185	119,89	101,40
10-2	4 470	50	30	85	119,75	101,40
11-1	13 830	50	30	345	103,13	88,90
12-1	18 730	50	30	560	102,51	87,62
13-1	3 620	50	25	75	102,01	87,54
13-2	27 670	50	30	635	103,13	87,54
14-1	7 020	50	30	205	89,46	72,70
15-1	31 070	50	25	915	89,46	71,10
16-1	25 110	50	30	740	89,12	70,89
16-2	4 260	50	25	80	87,84	70,89

Die Bereitstellung der Primärunterlagen erfolgte durch das Ingenieurbüro Steinbacher Consult GmbH Erfurt.

Fortsetzung Anlage 7:

Wesentliche Parameter für die Modellierung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall

Entwässerungsfläche	Fläche [m ²]	Mittlere Hangneigung [%]	Mittlere Hanglänge [m]	Breite am Haldenfuß [m]	Höchster Punkt [m NN]	Niedrigster Punkt [m NN]
17-1	17 020	50	25	440	73,05	57,22
18-1	9 360	50	25	310	73,05	57,44
19-1	25 540	50	30	750	72,62	56,14
20-1	2 550	50	25	60	71,28	55,89
21-1	18 940	50	30	505	72,25	55,67
21-2	4 890	50	20	145	71,65	55,67
22-1	16 170	50	25	550	58,11	44,74
23-1	19 150	50	30	560	57,30	43,78
24-1	15 110	50	25	550	58,11	44,64
25-1	13 190	50	20	620	57,24	43,42
25-2	4 470	50	15	100	56,12	43,42

Die Bereitstellung der Primärunterlagen erfolgte durch das Ingenieurbüro Steinbacher Consult GmbH Erfurt.

Fließgeschwindigkeiten in den Grabenabschnitten der Halde Niedersachsen (Bereitstellung durch das Ingenieurbüro Steinbacher Consult GmbH Erfurt):

- Bermengraben (I = ca. 0,2 %): v bei $Q_{\text{mittl.}}$ = ca. 0,35 m/s; **v bei $Q_{\text{max.}}$ = 0,55 m/s**
- Raubettgerinne neben Auffahrtrampen (I = ca. 10 %): v bei $Q_{\text{mittl.}}$ = ca. 1,3 m/s; **v bei $Q_{\text{max.}}$ = 2,1 m/s**
- Raubettgerinne außerhalb der Auffahrtrampen (I = ca. 20 %): v bei $Q_{\text{mittl.}}$ = ca. 1,5 m/s; v bei **$Q_{\text{max.}}$ = 2,9 m/s**
- Bermenrandgraben (I = ca. 0,2 %): v bei $Q_{\text{mittl.}}$ = ca. 0,6 m/s; **v bei $Q_{\text{max.}}$ = 1,4 m/s**

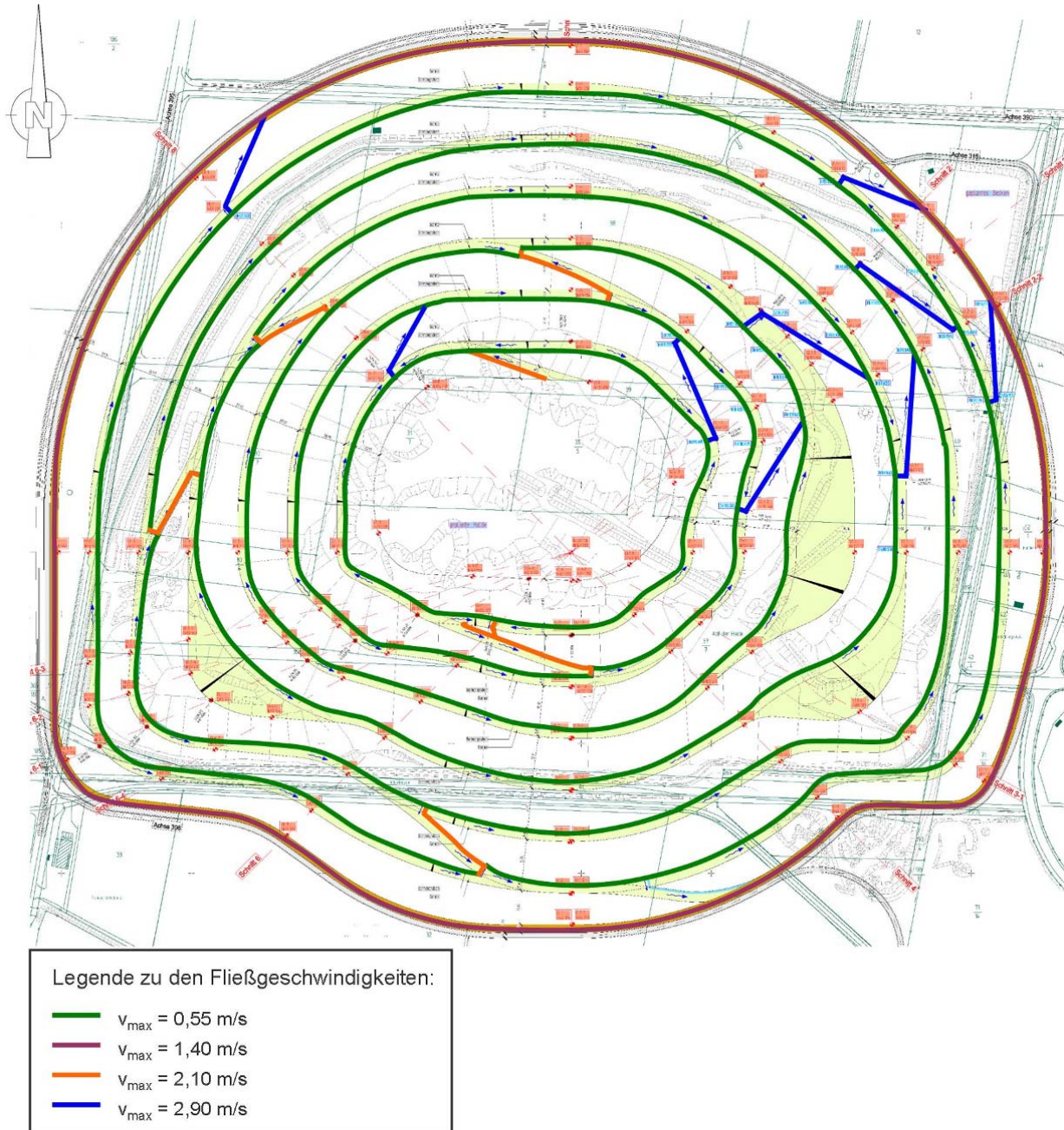
fett und blau: starkregenrelevant → den Modellrechnungen zugrunde gelegt

Zuordnung zu den Grabenabschnitten → s. Folgeseite

Fortsetzung Anlage 7:

Wesentliche Parameter für die Modellierung der Oberflächenabflüsse im Starkregenfall

Zuordnung der Fließgeschwindigkeiten zu den Grabenabschnitten:



Anlage 8:

Berechnung der Laufzeitdifferenzen in den Entwässerungsgräben

Knotenpunkt	Fließgeschwindigkeit [m/s]	Grabenlänge bis zum nächsten Knoten [m]	Laufzeit [min], gerundet auf ganze Minuten
K01	2,90	70	0 (bezogen auf Knotenpunkt K05)
K02	2,90	75	0 (bezogen auf Knotenpunkt K06)
K03	2,10	100	1 (bezogen auf Knotenpunkt K04)
K04	0,55	195	6 (bezogen auf Knotenpunkt K07)
K05	0,55	205	6 (bezogen auf Knotenpunkt K06)
K06	0,55	155	5 (bezogen auf Knotenpunkt K07)
K07	2,90	95	1 (bezogen auf Knotenpunkt K09)
K08	0,55	185	6 (bezogen auf Knotenpunkt K10)
K09	0,55	85	3 (bezogen auf Knotenpunkt K10)
K10	2,90	120	1 (bezogen auf Knotenpunkt K12)
K11	0,55	560	17 (bezogen auf Knotenpunkt K12)
K12	0,55	75	2 (bezogen auf Knotenpunkt K13)
K13	2,90	105	1 (bezogen auf Knotenpunkt K15)
K14	0,55	740	22 (bezogen auf Knotenpunkt K16)
K15	0,55	80	2 (bezogen auf Knotenpunkt K16)
K16	2,90	100	1 (bezogen auf Knotenpunkt K20)
K17	2,90	80	0 (bezogen auf Knotenpunkt K22)
K18	0,55	750	23 (bezogen auf Knotenpunkt K19)
K19	2,90	80	0 (bezogen auf Knotenpunkt K25)
K20	0,55	145	4 (bezogen auf Knotenpunkt K21)
K21	2,90	70	0 (bezogen auf Knotenpunkt K23)
K22	1,40	560	7 (bezogen auf Knotenpunkt K23)
K23	1,40	100	1 (bezogen auf Knotenpunkt K25 = Einlauf RHB)
K24	1,40	620	7 (bezogen auf Knotenpunkt K25 = Einlauf RHB)
K25	1,40	-	0 (Basiswelle, Einlauf RHB)

Anlage 9:

Übersicht über Fehlwerte der modellrelevanten Klimaelemente für die DWD-Station Celle, Reihe 1981 - 2010

Zeitraum	Fehlendes Klimaelement
29.12.2004	Sonnenscheindauer
01.01.2007	Komplettausfall
01.03.2007 – 31.12.2010	Sonnenscheindauer
05.04.2007	Niederschlag
06.04.2007 – 09.04.2007	Komplettausfall
16.07.2007	Temperatur, Luftfeuchte
28.07.2007	Komplettausfall
29.07.2007	Luftfeuchte
04.08.2007	Komplettausfall
05.08.2007	Luftfeuchte, Niederschlag
18.08.2007	Luftfeuchte, Niederschlag
24.08.2007 – 25.08.2007	Luftfeuchte
30.08.2007	Luftfeuchte
31.08.2007 – 01.09.2007	Komplettausfall
02.09.2007	Luftfeuchte
20.10.2007	Luftfeuchte
09.11.2007 – 10.11.2007	Komplettausfall
11.11.2007	Luftfeuchte, Niederschlag
21.12.2007	Niederschlag
22.12.2007 – 02.01.2008	Komplettausfall
05.01.2008	Luftfeuchte, Niederschlag
07.03.2008 – 08.03.2008	Komplettausfall
09.03.2008	Luftfeuchte, Niederschlag
15.03.2008	Komplettausfall
16.03.2008	Luftfeuchte, Niederschlag
20.03.2008	Niederschlag
21.03.2008 – 23.03.2008	Komplettausfall
24.03.2008	Luftfeuchte, Niederschlag
27.03.2008	Niederschlag
25.06.2008	Niederschlag
26.06.2008 – 28.06.2008	Komplettausfall
29.06.2008	Luftfeuchte, Niederschlag
30.06.2008	Niederschlag
03.07.2008	Luftfeuchte
15.07.2008	Luftfeuchte
05.09.2008	Niederschlag
16.11.2008	Luftfeuchte
23.12.2008	Niederschlag
24.12.2008 – 03.01.2009	Komplettausfall
04.01.2009	Luftfeuchte
27.03.2009	Luftfeuchte
09.04.2009	Niederschlag

10.04.2009 – 12.04.2009	Komplettausfall
13.04.2009	Luftfeuchte
19.05.2009	Niederschlag
20.05.2009	Luftfeuchte
01.06.2009	Luftfeuchte
16.10.2009	Komplettausfall
17.10.2009 – 18.10.2009	Luftfeuchte
18.12.2009 – 02.01.2010	Komplettausfall
03.01.2010	Luftfeuchte
01.04.2010	Niederschlag
02.04.2010 – 04.04.2010	Komplettausfall
05.04.2010	Luftfeuchte
29.04.2010	Luftfeuchte
13.05.2010 – 15.05.2010	Komplettausfall
16.05.2010	Luftfeuchte
21.05.2010	Niederschlag
22.05.2010 – 23.05.2010	Komplettausfall
24.05.2010	Luftfeuchte
25.06.2010	Luftfeuchte
30.10.2010	Luftfeuchte
02.12.2010	Luftfeuchte
03.12.2010	Luftfeuchte, Niederschlag
04.12.2010	Niederschlag
06.12.2010 – 07.12.2010	Niederschlag
23.12.2010 – 31.12.2010	Komplettausfall

Insgesamt beträgt die Anzahl fehlender Daten für die einzelnen Klimagrößen:

- Temperatur: 81 Werte (0,7 % bezogen auf den Gesamtdatensatz),
- Luftfeuchte: 114 Werte (1,0 % bezogen auf den Gesamtdatensatz),
- Sonnenscheindauer: 1 101 Werte (10,0 % bezogen auf den Gesamtdatensatz) und
- Niederschlag: 101 Werte (0,9 % bezogen auf den Gesamtdatensatz).

Anlage 10:

Mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung auf die horizontale Ebene (mWh/cm²) und auf diese normierte, aus Stundensummen berechnete Globalstrahlung unterschiedlich exponierter Ebenen für Hamburg-Sasel, 1987 – 1993 (aus BERGER, 1998)

α	β	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
G	hor.	52.3	105.2	209.4	357.7	507.4	459.9	460.7	381.5	264.2	155.8	62.0	34.5	255.0
O	5°	1.000	1.000	0.999	1.002	1.001	0.997	0.998	1.001	0.999	1.002	1.006	1.000	1.000
O	10°	0.999	0.999	0.994	0.999	0.997	0.991	0.993	0.998	0.996	1.000	1.010	1.000	0.996
O	20°	0.993	0.992	0.978	0.986	0.980	0.968	0.972	0.983	0.981	0.992	1.013	1.001	0.980
O	30°	0.982	0.980	0.954	0.963	0.952	0.934	0.940	0.958	0.958	0.976	1.008	0.992	0.954
O	45°	0.955	0.947	0.904	0.910	0.894	0.868	0.878	0.903	0.908	0.935	0.984	0.967	0.900
S	5°	1.109	1.079	1.049	1.030	1.018	1.009	1.012	1.023	1.039	1.072	1.096	1.103	1.030
S	10°	1.214	1.153	1.094	1.055	1.033	1.013	1.018	1.041	1.075	1.139	1.187	1.204	1.057
S	20°	1.406	1.285	1.167	1.090	1.046	1.009	1.020	1.063	1.131	1.256	1.351	1.389	1.094
S	30°	1.570	1.392	1.217	1.103	1.037	0.987	1.001	1.065	1.165	1.346	1.489	1.547	1.110
S	45°	1.754	1.499	1.246	1.083	0.988	0.924	0.942	1.031	1.172	1.426	1.636	1.723	1.095
W	5°	0.999	1.003	1.002	0.995	0.995	0.997	0.997	0.996	0.996	0.996	0.999	1.003	0.997
W	10°	0.997	1.004	1.001	0.987	0.986	0.991	0.990	0.989	0.990	0.989	0.998	1.007	0.990
W	20°	0.990	1.000	0.990	0.961	0.958	0.968	0.965	0.965	0.970	0.970	0.991	1.012	0.969
W	30°	0.978	0.990	0.972	0.928	0.921	0.933	0.930	0.933	0.943	0.945	0.979	1.007	0.938
W	45°	0.949	0.958	0.929	0.867	0.854	0.866	0.865	0.870	0.888	0.897	0.945	0.988	0.880
N	5°	0.889	0.920	0.947	0.965	0.976	0.986	0.984	0.973	0.953	0.923	0.905	0.899	0.965
N	10°	0.781	0.838	0.890	0.926	0.948	0.968	0.963	0.942	0.903	0.843	0.811	0.807	0.926
N	20°	0.666	0.680	0.766	0.835	0.877	0.919	0.907	0.866	0.793	0.677	0.683	0.743	0.841
N	30°	0.632	0.608	0.636	0.731	0.790	0.853	0.836	0.776	0.671	0.561	0.651	0.707	0.753
N	45°	0.575	0.560	0.538	0.558	0.633	0.729	0.703	0.620	0.524	0.506	0.593	0.643	0.621

Anlage 11:

Herleitung repräsentativer Nass- und Trockenjahre

In der Tabelle A 11.1 sind die entsprechenden Primärdaten (messfehlerkorrigierte Niederschläge) für die extremwertstatistischen Untersuchungen aufgeführt.

Tabelle A 11.1: Primärdaten für die statistischen Untersuchungen zu Nass- und Trockenjahren (alle Niederschlagswerte messfehlerkorrigiert, Jahre = hydrologische Jahre)

Jahr	P [mm/a]
1981	860,9
1982	616,3
1983	712,5
1984	714,6
1985	539,2
1986	684,1
1987	655,1
1988	727,6
1989	575,0
1990	653,5
1991	514,9
1992	704,8
1993	841,8
1994	827,7
1995	656,9
1996	561,7
1997	635,4
1998	804,2
1999	678,2
2000	694,3
2001	766,4
2002	982,7
2003	486,7
2004	764,7
2005	621,1
2006	618,4
2007	985,7
2008	661,9
2009	628,4
2010	646,9

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Die Methodik der Bestimmung der Nass- bzw. Trockenjahre mit Wiederkehrintervallen von 5 bzw. 50 Jahren soll zunächst für die Nassjahre abgeleitet werden. Die Tabelle A 11.2 enthält die der Größe nach geordneten korrigierten Niederschlagswerte.

Tabelle A 11.2: Daten für die statistischen Untersuchungen zu Nass- und Trockenjahren

Nassjahre			Trockenjahre		
Ordnungszahl Nassjahre	Jahres- niederschlag	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	Ordnungszahl Trockenjahre	Jahres- niederschlag	Überschreitungs- wahrscheinlichkeit
m []	P [mm/a]	P _U [%]	m []	P [mm/a]	P _U [%]
1	486,7	3,2	1	985,7	3,2
2	514,9	6,5	2	982,7	6,5
3	539,2	9,7	3	860,9	9,7
4	561,7	12,9	4	841,8	12,9
5	575,0	16,1	5	827,7	16,1
6	616,3	19,4	6	804,2	19,4
7	618,4	22,6	7	766,4	22,6
8	621,1	25,8	8	764,7	25,8
9	628,4	29,0	9	727,6	29,0
10	635,4	32,3	10	714,6	32,3
11	646,9	35,5	11	712,5	35,5
12	653,5	38,7	12	704,8	38,7
13	655,1	41,9	13	694,3	41,9
14	656,9	45,2	14	684,1	45,2
15	661,9	48,4	15	678,2	48,4
16	678,2	51,6	16	661,9	51,6
17	684,1	54,8	17	656,9	54,8
18	694,3	58,1	18	655,1	58,1
19	704,8	61,3	19	653,5	61,3
20	712,5	64,5	20	646,9	64,5
21	714,6	67,7	21	635,4	67,7
22	727,6	71,0	22	628,4	71,0
23	764,7	74,2	23	621,1	74,2
24	766,4	77,4	24	618,4	77,4
25	804,2	80,6	25	616,3	80,6
26	827,7	83,9	26	575,0	83,9
27	841,8	87,1	27	561,7	87,1
28	860,9	90,3	28	539,2	90,3
29	982,7	93,5	29	514,9	93,5
30	985,7	96,8	30	486,7	96,8
P = 694,1 mm/a s(P) = 120,9 mm/a			P = 694,1 mm/a s(P) = 120,9 mm/a		

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Die jedem Jahresniederschlag zuordenbare Unterschreitungswahrscheinlichkeit ergibt sich aus:

$$P_U = m / (n + 1) * 100 \% \quad (A\ 11.1)$$

mit: P_U - Unterschreitungswahrscheinlichkeit [%]
 m - Ordnungszahl
 n - Anzahl der Werte insgesamt [] (hier: $n = 60$)

Wie in der Hydrologie üblich, wird von $n + 1$ und nicht nur von n Werten ausgegangen, weil angenommen werden kann, dass die größte Jahresniederschlagsmenge der Beobachtungsreihe nicht die größtmögliche denkbare Jahresmenge ist, sondern es noch mindestens ein größeres Ereignis gibt (ansonsten würde ja das größte Ereignis ein P_U von 100 % erhalten).

Zwischen der Unterschreitungswahrscheinlichkeit P_U und dem Wiederkehrintervall T (sog. Jährlichkeit) besteht ein unmittelbarer Zusammenhang:

$$T = 1 / [1 - (P_U / 100 \%)] \quad (A\ 11.2)$$

mit: T - Wiederkehrintervall [a]
 P_U - Unterschreitungswahrscheinlichkeit [%]

Die Jahresniederschlagsmengen P mit den dazugehörigen P_U sind im Folgenden in einen Wahrscheinlichkeits-Netzdruck eingetragen worden (s. Abbildung A 11.1). Gewählt wurde die Extremwertverteilung Typ I (EI). Die Ermittlung der Ausgleichsgeraden erfolgte analytisch mittels Momentenmethode:

$$P(T) = P + s(P) * k(T) \quad (A\ 11.3)$$

mit: $P(T)$ - Jahresniederschlagssumme [mm/a] mit dem Wiederkehrintervall T [a]
 P - Mittelwert aller Jahresniederschläge [mm/a]
 $s(P)$ - Standardabweichung aller Jahresniederschläge [mm/a]
 $k(T)$ - $k(T)$ -Beziehung

Für die $k(T)$ -Beziehung in Gleichung A 11.3 gilt:

$$k(T) = - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[\gamma + \ln \ln \frac{T}{T-1} \right] \quad (A\ 11.4)$$

mit: $k(T)$ - $k(T)$ -Beziehung
 T - Wiederkehrintervall [a]
 γ - EULER'sche Konstante ($\gamma = 0,5772$)

Für die vorgegebene Datenreihe erhält man (vgl. auch Tabelle A 11.2):

$$P = 694 \text{ mm/a}, s(P) = 121 \text{ mm/a}, k(T) = - 0,7797 \{0,5772 + \ln \ln [T / (T - 1)]\}$$

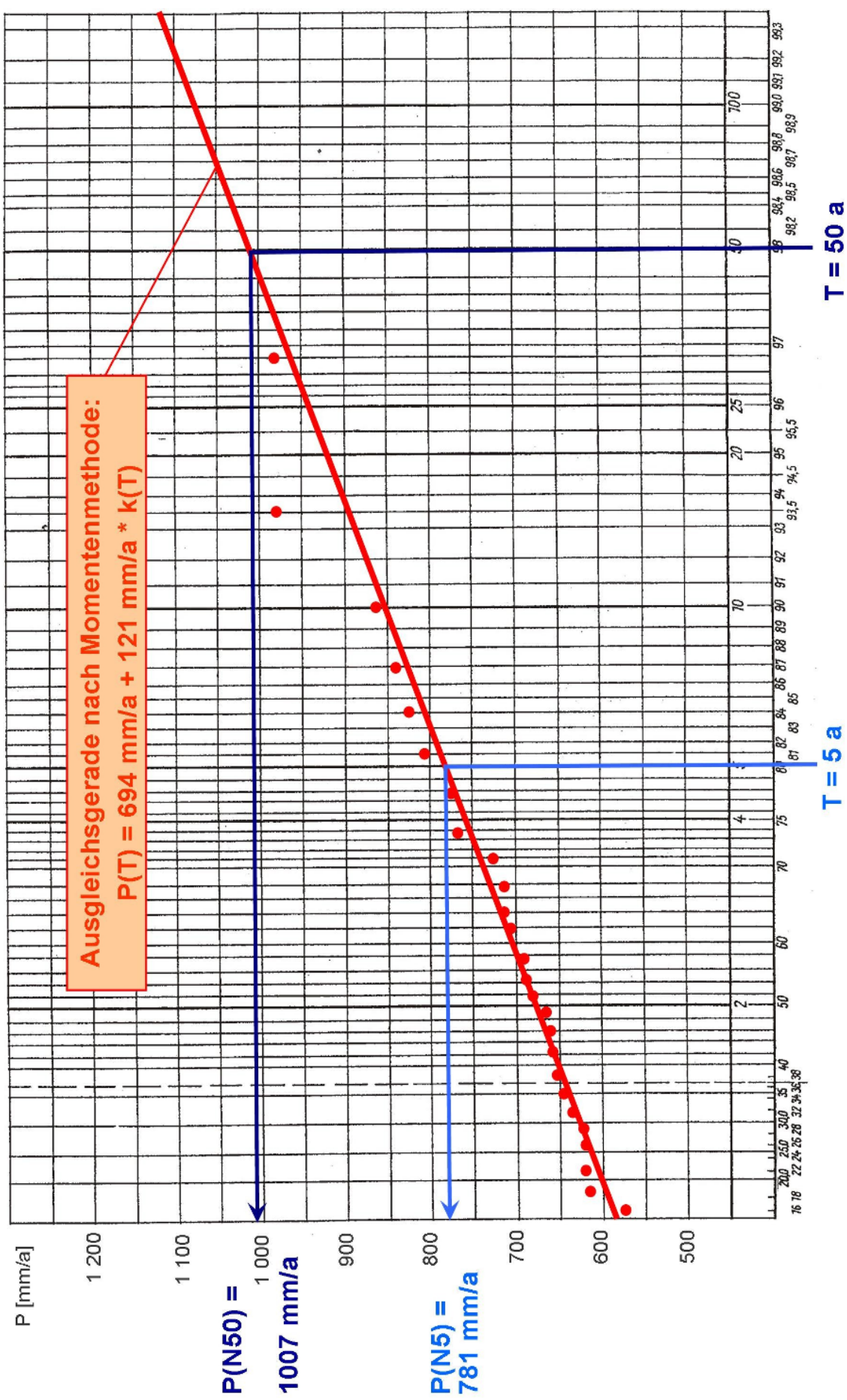


Abbildung A 11.1: Jahresniederschlagsmengen und deren Wahrscheinlichkeiten im Netzdruck der EI (Nassjahre)

Die Geradengleichung für die Nassjahre ergibt sich folglich zu:

$$P(T) = 694 \text{ mm/a} + 121 \text{ mm/a} * k(T) \quad (\text{A 11.5})$$

Die Jahresniederschlagsmengen der Nassjahre mit Wiederkehrintervallen von 5 bzw. 50 Jahren sind demnach:

$$P(N5) = 694 \text{ mm/a} + 121 \text{ mm/a} * 0,719 = \underline{781 \text{ mm/a}}$$

$$P(N50) = 694 \text{ mm/a} + 121 \text{ mm/a} * 2,592 = \underline{1\,007 \text{ mm/a}}$$

Als normales Nassjahr (Wiederkehrintervall $T = 5 \text{ a}$) kann das Jahr 1998 (Jahresniederschlagssumme: 804 mm/a, vgl. Tabelle A 11.1) angesehen werden. Die beiden nassesten Jahre der Beobachtungsreihe (das Jahr 2002 mit 983 mm Niederschlag und das Jahr 2007 mit 986 mm Niederschlag) entsprechen in guter Näherung Nassjahren mit einem Wiederkehrintervall von 50 Jahren (extreme Nassjahre). Wegen der höheren Vorsättigung infolge der überdurchschnittlichen Niederschläge von August bis Dezember 2001 wurde das Jahr 2002 als extremes Nassjahr ausgewählt.

Für die Quantifizierung der Trockenjahre können die Gleichungen A 11.1 und A 11.2 analog verwendet werden, wenn statt der Unterschreitungswahrscheinlichkeit P_U die Überschreitungswahrscheinlichkeit $P_{\bar{U}}$ verwendet wird. Die Jahresniederschlagsmengen mit den dazugehörigen $P_{\bar{U}}$ sind wiederum in den Netzdruck für die Extremwertverteilung Typ I (EI) eingetragen worden (s. Abbildung A 11.2). Im Unterschied zu den Nassjahren ist für die Daten der Trockenjahre kein linearer Ausgleich möglich (vgl. Abbildung A 11.2). Nach freier Anpassung ergeben sich für Trockenjahre ($T = 5$ bzw. 50 Jahre) die folgenden Jahresniederschlagsmengen:

$$P(T5) = \underline{590 \text{ mm/a}}$$

$$P(T50) = \underline{470 \text{ mm/a}}$$

Beim Vergleich der ermittelten Werte $P(T)$ mit den in der Tabelle A 11.1 aufgeführten Jahresniederschlägen lässt sich ableiten, dass das Jahr 1989 mit einem Jahresniederschlag von 575 mm in etwa einem Trockenjahr mit einem Wiederkehrintervall von 5 Jahren (normales Trockenjahr) entspricht.

Das trockenste Jahr der Beobachtungsreihe (2003) mit einer Jahresniederschlagsmenge von 487 entspricht in guter Näherung einem Trockenjahr mit einem Wiederkehrintervall von 50 Jahren (extremes Trockenjahr).

Bezüglich der Modellergebnisse zum Schwankungsverhalten des langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten der Oberflächensicherung für die Halde Niedersachsen sind die Jahre 1998 und 2002 (Nassjahre) sowie 1989 und 2003 (Trockenjahre) mit besonderem Interesse betrachtet worden.

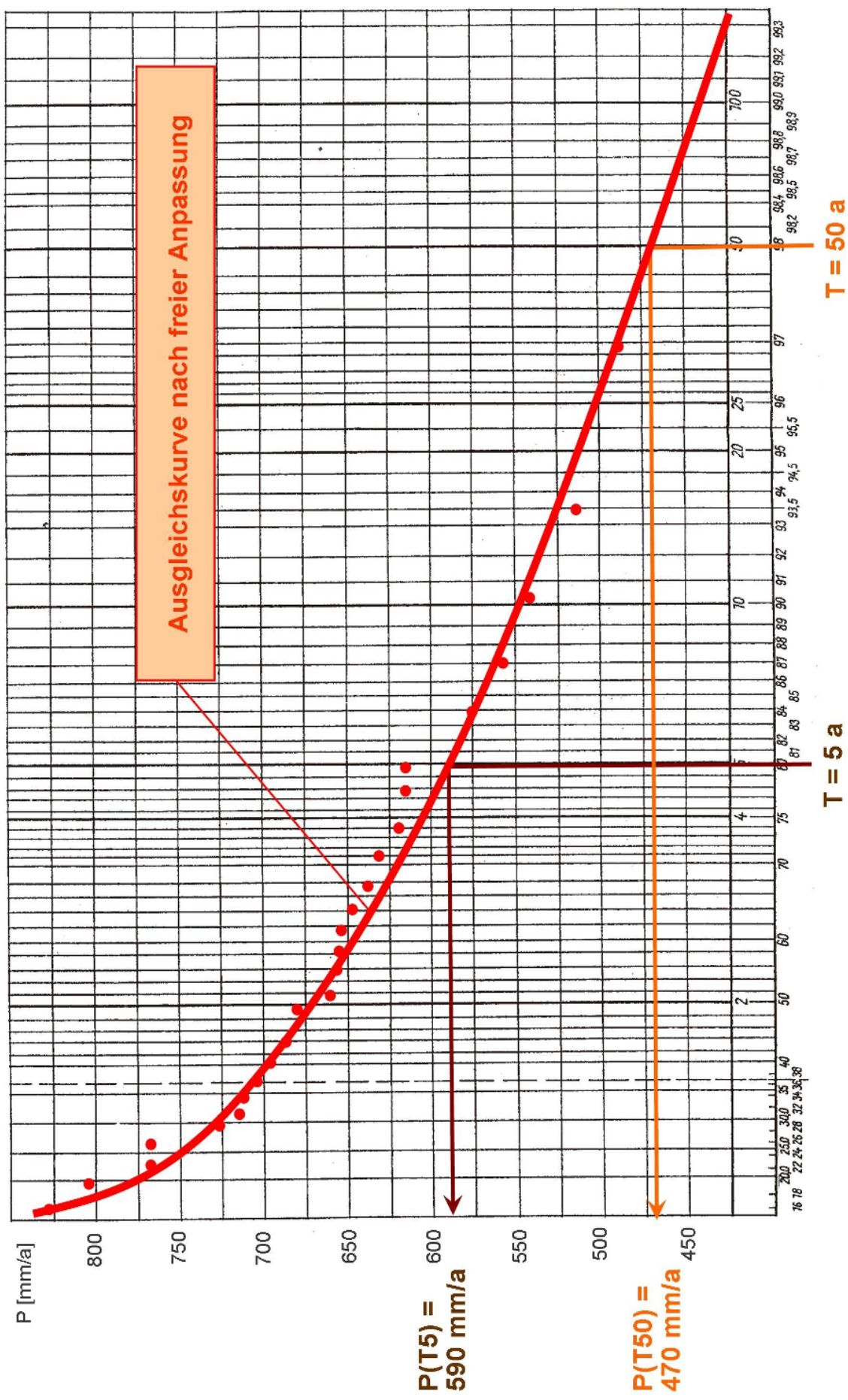


Abbildung A 11.2: Jahresniederschlagsmengen und deren Wahrscheinlichkeiten im Netzdruck der EI (Trockenjahre)

Anlage 12:

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 für Wathlingen

Zeitspanne : Januar - Dezember

Rasterfeld : Spalte: 36 Zeile: 35

T	0,5		1,0		2,0		5,0		10,0		20,0		50,0		100,0	
D	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN	hN	rN	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	15,8	29,3	20,3	37,6	26,2	48,5	30,6	56,7	35,1	65,0	41,0	75,9	45,4	84,1
2,0 h	12,4	17,2	16,9	23,4	21,3	29,6	27,2	37,8	31,7	44,0	36,2	50,2	42,1	58,4	46,5	64,6
3,0 h	14,0	12,9	18,4	17,1	22,9	21,2	28,8	26,7	33,3	30,8	37,8	35,0	43,7	40,5	48,2	44,6
4,0 h	15,2	10,5	19,6	13,6	24,1	16,8	30,1	20,9	34,5	24,0	39,0	27,1	44,9	31,2	49,4	34,3
6,0 h	17,0	7,9	21,5	9,9	26,0	12,0	31,9	14,8	36,4	16,9	40,9	18,9	46,8	21,7	51,3	23,8
9,0 h	19,0	5,9	23,5	7,2	28,0	8,6	33,9	10,5	38,4	11,9	42,9	13,3	48,9	15,1	53,4	16,5
12,0 h	20,5	4,7	25,0	5,8	29,5	6,8	35,5	8,2	40,0	9,3	44,5	10,3	50,5	11,7	55,0	12,7
18,0 h	21,2	3,3	26,3	4,1	31,3	4,8	38,0	5,9	43,1	6,7	48,2	7,4	54,9	8,5	60,0	9,3
24,0 h	21,9	2,5	27,5	3,2	33,1	3,8	40,6	4,7	46,3	5,4	51,9	6,0	59,4	6,9	65,0	7,5
48,0 h	31,1	1,8	37,5	2,2	43,9	2,5	52,4	3,0	58,8	3,4	65,1	3,8	73,6	4,3	80,0	4,6
72,0 h	38,2	1,5	45,0	1,7	51,8	2,0	60,7	2,3	67,5	2,6	74,3	2,9	83,2	3,2	90,0	3,5

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	25,00	27,50	37,50	45,00
100 a	27,00	44,00	55,00	65,00	80,00	90,00

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 $\pm 10 \%$,

bei 5 a < T <= 50 a ein Toleranzbetrag $\pm 15 \%$,

bei 50 a < T <= 100 a ein Toleranzbetrag $\pm 20 \%$,

Berücksichtigung finden.

Anlage 13:

**Langjährig mittlere Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 1
(Beginn der Abdeckung)**

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PE	694,1	322,9	174,5	180,7	16,0	+0,0
BöE1	694,1	391,8	72,4	213,8	16,1	+0,0
BöE2	694,1	392,1	70,8	214,2	17,0	+0,0
BöE3	694,1	392,0	70,8	218,4	12,8	+0,0
BöE4	694,1	323,6	170,0	187,7	12,8	+0,0
BöE5	694,1	320,9	182,9	168,2	12,8	+0,0
BöE6	694,1	321,0	182,3	174,9	15,9	+0,0
BE	694,1	323,0	174,4	181,2	15,4	+0,0
Mittel abgedeckte Halde	694,1	349,4	135,5	193,2	14,8	+0,0

Anlage 14:

Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung) für Nass- und Trockenjahre

a) normales Nassjahr ($T = 5$ a):

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PE	804,2	377,0	208,3	165,2	16,0	+ 37,7
BöE1	804,2	429,1	94,7	164,1	16,0	+100,3
BöE2	804,2	429,5	92,7	116,6	16,5	+149,0
BöE3	804,2	429,2	92,9	165,6	12,8	+103,7
BöE4	804,2	378,8	202,6	151,5	12,8	+ 58,6
BöE5	804,2	376,8	157,1	140,5	12,7	+ 56,6
BöE6	804,2	375,4	217,2	139,3	16,0	+ 56,3
BE	804,2	376,8	208,4	145,8	15,2	+ 58,0
Mittel abgedeckte Halde	804,2	397,3	157,0	147,3	14,6	+ 80,2

b) extremes Nassjahr ($T = 50$ a):

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PE	982,7	361,3	357,9	239,5	16,2	+ 7,8
BöE1	982,7	429,1	203,9	231,4	16,2	+102,2
BöE2	982,7	429,5	200,8	217,6	16,8	+118,0
BöE3	982,7	429,2	201,1	234,0	12,8	+105,6
BöE4	982,7	370,0	348,6	200,0	12,8	+ 59,3
BöE5	982,7	360,5	369,6	178,6	12,8	+ 61,3
BöE6	982,7	361,1	368,5	184,6	15,9	+ 52,6
BE	982,7	361,1	358,0	192,7	15,4	+ 55,5
Mittel abgedeckte Halde	982,7	388,6	298,5	208,4	14,8	+ 73,6

c) normales Trockenjahr ($T = 5$ a):

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PE	575,0	305,5	138,9	138,1	16,0	- 23,5
BöE1	575,0	385,9	47,4	212,9	16,3	- 87,3
BöE2	575,0	388,7	45,8	209,8	17,0	- 82,2
BöE3	575,0	388,4	45,9	222,6	12,8	- 94,7
BöE4	575,0	306,6	136,6	205,8	12,8	- 86,8
BöE5	575,0	229,9	132,4	217,9	12,8	-106,4
BöE6	575,0	304,2	145,3	187,0	16,1	- 77,7
BE	575,0	305,4	138,9	191,4	15,8	- 76,5
Mittel abgedeckte Halde	575,0	327,5	102,3	201,3	14,9	- 82,0

Symbolik → s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 14:

Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung) für Nass- und Trockenjahre

d) extremes Trockenjahr ($T = 50$ a):

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PE	486,7	233,8	126,9	102,6	16,0	+ 36,6
BöE1	486,7	331,9	56,8	247,2	16,2	- 97,9
BöE2	486,7	330,8	60,2	253,7	17,2	-109,5
BöE3	486,7	332,1	56,0	307,2	12,8	-222,1
BöE4	486,7	233,7	124,3	230,6	12,8	-114,7
BöE5	486,7	229,9	132,4	181,7	12,7	- 70,0
BöE6	486,7	230,2	132,0	197,5	16,2	- 62,8
BE	486,7	233,7	126,9	199,8	15,9	- 60,3
Mittel abgedeckte Halde	486,7	270,8	100,9	220,8	14,9	- 93,9

e) Minima und Maxima der Restdurchsickerungsmengen RU:

Hydrotop	RU _{MIN.} [mm/a]	RU _{MAX.} [mm/a]
PE	15,6	16,2
BöE1	15,7	16,4
BöE2	16,5	17,3
BöE3	12,8	12,9
BöE4	12,7	12,8
BöE5	12,7	12,8
BöE6	15,2	16,2
BE	14,9	15,9
Mittel abgedeckte Halde	14,4	15,0

Symbolik → s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 15: **Langjährig mittlere Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung)**

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PN	694,1	492,3	7,1	178,2	16,3	+0,0
PW	694,1	377,1	63,0	237,3	16,6	+0,0
PE	694,1	563,7	5,7	109,1	15,5	+0,0
PS	694,1	330,7	168,1	179,5	15,8	+0,0
BöN1	694,1	445,1	8,4	224,2	16,3	+0,0
BöN2	694,1	444,8	8,4	223,3	17,5	+0,0
BöN3	694,1	443,9	8,4	228,8	12,9	+0,0
BöN4	694,1	445,1	8,4	227,7	12,9	+0,0
BöN5	694,1	443,9	8,4	228,9	12,9	+0,0
BöN6	694,1	447,8	8,4	221,3	16,5	+0,0
BöW1	694,1	394,1	70,3	213,4	16,3	+0,0
BöW2	694,1	394,2	69,7	212,7	17,4	+0,0
BöW3	694,1	394,0	70,2	212,5	17,4	+0,0
BöW4	694,1	394,2	70,0	217,0	12,8	+0,0
BöW5	694,1	393,8	70,2	217,2	12,8	+0,0
BöW6	694,1	394,5	69,2	213,8	16,5	+0,0
BöE1	694,1	561,3	5,7	111,5	15,6	+0,0
BöE2	694,1	562,7	5,7	109,5	16,1	+0,0
BöE3	694,1	561,3	5,7	114,3	12,7	+0,0
BöE4	694,1	564,3	5,5	111,9	12,7	+1,4
BöE5	694,1	561,3	5,7	114,4	12,7	+0,0
BöE6	694,1	563,2	5,7	109,8	15,4	+0,0
BöS1	694,1	337,9	180,4	160,0	15,7	+0,0
BöS2	694,1	337,1	178,6	160,5	16,6	+0,0
BöS3	694,1	338,7	178,3	160,8	16,3	+0,0
BöS4	694,1	336,7	178,3	166,3	12,7	+0,1
BöS5	694,1	338,9	177,7	164,7	12,7	+0,0
BöS6	694,1	335,3	178,0	165,0	15,6	+0,0
BE	694,1	392,8	65,2	220,2	15,8	+0,0
Mittel Schicht- konfiguration A	694,1	413,8	57,0	207,6	15,8	+0,0
Mittel Schicht- konfiguration B	694,1	453,2	42,5	185,6	12,8	+0,2
Mittel Schicht- konfiguration C	694,1	421,1	72,3	183,5	17,0	+0,0
Mittel Schicht- konfiguration D	694,1	438,9	56,2	183,0	16,0	+0,0
Mittel Gesamthalde	694,1	430,8	55,5	192,3	15,4	+0,0

Symbolik → s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

RU bezeichnet die Restdurchsickerung an der Basis der Abdeckung,
nicht an der Basis der Halde

Anlage 16: **Langjährig mittlere Wasserhaushaltsbilanzen für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung)**

Hydrotop	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RH [mm/a]	RU [mm/a]	DSB [mm/a]
PN	694,1	537,8	6,1	134,1	16,0	+0,0
PW	694,1	532,6	6,2	139,3	16,0	+0,0
PE	694,1	563,7	5,7	109,1	15,5	+0,0
PS	694,1	607,1	4,5	67,4	15,1	+0,0
BöN1	694,1	484,6	6,9	186,3	16,2	+0,0
BöN2	694,1	484,2	6,9	185,7	17,3	+0,0
BöN3	694,1	482,9	6,9	191,4	12,8	+0,0
BöN4	694,1	484,6	6,9	189,7	12,8	+0,0
BöN5	694,1	481,7	7,0	191,9	12,8	+0,6
BöN6	694,1	489,3	6,8	181,6	16,3	+0,0
BöW1	694,1	566,2	5,2	106,9	15,7	+0,0
BöW2	694,1	566,1	5,2	106,3	16,4	+0,0
BöW3	694,1	565,6	5,2	106,7	16,4	+0,0
BöW4	694,1	566,1	5,2	110,0	12,7	+0,1
BöW5	694,1	565,3	5,2	110,8	12,7	+0,1
BöW6	694,1	566,1	5,2	107,1	15,7	+0,0
BöE1	694,1	561,3	5,7	111,5	15,6	+0,0
BöE2	694,1	562,7	5,7	109,5	16,1	+0,0
BöE3	694,1	561,3	5,7	114,3	12,7	+0,0
BöE4	694,1	566,1	5,2	109,9	12,7	+0,0
BöE5	694,1	565,3	5,2	110,8	12,7	+0,0
BöE6	694,1	563,2	5,7	109,8	15,4	+0,0
BöS1	694,1	641,8	3,8	33,3	15,1	+0,0
BöS2	694,1	640,3	3,8	34,4	15,4	+0,0
BöS3	694,1	642,2	3,8	32,6	15,4	+0,0
BöS4	694,1	638,1	3,9	39,6	12,4	+0,0
BöS5	694,1	644,1	3,0	34,6	12,4	+0,0
BöS6	694,1	634,5	3,9	40,8	14,8	+0,0
BE	694,1	512,7	6,6	159,5	15,2	+0,0
Mittel Schicht- konfiguration A	694,1	527,8	6,3	144,4	15,5	+0,0
Mittel Schicht- konfiguration B	694,1	544,3	5,7	131,2	12,7	+0,1
Mittel Schicht- konfiguration C	694,1	567,0	5,3	105,4	16,3	+0,0
Mittel Schicht- konfiguration D	694,1	554,3	5,6	118,5	15,7	+0,0
Mittel Gesamthalde	694,1	543,8	5,9	129,4	15,0	+0,0

Symbolik → s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

RU bezeichnet die Restdurchsickerung an der Basis der Abdeckung,
nicht an der Basis der Halde

Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

a) Zeitschnitt 1, Bewuchszustand 2, Hydrotop BöE3 (Ost, 53 % Neigung):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	23.3	13	9	98.5	0	0	0	0
1982	22.2	3	10	92.3	0	0	0	0
1983	21.4	1	10	87.8	0	0	0	0
1984	22.5	5	9	94.2	0	0	0	0
1985	22.3	12	9	93.0	0	0	0	0
1986	22.3	18	8	92.9	0	0	0	0
1987	22.5	3	9	94.2	0	0	0	0
1988	22.5	11	9	94.3	0	0	0	0
1989	21.3	24	8	87.2	0	0	0	0
1990	21.5	30	8	88.6	0	0	0	0
1991	22.5	14	9	94.0	0	0	0	0
1992	21.7	3	10	89.4	0	0	0	0
1993	22.9	13	7	96.3	0	0	0	0
1994	21.8	9	8	90.3	0	0	0	0
1995	21.1	24	8	86.4	0	0	0	0
1996	22.1	9	9	91.5	0	0	0	0
1997	22.6	28	9	94.5	0	0	0	0
1998	22.2	20	8	92.1	0	0	0	0
1999	21.5	19	9	88.1	0	0	0	0
2000	22.9	2	7	96.2	0	0	0	0
2001	21.9	1	9	90.9	0	0	0	0
2002	23.0	2	10	97.1	0	0	0	0
2003	20.0	27	8	79.9	0	0	0	0
2004	22.4	20	8	93.7	0	0	0	0
2005	22.0	13	9	91.2	0	0	0	0
2006	22.1	13	8	91.8	0	0	0	0
2007	23.3	5	5	98.8	0	0	0	0
2008	21.6	21	9	88.8	0	0	0	0
2009	20.3	28	9	81.5	0	0	0	0
2010	22.1	14	8	91.7	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	2685	48.64	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	1653	29.95	51.36
> 90 ... 95 % nFK:	906	16.41	21.41
> 85 ... 90 % nFK:	182	3.30	5.00
> 80 ... 85 % nFK:	93	1.68	1.70
> 75 ... 80 % nFK:	1	0.02	0.02
> 70 ... 75 % nFK:	0	0.00	0.00
> 65 ... 70 % nFK:	0	0.00	0.00
> 60 ... 65 % nFK:	0	0.00	0.00
> 55 ... 60 % nFK:	0	0.00	0.00
> 50 ... 55 % nFK:	0	0.00	0.00
> 45 ... 50 % nFK:	0	0.00	0.00
> 40 ... 45 % nFK:	0	0.00	0.00
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

b) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 2, Hydrotop BöW5 (West, Neigung: 62 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	23.2	13	9	98.3	0	0	0	0
1982	22.2	3	10	92.1	0	0	0	0
1983	21.3	1	10	87.5	0	0	0	0
1984	22.5	5	9	94.0	0	0	0	0
1985	22.3	12	9	92.8	0	0	0	0
1986	22.3	18	8	92.7	0	0	0	0
1987	22.5	3	9	94.3	0	0	0	0
1988	22.5	11	9	93.9	0	0	0	0
1989	21.3	24	8	87.1	0	0	0	0
1990	21.5	30	8	88.3	0	0	0	0
1991	22.5	14	9	93.8	0	0	0	0
1992	21.6	11	8	89.1	0	0	0	0
1993	22.9	13	7	96.2	0	0	0	0
1994	21.8	9	8	89.9	0	0	0	0
1995	21.1	24	8	86.0	0	0	0	0
1996	22.0	9	9	91.3	0	0	0	0
1997	22.6	28	9	94.5	0	0	0	0
1998	22.1	20	8	91.8	0	0	0	0
1999	21.4	19	9	87.8	0	0	0	0
2000	22.8	2	7	96.0	0	0	0	0
2001	21.9	1	9	90.5	0	0	0	0
2002	23.0	2	10	97.0	0	0	0	0
2003	20.0	27	8	79.8	0	0	0	0
2004	22.4	20	8	93.4	0	0	0	0
2005	21.9	13	9	90.9	0	0	0	0
2006	22.1	13	8	91.5	0	0	0	0
2007	23.3	5	5	98.8	0	0	0	0
2008	21.5	21	9	88.6	0	0	0	0
2009	20.2	28	9	81.2	0	0	0	0
2010	22.0	14	8	91.4	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	2620	47.46	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	1663	30.13	52.54
> 90 ... 95 % nFK:	932	16.88	22.41
> 85 ... 90 % nFK:	208	3.77	5.53
> 80 ... 85 % nFK:	95	1.72	1.76
> 75 ... 80 % nFK:	2	0.04	0.04
> 70 ... 75 % nFK:	0	0.00	0.00
> 65 ... 70 % nFK:	0	0.00	0.00
> 60 ... 65 % nFK:	0	0.00	0.00
> 55 ... 60 % nFK:	0	0.00	0.00
> 50 ... 55 % nFK:	0	0.00	0.00
> 45 ... 50 % nFK:	0	0.00	0.00
> 40 ... 45 % nFK:	0	0.00	0.00
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

c) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 2, Hydrotop BöW6 (West, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	23.2	13	9	98.3	0	0	0	0
1982	22.1	3	10	92.0	0	0	0	0
1983	21.3	1	10	87.5	0	0	0	0
1984	22.5	5	9	93.9	0	0	0	0
1985	22.3	12	9	92.7	0	0	0	0
1986	22.2	18	8	92.6	0	0	0	0
1987	22.5	3	9	94.2	0	0	0	0
1988	22.5	11	9	94.0	0	0	0	0
1989	21.2	24	8	86.9	0	0	0	0
1990	21.5	30	8	88.2	0	0	0	0
1991	22.4	14	9	93.7	0	0	0	0
1992	21.6	3	10	88.9	0	0	0	0
1993	22.9	13	7	96.1	0	0	0	0
1994	21.8	9	8	89.9	0	0	0	0
1995	21.1	24	8	85.9	0	0	0	0
1996	22.0	9	9	91.2	0	0	0	0
1997	22.6	28	9	94.5	0	0	0	0
1998	22.1	20	8	91.8	0	0	0	0
1999	21.4	19	9	87.6	0	0	0	0
2000	22.8	2	7	96.0	0	0	0	0
2001	21.8	1	9	89.8	0	0	0	0
2002	23.0	2	10	97.0	0	0	0	0
2003	20.0	27	8	79.7	0	0	0	0
2004	22.4	20	8	93.4	0	0	0	0
2005	21.9	13	9	90.8	0	0	0	0
2006	22.0	13	8	91.5	0	0	0	0
2007	23.3	5	5	98.8	0	0	0	0
2008	21.5	21	9	88.6	0	0	0	0
2009	20.2	28	9	81.1	0	0	0	0
2010	22.0	14	8	91.3	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	2602	47.14	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	1671	30.27	52.86
> 90 ... 95 % nFK:	928	16.81	22.59
> 85 ... 90 % nFK:	222	4.02	5.78
> 80 ... 85 % nFK:	95	1.72	1.76
> 75 ... 80 % nFK:	2	0.04	0.04
> 70 ... 75 % nFK:	0	0.00	0.00
> 65 ... 70 % nFK:	0	0.00	0.00
> 60 ... 65 % nFK:	0	0.00	0.00
> 55 ... 60 % nFK:	0	0.00	0.00
> 50 ... 55 % nFK:	0	0.00	0.00
> 45 ... 50 % nFK:	0	0.00	0.00
> 40 ... 45 % nFK:	0	0.00	0.00
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

d) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 3, Hydrotop Bön5 (Nord, Neigung: 61 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.9	17	8	96.3	0	0	0	0
1982	19.8	3	10	78.7	0	0	0	0
1983	18.0	1	10	68.2	0	0	0	0
1984	21.4	5	9	87.5	0	0	0	0
1985	21.0	12	9	85.4	0	0	0	0
1986	20.2	18	8	80.9	0	0	0	0
1987	20.4	3	9	82.2	0	0	0	0
1988	21.4	12	9	88.0	0	0	0	0
1989	18.4	24	8	70.8	0	0	0	0
1990	18.5	30	8	71.3	0	0	0	0
1991	20.1	14	9	80.4	0	0	0	0
1992	17.7	4	10	66.6	0	0	0	0
1993	21.0	13	7	85.8	0	0	0	0
1994	18.7	9	8	72.3	0	0	0	0
1995	16.4	3	9	59.4	0	0	0	0
1996	18.6	9	9	71.7	0	0	0	0
1997	22.0	28	9	91.4	0	0	0	0
1998	21.3	20	8	87.1	0	0	0	0
1999	17.8	19	9	67.6	0	0	0	0
2000	20.8	2	7	84.2	0	0	0	0
2001	19.8	1	9	78.9	0	0	0	0
2002	23.3	2	10	98.5	0	0	0	0
2003	14.8	27	8	50.4	0	0	0	0
2004	21.6	20	8	89.1	0	0	0	0
2005	20.2	13	9	81.0	0	0	0	0
2006	20.1	3	10	80.3	0	0	0	0
2007	23.0	20	7	97.0	0	0	0	0
2008	18.6	22	9	71.9	0	0	0	0
2009	17.2	28	9	64.2	0	0	0	0
2010	18.3	10	8	70.0	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1786	32.36	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	781	14.15	67.64
> 90 ... 95 % nFK:	744	13.48	53.50
> 85 ... 90 % nFK:	640	11.59	40.02
> 80 ... 85 % nFK:	628	11.38	28.42
> 75 ... 80 % nFK:	384	6.96	17.05
> 70 ... 75 % nFK:	252	4.57	10.09
> 65 ... 70 % nFK:	207	3.75	5.53
> 60 ... 65 % nFK:	61	1.11	1.78
> 55 ... 60 % nFK:	11	0.20	0.67
> 50 ... 55 % nFK:	26	0.47	0.47
> 45 ... 50 % nFK:	0	0.00	0.00
> 40 ... 45 % nFK:	0	0.00	0.00
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

e) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 3, Hydrotop BÖN6 (Nord, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.8	17	8	95.9	0	0	0	0
1982	19.7	3	10	77.9	0	0	0	0
1983	17.6	1	10	66.0	0	0	0	0
1984	21.3	5	9	87.1	0	0	0	0
1985	21.1	12	9	86.4	0	0	0	0
1986	20.0	18	8	79.8	0	0	0	0
1987	20.2	3	9	80.8	0	0	0	0
1988	21.4	12	9	87.8	0	0	0	0
1989	18.1	24	8	69.3	0	0	0	0
1990	18.3	30	8	70.2	0	0	0	0
1991	20.1	14	9	80.2	0	0	0	0
1992	17.3	3	10	64.4	0	0	0	0
1993	21.0	13	7	85.3	0	0	0	0
1994	18.5	9	8	71.6	0	0	0	0
1995	16.3	3	9	58.8	0	0	0	0
1996	18.4	9	9	70.7	0	0	0	0
1997	22.0	28	9	91.0	0	0	0	0
1998	21.2	20	8	86.5	0	0	0	0
1999	17.8	19	9	67.2	0	0	0	0
2000	20.6	2	7	83.3	0	0	0	0
2001	19.7	1	9	77.9	0	0	0	0
2002	23.2	2	10	98.1	0	0	0	0
2003	14.8	27	8	50.4	0	0	0	0
2004	21.5	20	8	88.3	0	0	0	0
2005	20.0	13	9	80.0	0	0	0	0
2006	19.9	22	10	79.2	0	0	0	0
2007	22.9	20	7	96.4	0	0	0	0
2008	18.5	22	9	71.2	0	0	0	0
2009	17.4	28	9	65.1	0	0	0	0
2010	18.1	22	8	68.8	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1719	31.14	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	776	14.06	68.86
> 90 ... 95 % nFK:	687	12.45	54.80
> 85 ... 90 % nFK:	675	12.23	42.36
> 80 ... 85 % nFK:	611	11.07	30.13
> 75 ... 80 % nFK:	435	7.88	19.06
> 70 ... 75 % nFK:	265	4.80	11.18
> 65 ... 70 % nFK:	244	4.42	6.38
> 60 ... 65 % nFK:	70	1.27	1.96
> 55 ... 60 % nFK:	12	0.22	0.69
> 50 ... 55 % nFK:	26	0.47	0.47
> 45 ... 50 % nFK:	0	0.00	0.00
> 40 ... 45 % nFK:	0	0.00	0.00
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

f) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöE5 (Ost, Neigung: 55 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	21.3	14	9	87.4	0	0	0	0
1982	17.4	3	10	65.1	0	0	0	0
1983	13.0	1	10	40.3	0	0	0	0
1984	19.7	5	9	77.9	0	0	0	0
1985	17.5	31	10	65.8	0	0	0	0
1986	16.6	17	10	60.4	0	0	0	0
1987	19.5	3	9	77.0	0	0	0	0
1988	17.6	12	9	66.2	0	0	0	0
1989	12.9	24	8	39.5	1	0	0	0
1990	13.2	30	8	41.4	0	0	0	0
1991	15.5	14	9	54.1	0	0	0	0
1992	12.9	18	9	39.6	12	0	0	0
1993	18.7	9	7	72.7	0	0	0	0
1994	18.4	9	8	70.7	0	0	0	0
1995	14.0	3	9	45.9	0	0	0	0
1996	12.8	26	9	38.6	17	0	0	0
1997	17.3	28	9	64.6	0	0	0	0
1998	17.3	20	8	64.5	0	0	0	0
1999	12.3	19	9	35.9	18	0	0	0
2000	15.8	24	9	56.2	0	0	0	0
2001	14.9	1	9	50.6	0	0	0	0
2002	21.9	9	7	90.5	0	0	0	0
2003	11.8	9	8	33.5	38	0	0	0
2004	18.5	19	9	71.2	0	0	0	0
2005	16.2	20	10	58.1	0	0	0	0
2006	15.5	3	10	54.4	0	0	0	0
2007	22.1	8	8	91.5	0	0	0	0
2008	12.5	22	9	37.3	17	0	0	0
2009	11.8	27	8	33.5	50	0	0	0
2010	15.8	25	8	55.7	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	673	12.19	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	391	7.08	87.81	
> 90 ... 95 % nFK:	479	8.68	80.72	
> 85 ... 90 % nFK:	478	8.66	72.05	
> 80 ... 85 % nFK:	429	7.77	63.39	
> 75 ... 80 % nFK:	472	8.55	55.62	
> 70 ... 75 % nFK:	499	9.04	47.07	
> 65 ... 70 % nFK:	534	9.67	38.03	
> 60 ... 65 % nFK:	375	6.79	28.35	
> 55 ... 60 % nFK:	273	4.95	21.56	
> 50 ... 55 % nFK:	275	4.98	16.61	
> 45 ... 50 % nFK:	296	5.36	11.63	
> 40 ... 45 % nFK:	193	3.50	6.27	
> 35 ... 40 % nFK:	81	1.47	2.77	
> 30 ... 35 % nFK:	72	1.30	1.30	
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

g) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöE6 (Ost, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	21.3	14	9	87.3	0	0	0	0
1982	17.4	3	10	64.9	0	0	0	0
1983	13.0	1	10	39.9	1	0	0	0
1984	19.6	5	9	77.4	0	0	0	0
1985	17.5	31	10	65.5	0	0	0	0
1986	16.5	17	10	60.0	0	0	0	0
1987	19.5	3	9	76.9	0	0	0	0
1988	17.6	12	9	65.9	0	0	0	0
1989	12.8	24	8	39.0	3	0	0	0
1990	12.3	30	8	35.9	7	0	0	0
1991	14.9	14	9	50.6	0	0	0	0
1992	12.9	18	9	39.3	16	0	0	0
1993	18.8	9	7	73.1	0	0	0	0
1994	18.4	4	8	70.9	0	0	0	0
1995	14.2	3	9	46.8	0	0	0	0
1996	12.8	26	9	38.7	17	0	0	0
1997	17.3	28	9	64.4	0	0	0	0
1998	17.3	20	8	64.3	0	0	0	0
1999	12.2	19	9	35.6	18	0	0	0
2000	15.8	24	9	55.9	0	0	0	0
2001	14.8	1	9	50.0	0	0	0	0
2002	21.9	9	7	90.4	0	0	0	0
2003	11.8	6	8	33.5	41	0	0	0
2004	18.4	19	9	70.9	0	0	0	0
2005	16.0	20	10	57.1	0	0	0	0
2006	15.3	3	10	53.2	0	0	0	0
2007	22.0	8	8	91.3	0	0	0	0
2008	12.5	22	9	37.1	18	0	0	0
2009	11.8	26	8	33.5	51	0	0	0
2010	15.7	25	8	55.3	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	666	12.07	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	375	6.79	87.93	
> 90 ... 95 % nFK:	484	8.77	81.14	
> 85 ... 90 % nFK:	436	7.90	72.37	
> 80 ... 85 % nFK:	460	8.33	64.47	
> 75 ... 80 % nFK:	461	8.35	56.14	
> 70 ... 75 % nFK:	513	9.29	47.79	
> 65 ... 70 % nFK:	513	9.29	38.50	
> 60 ... 65 % nFK:	358	6.49	29.20	
> 55 ... 60 % nFK:	280	5.07	22.72	
> 50 ... 55 % nFK:	261	4.73	17.64	
> 45 ... 50 % nFK:	325	5.89	12.92	
> 40 ... 45 % nFK:	216	3.91	7.03	
> 35 ... 40 % nFK:	98	1.78	3.12	
> 30 ... 35 % nFK:	74	1.34	1.34	
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

h) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop Bön5 (Nord, Neigung: 61 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	23.1	14	9	97.4	0	0	0	0
1982	19.1	3	10	74.6	0	0	0	0
1983	18.0	1	10	68.3	0	0	0	0
1984	22.7	30	8	95.5	0	0	0	0
1985	19.5	12	9	77.2	0	0	0	0
1986	19.5	18	8	77.0	0	0	0	0
1987	19.8	3	9	78.9	0	0	0	0
1988	20.1	12	9	80.2	0	0	0	0
1989	16.3	24	8	58.9	0	0	0	0
1990	17.9	30	8	67.8	0	0	0	0
1991	19.1	14	9	74.6	0	0	0	0
1992	15.3	3	10	53.1	0	0	0	0
1993	20.8	13	7	84.7	0	0	0	0
1994	18.6	9	8	71.9	0	0	0	0
1995	16.9	3	9	62.0	0	0	0	0
1996	16.8	26	9	61.6	0	0	0	0
1997	21.2	28	9	86.6	0	0	0	0
1998	19.9	20	8	79.1	0	0	0	0
1999	17.6	19	9	66.0	0	0	0	0
2000	19.6	24	9	77.5	0	0	0	0
2001	19.5	1	9	77.1	0	0	0	0
2002	22.8	2	10	95.9	0	0	0	0
2003	12.2	9	9	35.3	20	0	0	0
2004	21.0	19	9	85.6	0	0	0	0
2005	19.1	13	9	74.7	0	0	0	0
2006	20.0	3	10	79.7	0	0	0	0
2007	23.4	20	7	99.3	0	0	0	0
2008	16.4	22	9	59.1	0	0	0	0
2009	17.3	28	9	64.6	0	0	0	0
2010	17.7	21	8	66.9	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	1497	27.12	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	544	9.86	72.88	
> 90 ... 95 % nFK:	586	10.62	63.03	
> 85 ... 90 % nFK:	657	11.90	52.41	
> 80 ... 85 % nFK:	683	12.37	40.51	
> 75 ... 80 % nFK:	616	11.16	28.13	
> 70 ... 75 % nFK:	345	6.25	16.97	
> 65 ... 70 % nFK:	261	4.73	10.72	
> 60 ... 65 % nFK:	153	2.77	6.00	
> 55 ... 60 % nFK:	69	1.25	3.22	
> 50 ... 55 % nFK:	50	0.91	1.97	
> 45 ... 50 % nFK:	6	0.11	1.07	
> 40 ... 45 % nFK:	33	0.60	0.96	
> 35 ... 40 % nFK:	20	0.36	0.36	
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

i) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop BÖN6 (Nord, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.9	14	9	96.4	0	0	0	0
1982	19.0	3	10	74.4	0	0	0	0
1983	17.3	1	10	64.2	0	0	0	0
1984	22.6	30	8	94.8	0	0	0	0
1985	19.4	12	9	76.4	0	0	0	0
1986	19.4	18	8	76.7	0	0	0	0
1987	19.7	3	9	78.3	0	0	0	0
1988	19.8	12	9	78.9	0	0	0	0
1989	16.1	24	8	57.5	0	0	0	0
1990	17.6	30	8	66.3	0	0	0	0
1991	18.9	14	9	73.5	0	0	0	0
1992	14.9	3	10	51.1	0	0	0	0
1993	20.7	13	7	83.9	0	0	0	0
1994	18.4	9	8	71.0	0	0	0	0
1995	16.8	3	9	61.4	0	0	0	0
1996	16.7	26	9	60.8	0	0	0	0
1997	21.0	28	9	85.3	0	0	0	0
1998	19.7	20	8	78.2	0	0	0	0
1999	16.9	19	9	62.0	0	0	0	0
2000	19.4	24	9	76.4	0	0	0	0
2001	19.4	1	9	76.4	0	0	0	0
2002	22.8	2	10	95.6	0	0	0	0
2003	12.0	7	9	34.5	23	0	0	0
2004	20.9	19	9	84.8	0	0	0	0
2005	18.9	14	9	73.8	0	0	0	0
2006	19.8	3	10	78.5	0	0	0	0
2007	23.4	20	7	99.0	0	0	0	0
2008	16.1	22	9	57.7	0	0	0	0
2009	14.7	28	9	49.5	0	0	0	0
2010	17.6	21	8	66.3	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1442	26.12	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	560	10.14	73.88
> 90 ... 95 % nFK:	542	9.82	63.73
> 85 ... 90 % nFK:	644	11.67	53.91
> 80 ... 85 % nFK:	698	12.64	42.25
> 75 ... 80 % nFK:	603	10.92	29.60
> 70 ... 75 % nFK:	294	5.33	18.68
> 65 ... 70 % nFK:	285	5.16	13.35
> 60 ... 65 % nFK:	214	3.88	8.19
> 55 ... 60 % nFK:	92	1.67	4.31
> 50 ... 55 % nFK:	82	1.49	2.64
> 45 ... 50 % nFK:	9	0.16	1.16
> 40 ... 45 % nFK:	32	0.58	1.00
> 35 ... 40 % nFK:	18	0.33	0.42
> 30 ... 35 % nFK:	5	0.09	0.09
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

j) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöS5 (Süd, Neigung: 57 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	17.2	14	9	63.6	0	0	0	0
1982	11.8	18	9	33.5	74	0	0	0
1983	11.8	15	8	33.5	67	0	0	0
1984	13.7	5	9	44.2	0	0	0	0
1985	11.9	12	9	33.8	67	0	0	0
1986	11.9	21	7	33.6	110	0	0	0
1987	12.5	3	9	36.9	14	0	0	0
1988	11.9	20	8	33.6	58	0	0	0
1989	11.8	26	6	33.5	94	0	0	0
1990	11.8	26	7	33.5	47	0	0	0
1991	11.8	2	9	33.5	52	0	0	0
1992	11.8	10	8	33.5	98	0	0	0
1993	12.6	13	7	37.7	2	0	0	0
1994	11.8	27	7	33.5	46	0	0	0
1995	11.8	2	8	33.5	51	0	0	0
1996	11.8	6	8	33.5	72	0	0	0
1997	11.8	25	8	33.5	53	0	0	0
1998	11.8	15	8	33.5	51	0	0	0
1999	11.8	30	7	33.5	68	0	0	0
2000	11.9	1	9	34.0	57	0	0	0
2001	11.8	26	7	33.5	60	0	0	0
2002	18.1	2	10	69.2	0	0	0	0
2003	11.8	20	7	33.5	75	0	0	0
2004	12.1	19	9	35.0	44	0	0	0
2005	11.8	3	9	33.5	88	0	0	0
2006	11.8	18	7	33.5	99	0	0	0
2007	16.2	8	8	58.2	0	0	0	0
2008	11.8	2	7	33.5	96	0	0	0
2009	11.8	5	8	33.5	94	0	0	0
2010	11.8	21	7	33.5	42	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	153	2.77	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	121	2.19	97.23	
> 90 ... 95 % nFK:	178	3.22	95.04	
> 85 ... 90 % nFK:	196	3.55	91.81	
> 80 ... 85 % nFK:	242	4.38	88.26	
> 75 ... 80 % nFK:	267	4.84	83.88	
> 70 ... 75 % nFK:	316	5.72	79.04	
> 65 ... 70 % nFK:	297	5.38	73.32	
> 60 ... 65 % nFK:	334	6.05	67.93	
> 55 ... 60 % nFK:	356	6.45	61.88	
> 50 ... 55 % nFK:	288	5.22	55.43	
> 45 ... 50 % nFK:	423	7.66	50.22	
> 40 ... 45 % nFK:	670	12.14	42.55	
> 35 ... 40 % nFK:	941	17.05	30.42	
> 30 ... 35 % nFK:	738	13.37	13.37	
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 17:

Modellergebnisse zur Austrocknung der Kulturschicht/Deckschicht

k) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöS6 (Süd, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	18.4	14	9	70.8	0	0	0	0
1982	11.9	19	9	33.5	49	0	0	0
1983	11.8	22	8	33.5	56	0	0	0
1984	15.0	5	9	51.2	0	0	0	0
1985	12.6	4	10	37.9	44	0	0	0
1986	11.9	18	8	34.0	78	0	0	0
1987	14.1	3	9	46.2	0	0	0	0
1988	12.0	11	9	34.1	40	0	0	0
1989	11.9	22	7	33.5	75	0	0	0
1990	11.8	1	8	33.5	40	0	0	0
1991	11.8	13	9	33.5	44	0	0	0
1992	11.9	10	8	33.5	90	0	0	0
1993	14.5	13	7	48.3	0	0	0	0
1994	11.8	31	7	33.5	41	0	0	0
1995	11.8	7	8	33.5	44	0	0	0
1996	11.8	9	8	33.5	62	0	0	0
1997	12.0	28	9	34.6	37	0	0	0
1998	12.0	20	8	34.1	40	0	0	0
1999	11.8	2	8	33.5	63	0	0	0
2000	12.2	1	9	35.5	37	0	0	0
2001	11.8	26	7	33.5	51	0	0	0
2002	19.3	2	10	76.1	0	0	0	0
2003	11.8	20	7	33.5	66	0	0	0
2004	12.4	19	9	36.6	12	0	0	0
2005	11.8	9	9	33.5	52	0	0	0
2006	11.8	22	7	33.5	91	0	0	0
2007	17.4	8	8	64.9	0	0	0	0
2008	11.9	20	9	33.7	90	0	0	0
2009	11.8	5	8	33.5	82	0	0	0
2010	12.1	14	8	34.9	24	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	194	3.51	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	158	2.86	96.49	
> 90 ... 95 % nFK:	188	3.41	93.62	
> 85 ... 90 % nFK:	271	4.91	90.22	
> 80 ... 85 % nFK:	258	4.67	85.31	
> 75 ... 80 % nFK:	385	6.97	80.63	
> 70 ... 75 % nFK:	291	5.27	73.66	
> 65 ... 70 % nFK:	362	6.56	68.39	
> 60 ... 65 % nFK:	322	5.83	61.83	
> 55 ... 60 % nFK:	349	6.32	56.00	
> 50 ... 55 % nFK:	374	6.78	49.67	
> 45 ... 50 % nFK:	416	7.54	42.90	
> 40 ... 45 % nFK:	644	11.67	35.36	
> 35 ... 40 % nFK:	800	14.49	23.70	
> 30 ... 35 % nFK:	508	9.20	9.20	
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

a) Zeitschnitt 1, Bewuchszustand 2, Hydrotop BöE3 (Ost, 53 % Neigung):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.8	13	9	95.5	0	0	0	0
1982	19.5	3	10	77.0	0	0	0	0
1983	17.1	1	10	63.3	0	0	0	0
1984	20.5	5	9	82.6	0	0	0	0
1985	19.9	12	9	79.0	0	0	0	0
1986	19.8	18	8	78.7	0	0	0	0
1987	20.5	3	9	82.7	0	0	0	0
1988	20.5	11	9	82.8	0	0	0	0
1989	16.8	24	8	61.5	0	0	0	0
1990	17.5	30	8	65.8	0	0	0	0
1991	20.4	14	9	81.9	0	0	0	0
1992	18.0	3	10	68.2	0	0	0	0
1993	21.6	13	7	88.9	0	0	0	0
1994	18.4	9	8	70.8	0	0	0	0
1995	16.4	24	8	59.1	0	0	0	0
1996	19.1	9	9	74.6	0	0	0	0
1997	20.7	28	9	83.6	0	0	0	0
1998	19.4	20	8	76.4	0	0	0	0
1999	17.3	19	9	64.2	0	0	0	0
2000	21.5	2	7	88.5	0	0	0	0
2001	18.7	1	9	72.6	0	0	0	0
2002	22.0	2	10	91.3	0	0	0	0
2003	13.0	27	8	39.8	1	0	0	0
2004	20.2	20	8	81.2	0	0	0	0
2005	18.9	13	9	73.6	0	0	0	0
2006	19.2	13	8	75.3	0	0	0	0
2007	22.9	5	5	96.5	0	0	0	0
2008	17.7	21	9	66.5	0	0	0	0
2009	13.8	28	9	44.5	0	0	0	0
2010	19.2	14	8	75.1	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	2685	48.64	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	743	13.46	51.36
> 90 ... 95 % nFK:	510	9.24	37.90
> 85 ... 90 % nFK:	400	7.25	28.66
> 80 ... 85 % nFK:	444	8.04	21.41
> 75 ... 80 % nFK:	286	5.18	13.37
> 70 ... 75 % nFK:	176	3.19	8.19
> 65 ... 70 % nFK:	120	2.17	5.00
> 60 ... 65 % nFK:	36	0.65	2.83
> 55 ... 60 % nFK:	26	0.47	2.17
> 50 ... 55 % nFK:	26	0.47	1.70
> 45 ... 50 % nFK:	40	0.72	1.23
> 40 ... 45 % nFK:	27	0.49	0.51
> 35 ... 40 % nFK:	1	0.02	0.02
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

b) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 2, Hydrotop BöW5 (West, Neigung: 62 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.6	13	9	94.9	0	0	0	0
1982	19.4	3	10	76.2	0	0	0	0
1983	17.0	1	10	62.5	0	0	0	0
1984	20.4	5	9	81.9	0	0	0	0
1985	19.7	12	9	78.3	0	0	0	0
1986	19.7	18	8	78.0	0	0	0	0
1987	20.5	3	9	82.9	0	0	0	0
1988	20.4	11	9	81.8	0	0	0	0
1989	16.7	24	8	61.2	0	0	0	0
1990	17.4	30	8	64.8	0	0	0	0
1991	20.3	14	9	81.3	0	0	0	0
1992	17.8	11	8	67.2	0	0	0	0
1993	21.5	13	7	88.5	0	0	0	0
1994	18.2	9	8	69.8	0	0	0	0
1995	16.2	24	8	58.1	0	0	0	0
1996	19.0	9	9	73.9	0	0	0	0
1997	20.6	28	9	83.5	0	0	0	0
1998	19.2	20	8	75.5	0	0	0	0
1999	17.1	19	9	63.5	0	0	0	0
2000	21.5	2	7	88.1	0	0	0	0
2001	18.5	1	9	71.5	0	0	0	0
2002	21.9	2	10	90.9	0	0	0	0
2003	12.9	27	8	39.4	2	0	0	0
2004	20.1	20	8	80.3	0	0	0	0
2005	18.7	13	9	72.6	0	0	0	0
2006	19.1	13	8	74.6	0	0	0	0
2007	22.9	5	5	96.5	0	0	0	0
2008	17.5	21	9	65.8	0	0	0	0
2009	13.6	28	9	43.5	0	0	0	0
2010	19.0	14	8	74.2	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	2620	47.46	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	764	13.84	52.54
> 90 ... 95 % nFK:	511	9.26	38.70
> 85 ... 90 % nFK:	388	7.03	29.44
> 80 ... 85 % nFK:	443	8.03	22.41
> 75 ... 80 % nFK:	308	5.58	14.38
> 70 ... 75 % nFK:	181	3.28	8.80
> 65 ... 70 % nFK:	137	2.48	5.53
> 60 ... 65 % nFK:	44	0.80	3.04
> 55 ... 60 % nFK:	27	0.49	2.25
> 50 ... 55 % nFK:	27	0.49	1.76
> 45 ... 50 % nFK:	38	0.69	1.27
> 40 ... 45 % nFK:	30	0.54	0.58
> 35 ... 40 % nFK:	2	0.04	0.04
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

c) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 2, Hydrotop BöW6 (West, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.6	13	9	94.8	0	0	0	0
1982	19.3	3	10	76.1	0	0	0	0
1983	16.9	1	10	62.4	0	0	0	0
1984	20.4	5	9	81.8	0	0	0	0
1985	19.7	12	9	78.1	0	0	0	0
1986	19.6	18	8	77.7	0	0	0	0
1987	20.5	3	9	82.7	0	0	0	0
1988	20.4	11	9	81.9	0	0	0	0
1989	16.6	24	8	60.7	0	0	0	0
1990	17.3	30	8	64.5	0	0	0	0
1991	20.2	14	9	81.1	0	0	0	0
1992	17.7	3	10	66.8	0	0	0	0
1993	21.5	13	7	88.4	0	0	0	0
1994	18.2	9	8	69.7	0	0	0	0
1995	16.1	24	8	57.8	0	0	0	0
1996	18.9	9	9	73.7	0	0	0	0
1997	20.6	28	9	83.5	0	0	0	0
1998	19.2	20	8	75.3	0	0	0	0
1999	17.0	19	9	62.7	0	0	0	0
2000	21.4	2	7	88.0	0	0	0	0
2001	18.2	1	9	69.5	0	0	0	0
2002	22.0	2	10	90.9	0	0	0	0
2003	12.8	27	8	39.1	2	0	0	0
2004	20.1	20	8	80.2	0	0	0	0
2005	18.7	13	9	72.3	0	0	0	0
2006	19.0	13	8	74.4	0	0	0	0
2007	22.9	5	5	96.5	0	0	0	0
2008	17.5	21	9	65.7	0	0	0	0
2009	13.6	28	9	43.3	0	0	0	0
2010	19.0	14	8	74.0	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	2602	47.14	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	746	13.51	52.86
> 90 ... 95 % nFK:	532	9.64	39.35
> 85 ... 90 % nFK:	393	7.12	29.71
> 80 ... 85 % nFK:	438	7.93	22.59
> 75 ... 80 % nFK:	305	5.53	14.66
> 70 ... 75 % nFK:	185	3.35	9.13
> 65 ... 70 % nFK:	148	2.68	5.78
> 60 ... 65 % nFK:	45	0.82	3.10
> 55 ... 60 % nFK:	29	0.53	2.28
> 50 ... 55 % nFK:	27	0.49	1.76
> 45 ... 50 % nFK:	35	0.63	1.27
> 40 ... 45 % nFK:	33	0.60	0.63
> 35 ... 40 % nFK:	2	0.04	0.04
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	0.00
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	0.00
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	0.00
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	0.00
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	0.00
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

d) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 3, Hydrotop Bön5 (Nord, Neigung: 61 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.2	17	8	92.6	0	0	0	0
1982	16.0	3	10	57.3	0	0	0	0
1983	12.4	1	10	36.4	25	0	0	0
1984	19.2	5	9	75.1	0	0	0	0
1985	18.4	12	9	70.8	0	0	0	0
1986	16.8	18	8	61.7	0	0	0	0
1987	17.3	3	9	64.4	0	0	0	0
1988	19.3	12	9	76.0	0	0	0	0
1989	13.3	24	8	41.6	0	0	0	0
1990	13.5	30	8	42.6	0	0	0	0
1991	16.7	14	9	60.8	0	0	0	0
1992	11.8	4	10	33.3	49	0	0	0
1993	18.5	13	7	71.6	0	0	0	0
1994	13.8	9	8	44.6	0	0	0	0
1995	9.3	3	9	18.9	79	26	2	0
1996	13.6	9	9	43.4	0	0	0	0
1997	20.5	28	9	82.8	0	0	0	0
1998	19.0	20	8	74.3	0	0	0	0
1999	12.2	19	9	35.2	17	0	0	0
2000	18.0	2	7	68.5	0	0	0	0
2001	16.1	1	9	57.9	0	0	0	0
2002	23.0	2	10	97.0	0	0	0	0
2003	6.1	27	8	0.8	93	62	35	26
2004	19.7	20	8	78.2	0	0	0	0
2005	16.9	13	9	62.1	0	0	0	0
2006	16.6	3	10	60.6	0	0	0	0
2007	22.5	20	7	94.1	0	0	0	0
2008	13.7	22	9	43.8	0	0	0	0
2009	10.9	28	9	28.3	41	10	0	0
2010	13.0	10	8	39.9	1	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1786	32.36	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	446	8.08	67.64
> 90 ... 95 % nFK:	335	6.07	59.57
> 85 ... 90 % nFK:	367	6.65	53.50
> 80 ... 85 % nFK:	377	6.83	46.85
> 75 ... 80 % nFK:	331	6.00	40.02
> 70 ... 75 % nFK:	309	5.60	34.02
> 65 ... 70 % nFK:	323	5.85	28.42
> 60 ... 65 % nFK:	305	5.53	22.57
> 55 ... 60 % nFK:	219	3.97	17.05
> 50 ... 55 % nFK:	165	2.99	13.08
> 45 ... 50 % nFK:	145	2.63	10.09
> 40 ... 45 % nFK:	107	1.94	7.46
> 35 ... 40 % nFK:	159	2.88	5.53
> 30 ... 35 % nFK:	48	0.87	2.64
> 25 ... 30 % nFK:	19	0.34	1.78
> 20 ... 25 % nFK:	42	0.76	1.43
> 15 ... 20 % nFK:	8	0.14	0.67
> 10 ... 15 % nFK:	3	0.05	0.53
> 5 ... 10 % nFK:	7	0.13	0.47
> 0 ... 5 % nFK:	19	0.34	0.34

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

e) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 3, Hydrotop BÖN6 (Nord, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.1	17	8	91.9	0	0	0	0
1982	15.8	3	10	55.8	0	0	0	0
1983	11.6	1	10	32.0	37	0	0	0
1984	19.0	5	9	74.1	0	0	0	0
1985	18.7	12	9	72.7	0	0	0	0
1986	16.4	18	8	59.5	0	0	0	0
1987	16.8	3	9	61.5	0	0	0	0
1988	19.3	12	9	75.6	0	0	0	0
1989	12.7	24	8	38.5	2	0	0	0
1990	13.1	30	8	40.4	0	0	0	0
1991	16.6	14	9	60.5	0	0	0	0
1992	11.0	3	10	28.7	70	13	0	0
1993	18.4	13	7	70.6	0	0	0	0
1994	13.5	9	8	43.1	0	0	0	0
1995	9.1	3	9	17.6	80	33	4	0
1996	13.3	9	9	41.5	0	0	0	0
1997	20.4	28	9	81.9	0	0	0	0
1998	18.8	20	8	73.0	0	0	0	0
1999	12.0	19	9	34.4	19	0	0	0
2000	17.7	2	7	66.7	0	0	0	0
2001	15.8	1	9	55.7	0	0	0	0
2002	22.9	2	10	96.3	0	0	0	0
2003	6.1	27	8	0.8	92	62	34	26
2004	19.4	20	8	76.6	0	0	0	0
2005	16.5	13	9	60.0	0	0	0	0
2006	16.2	22	10	58.5	0	0	0	0
2007	22.3	20	7	92.9	0	0	0	0
2008	13.4	22	9	42.4	0	0	0	0
2009	11.3	28	9	30.2	37	0	0	0
2010	12.6	22	8	37.6	15	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1719	31.14	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	457	8.28	68.86
> 90 ... 95 % nFK:	319	5.78	60.58
> 85 ... 90 % nFK:	331	6.00	54.80
> 80 ... 85 % nFK:	356	6.45	48.80
> 75 ... 80 % nFK:	403	7.30	42.36
> 70 ... 75 % nFK:	272	4.93	35.05
> 65 ... 70 % nFK:	308	5.58	30.13
> 60 ... 65 % nFK:	303	5.49	24.55
> 55 ... 60 % nFK:	273	4.95	19.06
> 50 ... 55 % nFK:	162	2.93	14.11
> 45 ... 50 % nFK:	148	2.68	11.18
> 40 ... 45 % nFK:	117	2.12	8.50
> 35 ... 40 % nFK:	142	2.57	6.38
> 30 ... 35 % nFK:	102	1.85	3.80
> 25 ... 30 % nFK:	26	0.47	1.96
> 20 ... 25 % nFK:	44	0.80	1.49
> 15 ... 20 % nFK:	10	0.18	0.69
> 10 ... 15 % nFK:	2	0.04	0.51
> 5 ... 10 % nFK:	8	0.14	0.47
> 0 ... 5 % nFK:	18	0.33	0.33

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

f) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöE5 (Ost, Neigung: 55 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	20.2	14	9	81.1	0	0	0	0
1982	14.3	3	10	47.6	0	0	0	0
1983	7.8	1	10	10.4	77	67	39	0
1984	17.7	5	9	66.8	0	0	0	0
1985	14.5	31	10	48.7	0	0	0	0
1986	13.1	17	10	40.5	0	0	0	0
1987	17.5	3	9	65.4	0	0	0	0
1988	14.6	12	9	49.3	0	0	0	0
1989	7.6	24	8	9.2	102	85	59	1
1990	8.1	30	8	12.1	104	76	8	0
1991	11.4	14	9	31.2	42	0	0	0
1992	7.6	18	9	9.4	96	83	71	12
1993	16.4	9	7	59.1	0	0	0	0
1994	15.8	9	8	56.0	0	0	0	0
1995	9.3	3	9	18.9	80	73	2	0
1996	7.4	26	9	8.0	110	90	60	17
1997	14.2	28	9	46.9	0	0	0	0
1998	14.2	20	8	46.8	0	0	0	0
1999	6.6	19	9	3.8	91	78	36	18
2000	12.0	24	9	34.3	34	0	0	0
2001	10.5	1	9	25.9	39	14	0	0
2002	21.0	9	7	85.7	0	0	0	0
2003	6.0	9	8	0.2	109	103	70	38
2004	15.9	19	9	56.8	0	0	0	0
2005	12.5	20	10	37.2	19	0	0	0
2006	11.5	3	10	31.7	46	0	0	0
2007	21.3	8	8	87.3	0	0	0	0
2008	7.0	22	9	5.9	96	73	30	17
2009	6.0	27	8	0.2	122	96	70	50
2010	11.9	25	8	33.6	23	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	673	12.19	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	254	4.60	87.81	
> 90 ... 95 % nFK:	310	5.62	83.21	
> 85 ... 90 % nFK:	306	5.54	77.59	
> 80 ... 85 % nFK:	306	5.54	72.05	
> 75 ... 80 % nFK:	319	5.78	66.50	
> 70 ... 75 % nFK:	282	5.11	60.72	
> 65 ... 70 % nFK:	348	6.30	55.62	
> 60 ... 65 % nFK:	269	4.87	49.31	
> 55 ... 60 % nFK:	354	6.41	44.44	
> 50 ... 55 % nFK:	387	7.01	38.03	
> 45 ... 50 % nFK:	259	4.69	31.01	
> 40 ... 45 % nFK:	263	4.76	26.32	
> 35 ... 40 % nFK:	183	3.32	21.56	
> 30 ... 35 % nFK:	169	3.06	18.24	
> 25 ... 30 % nFK:	196	3.55	15.18	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	197	3.57	11.63	
> 15 ... 20 % nFK:	176	3.19	8.06	
> 10 ... 15 % nFK:	116	2.10	4.87	
> 5 ... 10 % nFK:	68	1.23	2.77	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	85	1.54	1.54	

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

g) Zeitschnitt 2, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöE6 (Ost, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	20.2	14	9	80.9	0	0	0	0
1982	14.3	3	10	47.3	0	0	0	0
1983	7.7	1	10	9.8	77	67	56	1
1984	17.6	5	9	66.1	0	0	0	0
1985	14.4	31	10	48.2	0	0	0	0
1986	13.0	17	10	40.0	2	0	0	0
1987	17.4	3	9	65.3	0	0	0	0
1988	14.6	12	9	48.9	0	0	0	0
1989	7.4	24	8	8.5	103	87	61	3
1990	6.7	30	8	3.9	105	95	38	7
1991	10.5	14	9	26.0	67	19	0	0
1992	7.6	18	9	9.0	96	83	72	16
1993	16.4	9	7	59.6	0	0	0	0
1994	15.9	4	8	56.3	0	0	0	0
1995	9.5	3	9	20.3	79	72	0	0
1996	7.4	26	9	8.1	110	89	60	17
1997	14.2	28	9	46.6	0	0	0	0
1998	14.1	20	8	46.5	0	0	0	0
1999	6.6	19	9	3.4	91	81	38	18
2000	11.9	24	9	33.9	39	0	0	0
2001	10.4	1	9	25.0	43	16	0	0
2002	21.0	9	7	85.6	0	0	0	0
2003	6.0	6	8	0.2	112	107	76	41
2004	15.9	19	9	56.4	0	0	0	0
2005	12.2	20	10	35.7	35	0	0	0
2006	11.2	3	10	29.8	52	2	0	0
2007	21.3	8	8	86.9	0	0	0	0
2008	7.0	22	9	5.6	96	78	30	18
2009	6.0	26	8	0.2	123	96	71	51
2010	11.7	25	8	32.9	24	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	666	12.07	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	244	4.42	87.93	
> 90 ... 95 % nFK:	300	5.43	83.51	
> 85 ... 90 % nFK:	315	5.71	78.08	
> 80 ... 85 % nFK:	280	5.07	72.37	
> 75 ... 80 % nFK:	313	5.67	67.30	
> 70 ... 75 % nFK:	303	5.49	61.63	
> 65 ... 70 % nFK:	317	5.74	56.14	
> 60 ... 65 % nFK:	298	5.40	50.40	
> 55 ... 60 % nFK:	359	6.50	45.00	
> 50 ... 55 % nFK:	347	6.29	38.50	
> 45 ... 50 % nFK:	283	5.13	32.21	
> 40 ... 45 % nFK:	241	4.37	27.08	
> 35 ... 40 % nFK:	200	3.62	22.72	
> 30 ... 35 % nFK:	162	2.93	19.09	
> 25 ... 30 % nFK:	179	3.24	16.16	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	211	3.82	12.92	
> 15 ... 20 % nFK:	196	3.55	9.09	
> 10 ... 15 % nFK:	134	2.43	5.54	
> 5 ... 10 % nFK:	79	1.43	3.12	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	93	1.68	1.68	

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

h) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop Bön5 (Nord, Neigung: 61 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.9	14	9	96.0	0	0	0	0
1982	16.8	3	10	61.8	0	0	0	0
1983	15.2	1	10	52.4	0	0	0	0
1984	22.4	30	8	93.2	0	0	0	0
1985	17.5	12	9	65.8	0	0	0	0
1986	17.5	18	8	65.4	0	0	0	0
1987	18.0	3	9	68.3	0	0	0	0
1988	18.3	12	9	70.4	0	0	0	0
1989	12.7	24	8	38.3	4	0	0	0
1990	15.1	30	8	51.7	0	0	0	0
1991	16.9	14	9	61.9	0	0	0	0
1992	11.2	3	10	29.6	73	6	0	0
1993	19.5	13	7	77.0	0	0	0	0
1994	16.1	9	8	57.8	0	0	0	0
1995	13.5	3	9	43.0	0	0	0	0
1996	13.4	26	9	42.4	0	0	0	0
1997	20.0	28	9	80.0	0	0	0	0
1998	18.0	20	8	68.7	0	0	0	0
1999	14.6	19	9	48.9	0	0	0	0
2000	17.6	24	9	66.2	0	0	0	0
2001	17.5	1	9	65.7	0	0	0	0
2002	22.5	2	10	93.8	0	0	0	0
2003	6.5	9	9	2.9	92	86	55	20
2004	19.7	19	9	78.4	0	0	0	0
2005	16.9	13	9	62.1	0	0	0	0
2006	18.2	3	10	69.5	0	0	0	0
2007	23.4	20	7	99.0	0	0	0	0
2008	12.8	22	9	38.7	9	0	0	0
2009	14.2	28	9	46.9	0	0	0	0
2010	14.8	21	8	50.4	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1497	27.12	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	380	6.88	72.88
> 90 ... 95 % nFK:	334	6.05	66.00
> 85 ... 90 % nFK:	416	7.54	59.95
> 80 ... 85 % nFK:	374	6.78	52.41
> 75 ... 80 % nFK:	517	9.37	45.63
> 70 ... 75 % nFK:	449	8.13	36.27
> 65 ... 70 % nFK:	473	8.57	28.13
> 60 ... 65 % nFK:	280	5.07	19.57
> 55 ... 60 % nFK:	208	3.77	14.49
> 50 ... 55 % nFK:	197	3.57	10.72
> 45 ... 50 % nFK:	129	2.34	7.16
> 40 ... 45 % nFK:	88	1.59	4.82
> 35 ... 40 % nFK:	64	1.16	3.22
> 30 ... 35 % nFK:	22	0.40	2.07
> 25 ... 30 % nFK:	33	0.60	1.67
> 20 ... 25 % nFK:	4	0.07	1.07
> 15 ... 20 % nFK:	13	0.24	1.00
> 10 ... 15 % nFK:	22	0.40	0.76
> 5 ... 10 % nFK:	13	0.24	0.36
> 0 ... 5 % nFK:	7	0.13	0.13

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

i) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop BÖN6 (Nord, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	22.6	14	9	94.5	0	0	0	0
1982	16.8	3	10	61.5	0	0	0	0
1983	14.1	1	10	46.3	0	0	0	0
1984	22.2	30	8	92.1	0	0	0	0
1985	17.3	12	9	64.6	0	0	0	0
1986	17.4	18	8	65.0	0	0	0	0
1987	17.8	3	9	67.4	0	0	0	0
1988	18.0	12	9	68.3	0	0	0	0
1989	12.3	24	8	36.2	18	0	0	0
1990	14.7	30	8	49.5	0	0	0	0
1991	16.6	14	9	60.3	0	0	0	0
1992	10.6	3	10	26.6	77	25	0	0
1993	19.3	13	7	75.8	0	0	0	0
1994	15.9	9	8	56.4	0	0	0	0
1995	13.4	3	9	42.1	0	0	0	0
1996	13.2	26	9	41.2	0	0	0	0
1997	19.7	28	9	78.0	0	0	0	0
1998	17.8	20	8	67.3	0	0	0	0
1999	13.5	19	9	43.1	0	0	0	0
2000	17.3	24	9	64.7	0	0	0	0
2001	17.3	1	9	64.6	0	0	0	0
2002	22.4	2	10	93.4	0	0	0	0
2003	6.3	7	9	1.7	93	87	56	23
2004	19.5	19	9	77.2	0	0	0	0
2005	16.6	14	9	60.7	0	0	0	0
2006	17.9	3	10	67.8	0	0	0	0
2007	23.3	20	7	98.4	0	0	0	0
2008	12.4	22	9	36.6	16	0	0	0
2009	10.2	28	9	24.2	34	19	0	0
2010	14.7	21	8	49.5	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%
> 100 % nFK:	1442	26.12	100.00
> 95 ... 100 % nFK:	395	7.16	73.88
> 90 ... 95 % nFK:	300	5.43	66.72
> 85 ... 90 % nFK:	407	7.37	61.29
> 80 ... 85 % nFK:	387	7.01	53.91
> 75 ... 80 % nFK:	493	8.93	46.90
> 70 ... 75 % nFK:	462	8.37	37.97
> 65 ... 70 % nFK:	439	7.95	29.60
> 60 ... 65 % nFK:	263	4.76	21.65
> 55 ... 60 % nFK:	195	3.53	16.88
> 50 ... 55 % nFK:	203	3.68	13.35
> 45 ... 50 % nFK:	144	2.61	9.67
> 40 ... 45 % nFK:	152	2.75	7.07
> 35 ... 40 % nFK:	64	1.16	4.31
> 30 ... 35 % nFK:	43	0.78	3.15
> 25 ... 30 % nFK:	67	1.21	2.37
> 20 ... 25 % nFK:	8	0.14	1.16
> 15 ... 20 % nFK:	8	0.14	1.01
> 10 ... 15 % nFK:	25	0.45	0.87
> 5 ... 10 % nFK:	10	0.18	0.42
> 0 ... 5 % nFK:	13	0.24	0.24

Trockenstressbeginn

Sehr hohes Trockenstresspotenzial

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

j) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöS5 (Süd, Neigung: 57 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	14.0	14	9	45.4	0	0	0	0
1982	6.0	18	9	0.2	101	95	92	74
1983	6.0	15	8	0.2	107	101	94	67
1984	8.8	5	9	16.3	80	62	8	0
1985	6.1	12	9	0.7	110	100	87	67
1986	6.0	21	7	0.3	147	132	126	110
1987	6.9	3	9	5.4	95	82	69	14
1988	6.0	20	8	0.4	112	94	87	58
1989	6.0	26	6	0.2	160	150	139	94
1990	6.0	26	7	0.2	156	125	108	47
1991	6.0	2	9	0.2	123	99	89	52
1992	6.0	10	8	0.2	140	133	120	98
1993	7.1	13	7	6.6	129	64	20	2
1994	6.0	27	7	0.2	111	107	101	46
1995	6.0	2	8	0.2	108	103	99	51
1996	6.0	6	8	0.2	176	147	101	72
1997	6.0	25	8	0.2	117	96	81	53
1998	6.0	15	8	0.2	111	98	83	51
1999	6.0	30	7	0.2	115	112	107	68
2000	6.1	1	9	0.9	138	128	96	57
2001	6.0	26	7	0.2	148	101	72	60
2002	15.4	2	10	53.8	0	0	0	0
2003	6.0	20	7	0.2	139	134	106	75
2004	6.4	19	9	2.5	96	89	85	44
2005	6.0	3	9	0.2	132	126	112	88
2006	6.0	18	7	0.2	145	125	121	99
2007	12.5	8	8	37.3	8	0	0	0
2008	6.0	2	7	0.2	142	136	115	96
2009	6.0	5	8	0.2	146	131	114	94
2010	6.0	21	7	0.2	124	83	58	42

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	153	2.77	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	64	1.16	97.23	
> 90 ... 95 % nFK:	112	2.03	96.07	
> 85 ... 90 % nFK:	123	2.23	94.04	
> 80 ... 85 % nFK:	113	2.05	91.81	
> 75 ... 80 % nFK:	171	3.10	89.76	
> 70 ... 75 % nFK:	154	2.79	86.67	
> 65 ... 70 % nFK:	164	2.97	83.88	
> 60 ... 65 % nFK:	198	3.59	80.91	
> 55 ... 60 % nFK:	221	4.00	77.32	
> 50 ... 55 % nFK:	208	3.77	73.32	
> 45 ... 50 % nFK:	221	4.00	69.55	
> 40 ... 45 % nFK:	202	3.66	65.54	
> 35 ... 40 % nFK:	233	4.22	61.88	
> 30 ... 35 % nFK:	230	4.17	57.66	
> 25 ... 30 % nFK:	181	3.28	53.50	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	282	5.11	50.22	
> 15 ... 20 % nFK:	324	5.87	45.11	
> 10 ... 15 % nFK:	487	8.82	39.24	
> 5 ... 10 % nFK:	539	9.76	30.42	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	1140	20.65	20.65	

Fortsetzung Anlage 18:

Modellergebnisse zur Austrocknung in der Wurzelzone

k) Zeitschnitt 3, Bewuchszustand 4, Hydrotop BöS6 (Süd, Neigung: 38 %):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	15.8	14	9	56.1	0	0	0	0
1982	6.0	19	9	0.3	95	91	75	49
1983	6.0	22	8	0.2	102	94	82	56
1984	10.7	5	9	26.8	51	8	0	0
1985	7.2	4	10	6.8	96	79	62	44
1986	6.2	18	8	1.1	134	124	102	78
1987	9.3	3	9	19.2	78	69	2	0
1988	6.2	11	9	1.1	88	81	75	40
1989	6.0	22	7	0.3	158	142	132	75
1990	6.0	1	8	0.2	148	115	102	40
1991	6.0	13	9	0.2	113	94	72	44
1992	6.0	10	8	0.3	137	129	117	90
1993	9.9	13	7	22.5	65	12	0	0
1994	6.0	31	7	0.2	106	102	95	41
1995	6.0	7	8	0.2	101	98	94	44
1996	6.0	9	8	0.2	168	145	97	62
1997	6.3	28	9	1.8	98	80	72	37
1998	6.2	20	8	1.2	101	92	76	40
1999	6.0	2	8	0.2	113	107	99	63
2000	6.5	1	9	3.2	136	115	81	37
2001	6.0	26	7	0.2	140	96	66	51
2002	17.2	2	10	64.2	0	0	0	0
2003	6.0	20	7	0.2	134	130	102	66
2004	6.8	19	9	5.0	90	85	64	12
2005	6.0	9	9	0.2	114	99	71	52
2006	6.0	22	7	0.2	137	122	114	91
2007	14.3	8	8	47.4	0	0	0	0
2008	6.1	20	9	0.5	136	132	110	90
2009	6.0	5	8	0.2	139	130	107	82
2010	6.4	14	8	2.3	113	70	38	24

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht (bezogen auf deutsche Feldkapazitaetsdefinition):

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	194	3.51	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	96	1.74	96.49	
> 90 ... 95 % nFK:	122	2.21	94.75	
> 85 ... 90 % nFK:	128	2.32	92.54	
> 80 ... 85 % nFK:	174	3.15	90.22	
> 75 ... 80 % nFK:	180	3.26	87.07	
> 70 ... 75 % nFK:	175	3.17	83.80	
> 65 ... 70 % nFK:	239	4.33	80.63	
> 60 ... 65 % nFK:	234	4.24	76.30	
> 55 ... 60 % nFK:	203	3.68	72.07	
> 50 ... 55 % nFK:	226	4.09	68.39	
> 45 ... 50 % nFK:	237	4.29	64.29	
> 40 ... 45 % nFK:	221	4.00	60.00	
> 35 ... 40 % nFK:	234	4.24	56.00	
> 30 ... 35 % nFK:	216	3.91	51.76	
> 25 ... 30 % nFK:	273	4.95	47.84	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	261	4.73	42.90	
> 15 ... 20 % nFK:	336	6.09	38.17	
> 10 ... 15 % nFK:	463	8.39	32.08	
> 5 ... 10 % nFK:	503	9.11	23.70	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	805	14.58	14.58	

Anlage 19:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung)

a) Berichtdokumentation (beispielhaft für die Entwässerungsfläche 02-1) für nicht vorgegebene Regendauer:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

Das Programm ROHALDE dient der Berechnung des Starkregenabflusses von Halden- und Deponiefläichen. 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 : 021

Dateiname fuer die Eingabedaten: c:\wathling\eingadat\021.inp

Regendauer PD : unbekannt

Wiederkehrintervall des Regens : 5.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

- fuer PD = 5 min	:	10.00 mm
- fuer PD = 10 min	:	14.50 mm
- fuer PD = 15 min	:	17.40 mm
- fuer PD = 20 min	:	19.50 mm
- fuer PD = 30 min	:	22.40 mm
- fuer PD = 45 min	:	25.30 mm
- fuer PD = 60 min	:	27.30 mm
- fuer PD = 90 min	:	28.80 mm
- fuer PD = 2 h	:	29.90 mm
- fuer PD = 3 h	:	31.70 mm
- fuer PD = 4 h	:	33.10 mm
- fuer PD = 6 h	:	35.10 mm
- fuer PD = 9 h	:	37.30 mm
- fuer PD = 12 h	:	39.10 mm
- fuer PD = 18 h	:	41.80 mm
- fuer PD = 24 h	:	44.70 mm

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Fläichencharakteristik:

* Halden-/Deponiefläiche	:	0.59 ha
* mittlere Länge der Fläiche (von oben nach unten) ..	:	160.00 m
* Breite der Fläiche am Halden-/Deponiefuss	:	65.00 m
* hoechster Punkt	:	143.00 m NN
* niedrigster Punkt	:	131.62 m NN
* mittleres Gefaeelle der Halden-/Deponiefläiche	:	7.00 %

Bewuchs: unbewachsen (Oedland)

Filtrationskoeffizient kf der Oberfläiche..... : 4.00E-07 m/s

Basisabfluss : 0.07 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

Name des Ergebnisfiles: c:\wathling\ergebnis\021.erg

Name des Isochronenfiles: c:\wathling\isochron\021.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 = 22.5 mm
- * massgebende Regendauer: PD = 31 min
- * Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 31
- * Regenintensitaet: PI = 44.3 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 aus Gebietskenngroessen bei Beruecksichtigung der pedologischen Eigenschaften der Oberflaeche, Bewuchs und Vorfeuchte (/3/ bis /5/):

- * CN-Faktor = f(kf, Bewuchs, Hanglaenge, -neigung): CN = 95.5 %
- * Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
- * Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 64.8 %
- * Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 14.6 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 = 1.0 km
 - Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
 - K1 = 12.0 min
 - K2 = 22.2 min
 - DELTA = 1.00

- * Gleichung der Impulsantwortfunktion:

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

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

$$QD(tj) = T * \left[\sum_{i=1}^n IPEFF * u(T,tj - (j-1) * T) \right] \quad \text{in l/s}$$

4. GESAMTABFLUSSGANGLINIE Q(t):

Die Gesamtabflussganglinie Q(t) ergibt sich fuer jeden Zeitschritt tj aus

der Superposition von Direkt- und Basisabfluss:

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

$$\text{mit } QB(t_j) = \text{const.} = 0.07 \text{ l/s}$$

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

Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 31 min)			
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s
1	0.632	0.302	0.374
2	1.163	0.858	0.930
3	1.605	1.625	1.697
4	1.969	2.566	2.638
5	2.265	3.649	3.721
6	2.500	4.844	4.916
7	2.684	6.127	6.199
8	2.822	7.476	7.548
9	2.921	8.872	8.944
10	2.986	10.299	10.371
11	3.023	11.744	11.816
12	3.034	13.194	13.266
13	3.024	14.640	14.712
14	2.996	16.072	16.144
15	2.954	17.483	17.555
16	2.899	18.869	18.941
17	2.834	20.223	20.295
18	2.761	21.543	21.615
19	2.681	22.824	22.896
20	2.597	24.066	24.138
21	2.509	25.265	25.337
22	2.418	26.420	26.492
23	2.326	27.532	27.604
24	2.233	28.599	28.671
25	2.140	29.622	29.694
26	2.048	30.601	30.673
27	1.957	31.536	31.608
28	1.867	32.429	32.501
29	1.779	33.279	33.351
30	1.693	34.088	34.160
31	1.610	34.858	34.930
32	1.529	35.287	35.359
33	1.451	35.424	35.496
34	1.375	35.314	35.386
35	1.303	34.996	35.068
36	1.233	34.502	34.574
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
198	0.000	0.001	0.073
199	0.000	0.001	0.073
200	0.000	0.000	0.072

5. ZUSAMMENFASSUNG

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

* Abflussmaximum: QMAX = 35.50 l/s
 * Anstiegszeit: TA = 33.00 min
 * Abflussumme: QSUM = 86.59 m^3

6. LITERATUR

- /1/ Bartels, H. u.a. (1997):
Starkniederschlagshoeihen 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.

Fortsetzung Anlage 19:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung)

b) Ergebniszusammenfassung für nicht vorgegebene Regendauer:

Entwässerungsfläche	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] Einzelentwässerungsfläche
02-1	31	35,5
02-2	30	38,4
03-2	32	7,4
06-1	45	5,3
07-1	30	44,2
07-2	27	32,6
09-1	45	89,3
10-1	30	12,1
10-2	30	28,4
12-1	20	30,9
13-1	32	21,6
13-2	45	76,6
15-1	60	42,7
16-1	51	7,5
16-2	45	17,1
19-1	61	45,7
20-1	48	8,6
21-2	27	25,2
23-1	51	5,6
25-1	63	25,8
25-2	30	21,7
Flächengewichtetes Mittel Gesamthalde	45	

Fortsetzung Anlage 19:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung)

c) Ergebniszusammenfassung für eine maßgebende Regendauer von 45 min:

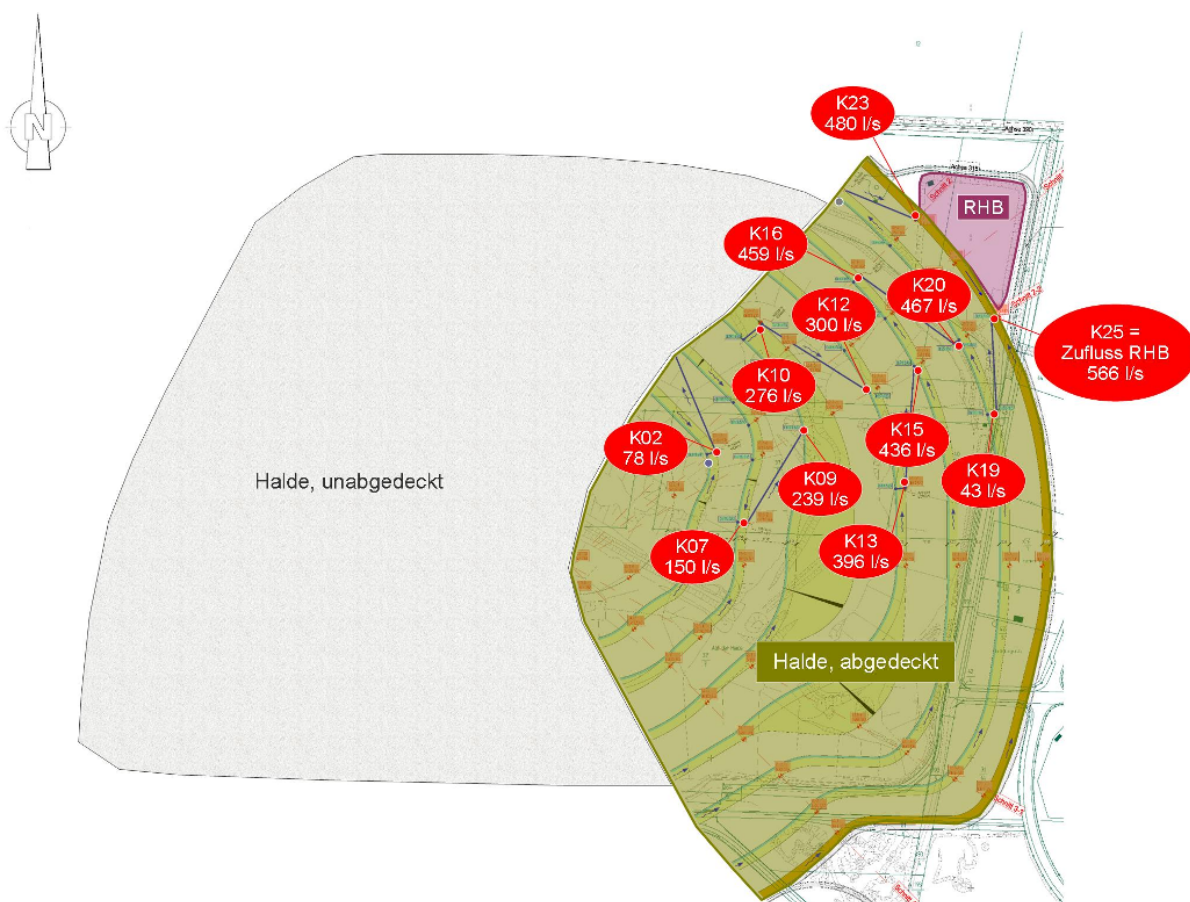
Entwässerungsfläche	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] Einzelentwässerungsfläche
02-1	45	33,6
02-2	45	37,4
03-2	45	7,1
06-1	45	5,2
07-1	45	39,6
07-2	45	28,3
09-1	45	88,7
10-1	45	10,7
10-2	45	26,6
12-1	45	26,0
13-1	45	20,8
13-2	45	76,1
15-1	45	40,8
16-1	45	7,5
16-2	45	17,0
19-1	45	43,4
20-1	45	8,6
21-2	45	22,2
23-1	45	5,6
25-1	45	23,9
25-2	45	19,9

Fortsetzung Anlage 19:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 1 (Beginn der Abdeckung)

d) *maximale Durchflusswerte an den Knotenpunkten für eine maßgebende Regendauer von 45 min:*

Knotenpunkt	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] am Knotenpunkt (inclusive aller Zuflüsse von oberhalb)
K02	45	78
K07	45	150
K09	45	239
K10	45	276
K12	45	300
K13	45	396
K15	45	436
K16	45	459
K19	45	43
K20	45	467
K21	45	480
K23	45	485
K25 = Zufluss RHB	45	566



Anlage 20:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung)

a) Ergebniszusammenfassung für nicht vorgegebene Regendauer:

Entwässerungsfläche	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] Einzelentwässerungsfläche
01-1	45	13,5
01-2	60	52,1
02-1	33	10,9
02-2	30	6,0
03-1	30	12,3
03-2	27	32,3
04-1	30	16,7
04-2	30	33,1
05-1	53	34,9
06-1	30	12,3
07-1	27	7,0
07-2	20	5,8
08-1	60	45,7
08-2	45	1,6
09-1	60	18,7
10-1	20	9,7
10-2	27	4,2
11-1	52	43,1
12-1	60	12,1
13-1	30	3,2
13-2	61	16,3
14-1	30	32,1
15-1	65	13,7
16-1	65	45,8
16-2	30	0,8
17-1	60	46,8
18-1	45	46,4
19-1	63	13,1
20-1	45	1,8
21-1	60	13,9
21-2	19	5,8
22-1	61	35,5
23-1	61	12,3
24-1	61	46,1
25-1	61	7,8
25-2	20	7,8
Flächengewichtetes Mittel Gesamthalde	53	

Fortsetzung Anlage 20:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung)

b) Ergebniszusammenfassung für eine maßgebende Regendauer von 53 min:

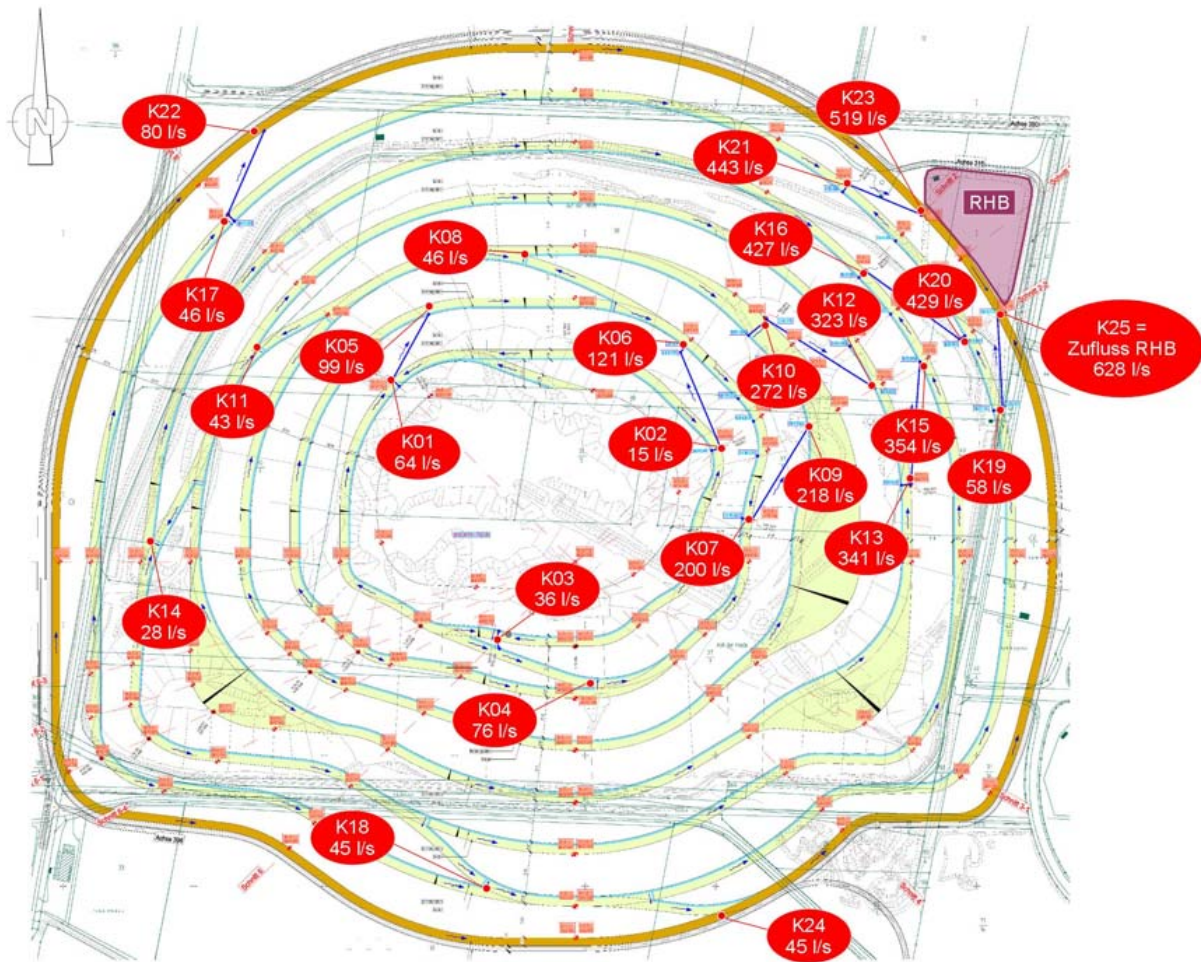
Entwässerungsfläche	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] Einzelentwässerungsfläche
01-1	53	13,0
01-2	53	51,4
02-1	53	10,1
02-2	53	5,2
03-1	53	10,1
03-2	53	25,5
04-1	53	13,6
04-2	53	27,2
05-1	53	34,7
06-1	53	10,5
07-1	53	5,7
07-2	53	4,2
08-1	53	44,9
08-2	53	1,5
09-1	53	18,5
10-1	53	7,1
10-2	53	3,5
11-1	53	42,8
12-1	53	12,0
13-1	53	2,8
13-2	53	16,0
14-1	53	28,4
15-1	53	13,3
16-1	53	43,9
16-2	53	3,3
17-1	53	45,9
18-1	53	45,2
19-1	53	12,8
20-1	53	1,7
21-1	53	13,7
21-2	53	4,1
22-1	53	34,3
23-1	53	12,1
24-1	53	44,9
25-1	53	7,6
25-2	53	3,7

Fortsetzung Anlage 20:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 2 (Ende der Abdeckung, aber Bewuchs noch sehr unterschiedlich hinsichtlich der Bewuchsentwicklung)

c) maximale Durchflusswerte an den Knotenpunkten für eine maßgebende Regendauer von 53 min:

Knotenpunkt	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] am Knotenpunkt (inclusive aller Zuflüsse von oberhalb)
K01	53	64,1
K02	53	15,3
K03	53	35,5
K04	53	76,2
K05	53	98,8
K06	53	120,9
K07	53	200,0
K08	53	46,4
K09	53	218,3
K10	53	271,7
K11	53	42,8
K12	53	322,9
K13	53	340,8
K14	53	28,4
K15	53	354,1
K16	53	427,1
K17	53	45,9
K18	53	45,2
K19	53	57,9
K20	53	428,5
K21	53	442,7
K22	53	79,8
K23	53	518,9
K24	53	44,9
K25 = Zufluss RHB	53	627,9



Anlage 21:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung)

a) Ergebniszusammenfassung für nicht vorgegebene Regendauer:

Entwässerungsfläche	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] Einzelentwässerungsfläche
01-1	45	9,0
01-2	48	11,2
02-1	30	8,6
02-2	30	6,0
03-1	19	3,0
03-2	19	5,1
04-1	20	2,5
04-2	20	5,0
05-1	45	7,1
06-1	30	8,3
07-1	27	7,0
07-2	20	5,8
08-1	53	8,9
08-2	45	1,1
09-1	60	12,4
10-1	20	6,5
10-2	27	4,2
11-1	45	6,7
12-1	60	8,2
13-1	30	3,2
13-2	61	10,8
14-1	27	7,0
15-1	65	9,0
16-1	61	9,0
16-2	30	3,8
17-1	53	9,2
18-1	45	6,7
19-1	63	8,8
20-1	45	1,8
21-1	60	9,3
21-2	19	5,8
22-1	61	7,0
23-1	61	8,3
24-1	61	6,5
25-1	61	5,4
25-2	20	4,8
Flächengewichtetes Mittel Gesamthalde	51	

Fortsetzung Anlage 21:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung)

b) Ergebniszusammenfassung für eine maßgebende Regendauer von 50 min:

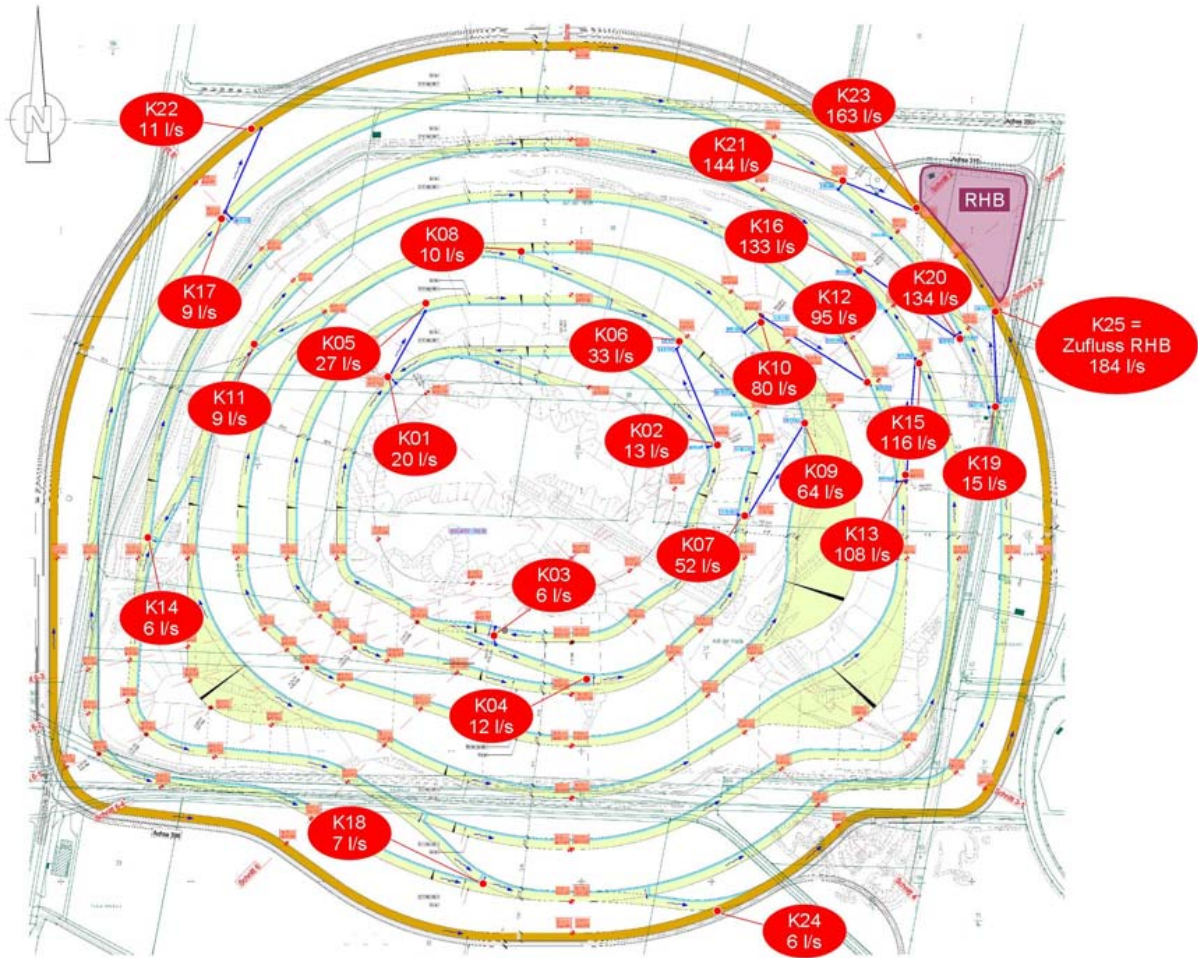
Entwässerungsfläche	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] Einzelentwässerungsfläche
01-1	51	8,8
01-2	51	11,1
02-1	51	7,4
02-2	51	5,3
03-1	51	2,2
03-2	51	3,8
04-1	51	1,9
04-2	51	3,9
05-1	51	6,9
06-1	51	7,1
07-1	51	5,9
07-2	51	4,3
08-1	51	8,9
08-2	51	1,0
09-1	51	12,2
10-1	51	4,9
10-2	51	3,6
11-1	51	8,5
12-1	51	8,0
13-1	51	2,8
13-2	51	10,5
14-1	51	5,7
15-1	51	8,7
16-1	51	8,7
16-2	51	3,3
17-1	51	9,1
18-1	51	6,5
19-1	51	8,6
20-1	51	1,7
21-1	51	9,2
21-2	51	4,2
22-1	51	1,6
23-1	51	8,1
24-1	51	6,4
25-1	51	5,2
25-2	51	3,8
Flächengewichtetes Mittel Gesamthalde	51	

Fortsetzung Anlage 21:

Starkregen-Oberflächenabflüsse für den Zeitschnitt 3 (Endzustand nach Abdeckung mit voller Bewuchsentwicklung)

c) maximale Durchflusswerte an den Knotenpunkten für eine maßgebende Regendauer von 50 min:

Knotenpunkt	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s] am Knotenpunkt (inclusive aller Zuflüsse von oberhalb)
K01	51	19,8
K02	51	12,7
K03	51	6,0
K04	51	11,7
K05	51	26,8
K06	51	32,8
K07	51	51,9
K08	51	9,9
K09	51	64,0
K10	51	80,0
K11	51	8,5
K12	51	95,4
K13	51	107,9
K14	51	5,7
K15	51	116,3
K16	51	132,8
K17	51	9,1
K18	51	6,5
K19	51	15,0
K20	51	134,2
K21	51	144,2
K22	51	10,7
K23	51	162,8
K24	51	6,4
K25 = Zufluss RHB	51	184,2



Anlage 22:

Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 1

a) Ergebnisausgabe beispielhaft für eine Regendauer von 12 Stunden (Maximum des Speichervolumens):

SPEICHERVOLUMENBEMESSUNGSPROGRAMM S P E I C H E R

Das Programm SPEICHER dient der Bemessung eines Regen- bzw. Hochwasser-rueckhaltebeckens fuer den Fall einer konstanten Regelabgabe aus dem Rueckhaltebecken bei bekannter Zuflussganglinie.

Modelling by V. Dunger (1995, up-date 11/2002)

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

Dateiname des Zuflussfiles: c:\wathling\isochron\rhb.icn
Dateiname des Ergebnisfiles: c:\wathling\speicher\rhb-0720.spc
konstante Regelabgabe: 55.6 l/s

B E R E C H N U N G S A N S A T Z :

Die Berechnung des aktuellen Speicherinhaltes $S(t_j)$ erfolgt durch die Anwendung der Kontinuitäts Gleichung:

$$S(t_j) = S(t_{j-1}) + DS$$

mit $S(t_j)$ - Speicherinhalt zum Zeitpunkt t_j in m^3
 $S(t_{j-1})$ - Speicherinhalt zum Zeitpunkt t_{j-1} in m^3 und

$$DS = 3600 * \{0.5 * [Q(t_j) + Q(t_{j-1})] * DT - 0.5 * [QA(t_j) + QA(t_{j-1})] * DT\}$$

wobei DS - Änderung des Speicherinhaltes in m^3
 $Q(t)$ - Zufluss zum Speicher in m^3/s
 $QA(t)$ - Ausfluss aus dem Speicher in m^3/s ($QA(t) = \text{konstant} = QR$,
wobei QR - Regelabgabe bei Füllung des Speichers)
DT - Berechnungszeitintervall in h

S I M U L A T I O N S E R G E B N I S S E :

Zeitschritt t [min]	Zuflussganglinie QZU [l/s]	Speichervolumen V [m^3]	Ausflussganglinie QAUS [l/s]
1	11.609	0.0	11.609
2	12.451	0.0	12.451
3	13.616	0.0	13.616
4	15.054	0.0	15.054
.	.	.	.

Zeitschritt t [min]	Zuflussganglinie QZU [l/s]	Speichervolumen V [m ³]	Ausflussganglinie QAU [l/s]
820	69.147	6890.2	55.600
821	68.378	6891.0	55.600
822	67.627	6891.7	55.600
823	66.880	6892.4	55.600
824	66.144	6893.0	55.600
825	65.418	6893.6	55.600
826	64.702	6894.1	55.600
827	63.991	6894.6	55.600
828	63.294	6895.1	55.600
829	62.602	6895.5	55.600
830	61.923	6895.9	55.600
831	61.248	6896.2	55.600
832	60.584	6896.5	55.600
833	59.928	6896.8	55.600
834	59.280	6897.0	55.600
835	58.636	6897.2	55.600
836	58.007	6897.4	55.600
837	57.384	6897.5	55.600
838	56.766	6897.5	55.600
839	56.159	6897.6	55.600
840	55.559	6897.6	55.600
841	54.966	6897.5	55.600
842	54.382	6897.4	55.600
843	53.805	6897.3	55.600
844	53.234	6897.2	55.600
845	52.669	6897.0	55.600
846	52.115	6896.8	55.600
847	51.565	6896.6	55.600
848	51.022	6896.3	55.600
849	50.487	6896.0	55.600
850	49.958	6895.7	55.600
851	49.439	6895.3	55.600
852	48.921	6894.9	55.600
853	48.412	6894.5	55.600
854	47.909	6894.0	55.600
855	47.415	6893.5	55.600
856	46.925	6893.0	55.600
857	46.442	6892.4	55.600
858	45.965	6891.8	55.600
859	45.493	6891.2	55.600
860	45.027	6890.6	55.600
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
19995	57.107	101093.1	10.650
19996	57.107	101095.8	10.650
19997	57.107	101098.6	10.650
19998	57.107	101101.4	10.650
19999	57.107	101104.2	10.650
20000	57.107	101107.0	10.650

* Zuflussmaximum: QZUMAX = 231.5 l/s

* Ausflussmaximum: QABMAX = 55.6 l/s

* RHB-Speichereinhalt: SMAX = 6897.6 m³

Fortsetzung Anlage 22:

Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 1

b) Ergebniszusammenfassung:

Regendauer P_D	Minimal notwendiges Speichervolumen [m ³]
5 min	1 198
10 min	2 184
15 min	2 861
20 min	3 364
30 min	4 070
45 min	4 783
60 min	5 274
90 min	5 611
2 h	5 844
3 h	6 204
4 h	6 453
6 h	6 726
9 h	6 879
12 h	6 898
18 h	6 632
24 h	6 372

→ minimal notwendiges Speichervolumen: ca. 6 900 m³

Anlage 23:

Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 2

Regendauer P_D	Minimal notwendiges Speichervolumen [m ³]
5 min	752
10 min	1 232
15 min	1 675
20 min	2 005
30 min	2 476
45 min	2 922
60 min	3 286
90 min	3 502
2 h	3 645
3 h	3 851
4 h	3 975
6 h	4 063
9 h	4 035
12 h	3 953
18 h	3 594
24 h	3 280

→ minimal notwendiges Speichervolumen: ca. 4 100 m³

Anlage 24:

Ergebnisse der Untersuchungen zum minimal notwendigen Speichervolumen der der Rückhalteräume für den Zeitschnitt 3

Regendauer P_D	Minimal notwendiges Speichervolumen [m ³]
5 min	277
10 min	488
15 min	630
20 min	733
30 min	874
45 min	980
60 min	1 092
90 min	1 119
2 h	1 120
3 h	1 091
4 h	1 030
6 h	854
9 h	525
12 h	163
18 h	0
24 h	0

→ minimal notwendiges Speichervolumen: ca. 1 100 m³

Anlage 25:

Ermittlung der Drainableitkapazitäten für die Zeitscheibe 3

a) Zusammenfassung wesentlicher Parameter für die Drainageschichten:

Drainage	Gefälle [%]	Länge [m]	Mächtigkeit [cm]
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 1	7,0	194,38	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 2	6,0	176,37	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 3	8,0	125,69	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 4	9,8	100,90	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 5	11,0	96,22	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 6	8,0	114,98	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 7	4,5	210,06	20
Drainageschicht Haldentop, Schnitt 8	4,3	225,60	20
Kürzestes Horizontaldrainage, Schnitt 7	2,0	27,00	20
Längste Horizontaldrainage, Schnitt 5	2,0	103,98	20
Längste Drainage Bermenaufweitung, Schnitt 3	4,5	100,00	50
Schrägdrainage, Schnitt 1	67,6	89,60	200
Schrägdrainage, Schnitt 2	74,2	40,03	200
Schrägdrainage, Schnitt 3	65,2	43,65	200
Schrägdrainage, Schnitt 4	41,5	120,00	200
Schrägdrainage, Schnitt 5	69,9	77,50	200
Schrägdrainage, Schnitt 6	61,6	95,97	200
Schrägdrainage, Schnitt 7	63,4	77,67	200
Schrägdrainage, Schnitt 8	65,7	96,60	200
Sohldrainage, Schnitt 1	2,0	104,33	100
Sohldrainage, Schnitt 2	2,0	70,21	100
Sohldrainage, Schnitt 3	2,0	67,03	100
Sohldrainage, Schnitt 4	2,0	66,39	100
Sohldrainage, Schnitt 5	2,0	124,63	100
Sohldrainage, Schnitt 6	2,0	96,60	100
Sohldrainage, Schnitt 7	2,0	99,95	100
Sohldrainage, Schnitt 8	2,0	99,35	100

Fortsetzung Anlage 25:

Ermittlung der Drainableitkapazitäten für die Zeitscheibe 3

b) Ermittlung der Verteilung der Drainzuflüsse R_{zu} beispielhaft für die Drainageschicht Haldentop, Schnitt 8:

Jahr	Monat	Tag	P_U [%]	R_{zu} [mm/d]
2008	3	12	99,68060	2,3
1994	5	11	99,68972	2,3
1994	5	16	99,69885	2,3
1994	6	13	99,70798	2,3
2008	3	23	99,71710	2,3
2008	3	11	99,72623	2,4
1994	6	19	99,73535	2,4
1994	6	20	99,74448	2,4
2008	3	18	99,75360	2,4
2008	4	6	99,76273	2,4
2008	6	2	99,77186	2,4
1994	6	11	99,78098	2,4
2008	3	26	99,79011	2,4
1994	6	10	99,79923	2,5
2008	6	4	99,80836	2,5
1994	6	3	99,81748	2,5
2008	4	5	99,82661	2,5
2008	3	20	99,83574	2,5
2008	6	3	99,84486	2,5
2008	4	11	99,85399	2,5
2008	3	25	99,86311	2,6
1994	6	2	99,87224	2,6
1994	6	9	99,88137	2,6
2008	4	19	99,89049	2,7
2008	4	21	99,89962	2,7
2008	4	7	99,90874	2,7
2008	4	8	99,91787	2,8
1994	4	18	99,92699	2,8
1994	4	16	99,93612	2,9
2008	4	10	99,94525	2,9
2008	4	9	99,95437	3,0
2008	4	20	99,96350	3,1
2008	3	22	99,97262	3,1
1994	4	17	99,98175	3,7

 Drainzufluss für ein Wiederkehrintervall von $T = 5$ Jahre

Fortsetzung Anlage 25:

Ermittlung der Drainableitkapazitäten für die Zeitscheibe 3

c) Ergebnisse beispielhaft für die Drainageschicht Haldentop, Schnitt 1:

DEPONIE- UND HALDENWASSERHAUSHALTSMODELL BOWAHALD

DRAINAGEBEMESSUNGSTEILMODELL D R A I N A G E

Das Modell DRAINAGE ist Teil des Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodells BOWAHALD und dient der Prüfung/Bemessung von Drainageelementen bezüglich Mächtigkeit, Entwaasserungsstrecken und Stauwasserbildung.

Modelling by V. Dunger (05/2012)

Betrachtetes Objekt: Haldentop Schnitt 1
Identifikations-Nr.: s01
Parametergrundlage (Uebergabefile): c:\wathling\uebergab\s01
Dateiname Ergebnisfile: c:\wathling\ergebnis\top-s01

1. BERECHNUNGSRELEVANTE EINGABEWERTE

Vertikale Schichtenabfolge (von oben nach unten):

- Schicht 1:	K = 7.00E-05 m/s,	H = 15.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 2:	K = 3.00E-06 m/s,	H = 15.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 3:	K = 4.00E-07 m/s,	H = 20.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 4:	K = 2.00E-07 m/s,	H = 250.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 5:	K = 2.00E-07 m/s,	H = 300.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 6:	K = 3.10E-05 m/s,	H = 10.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 7:	K = 5.00E-04 m/s,	H = 40.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m
- Schicht 8:	K = 5.00E-10 m/s,	H = 50.00 cm,	I = 7.0 %,	L = 194.4 m

(K - kf-Wert, H - Mächtigkeit, I - Gefaelle, L - Hanglaenge)

- zu bemessendes Drainageelement: Schicht 7

Detaillierte Angaben zum Drainelement:

- Drainabstand D (hangparallel):	D = 194.38 m
- Drainstaerke (Mächtigkeit) H:	H = 40.00 cm
- kf-Wert K:	K = 5.00E-04 m/s
- Gefaelle I:	I = 7.00 %

Angaben zur Bemessungssickerwassermenge:

- Bemessungssickerwassermenge R:	R = 2.90 mm
(Ermittlung auf Grundlage einer HELP- bzw. BOWAHALD-Modellierung)	
- Dauer des Sickerwasseranfalls D:	D = 24.00 h
- Wiederkehrsintervall T:	T = 5.00 a

Nutzungsparameter:

Bewuchs-/Nutzungsart: NZ = 20 (Waldnutzung)
Vegetationsbedeckungsgrad: A = 100 %
Bestandsentwicklung: BE = 2 (normal)
Wuchsform: WFO = 4 (Altholz)
Bestandsaufbau: BAB = 2 (mehrschichtig)
Waldschadensklasse: SKL = 0 (ohne Schadmerkmale)

2. BERECHNUNGSALGORITHMUS (STICHPUNKTARTIG)

Die Berechnung der Wasserhaushaltsgroessen fuer den Gesamtbereich der betrachteten Deponie (einschliesslich ober- und unterhalb des zu bemessenden Drainelementes liegenden Schichten) erfolgt mittels Wasserhaushaltsmodelle (z.B. HELP oder BOWAHALD).

Die maximale Wasseraufstauhoehe auf dem Drainelement wird nach Gleichungen nach SCHMID (1993) fuer stationaere Verhaeltnisse berechnet. Betrachtet wird eine ausschliesslich talseitige Drainentwaesserung. Nach SCHMID (1993) wird die maximale Aufstauhoehe fuer 3 Faelle berechnet:

Fall A: $\Delta > 0$ mit $\Delta = 4 (RD - RU) / K - I^2$

$HMAX = [(RD - RU) / K]^{0,5} \cdot D \cdot \exp [I / \Delta \cdot A]$

wobei

$A = \arctg \{ [K \cdot I^2 - 2 (RD - RU)] / (K \cdot I \cdot \Delta) \} - \arctg (I / \Delta)$

Fall B: $\Delta = 0$ mit $\Delta = 4 (RD - RU) / K - I^2$

$HMAX = [(RD - RU) / K]^{0,5} \cdot D / e$

Fall C: $\Delta < 0$ mit $\Delta = 4 (RD - RU) / K - I^2$

$HMAX = [(RD - RU) / K]^{0,5} \cdot D \cdot B^{[I / 2 (-\Delta)^{0,5}]}$

wobei

$$B = \left| \begin{array}{cc} -2 (RD - RU) + K \cdot I [I - (-\Delta)^{0,5}] & I + (-\Delta) \\ \hline -2 (RD - RU) + K \cdot I [I + (-\Delta)^{0,5}] & I - (-\Delta) \end{array} \right|$$

mit: HMAX - maximale Aufstauhoehe [m]
D - Drainabstand (hangparallel) [m]
K - kf-Wert des Drainelements [m/s]
RD - Sickerwasserzutritt zur Drainage [m/s]
RU - Versickerung in unterliegende Schichten [m/s]
I - Gefaelle des Drainelements []
e - EULER'sche Zahl (e = 2,71828)

3. BERECHNUNGSERGEBNISSE

Wasserhaushaltsgroessen fuer den Bemessungsfall (HELP-/BOWAHALD-Ergebnisse):

- Sickerwasserzutritt zur Drainage RD: RD = 2.90 mm
- Versickerung in unterliegende Schichten RU = 0.04 mm

Im Ergebnis der wasserhaushaltlichen Optimierung berechnete maximale Aufstauhoehe innerhalb des Drainelementes (nach SCHMID, 1993):

- maximale Aufstauhoehe HMAX: HMAX = 17.53 cm
(zum Vergleich: Drainelementstaerke: H = 40.00 cm)

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die berechnete maximale Aufstauhoehe HMAX uebersteigt die Maechtigkeit des Drainelementes nicht. Die betrachtete Schicht ist hinsichtlich ihres Drainvermoegens unter den gegebenen Randbedingungen fuer den Bemessungsfall akzeptabel.

Folgende Drainwerte koennen als Grenzwerte angesehen werden, fuer die eine ausreichende Drainbemessung gerade noch moeglich waere (in-etwa-Werte):

- maximaler Drainabstand DMAX (hangparallel): DMAX = 0.00 m oder
- minimale Drainstaerke (Maechtigkeit) HMIN: HMIN = 17.53 cm oder
- minimaler Drain-kf-Wert KMIN: KMIN = 0.00E+00 m/s oder
- minimales Draingefaelle IMIN: IMIN = 0.00 % (= 4.0 °)

5. LITERATUR

Bartels, H. u.a. (1997):

Starkniederschlagshoeihen fuer Deutschland KOSTRA. Offenbach a. M., Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Berger, K. (1998):

Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Modell: Benutzerhandbuch fuer die deutsche Version 3. Institut fuer Bodenkunde der Universitaet Hamburg

Dunger, V. (2002):

Dokumentation des Modells BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von wasserungesaettigten Deponien/Halden und deren Sicherungssystemen

Lesaffre, B. (1987):

Analytical formulae for travers drainage of sloping lands with constant rainfall. Irrigation and Drainage Systems, Vol. 1, No 2

Maniak, U. (1982):

Rainfall runoff process. Proc. Symposium Hydrology Research Basin. Sonderheft Landeshydrologie Bern

Maniak, U. (1992):

Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einfuehrung fuer Ingenieure. 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Schmid, B. H. (1993):

Die maximale Wassertiefe ueber gleichmaessig beaufschlagten, geneigten Dichthorizonten. Wasser und Boden, Heft 9

Schroeder, P. R., T. S. Dozier, P. A. Zappi, B. M. McEnroe, J. W. Sjostrom & 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.

Fortsetzung Anlage 25:

Ermittlung der Drainableitkapazitäten für die Zeitscheibe 3

d) Ergebnisübersicht für alle betrachteten Drainagen und Schnitte:

Drainelemente	RH _{MAX} [mm/d] (T = 5 a)	Seitliche Zuflüsse von Drainagen oberhalb		Maximale Aufstauhöhe im Drainelement [cm]	Vorhandene Mächtigkeit des Drainelements [cm]	Drainentwässerung ohne Zwischenfassung möglich	
		ja	nein			ja	nein
Haldentop, Schnitt 1	2,9		X	18	40	X	
Haldentop, Schnitt 2	2,9		X	18	40	X	
Haldentop, Schnitt 3	2,5		X	9	40	X	
Haldentop, Schnitt 4	2,5		X	6	40	X	
Haldentop, Schnitt 5	2,0		X	4	40	X	
Haldentop, Schnitt 6	3,0		X	9	40	X	
Haldentop, Schnitt 7	3,0		X	29	40	X	
Haldentop, Schnitt 8	2,9		X	32	40	X	
Kürzestes Horizontaldrainage, Schnitt 7	2,1		X	3	40	X	
Längste Horizontaldrainage, Schnitt 5	2,1		X	13	40	X	
Längste Drainage Bermenaufweitung, Schnitt 3	1,9	X		12	40	X	
Schrägdrainage, Schnitt 1	0,9		X	1	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 2	1,0		X	0	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 3	0,8		X	0	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 4	0,8		X	0	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 5	0,3		X	0	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 6	0,8		X	1	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 7	0,8		X	0	200	X	
Schrägdrainage, Schnitt 8	1,0		X	1	200	X	
Sohldrainage, Schnitt 1	2,1	X		7	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 2	2,1	X		7	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 3	1,3	X		3	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 4	1,3	X		4	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 5	0,3	X		1	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 6	1,2	X		5	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 7	1,2	X		4	100	X	
Sohldrainage, Schnitt 8	2,1	X		7	100	X	