

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

Projekt-Nr.

2202578

Ausfertigungs-Nr.

PDF

Datum

29. Juli 2020

Altablagerung „Am Dachsberg“ bei Köchstedt

Verträglichkeit der Errichtung und des Betriebes einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber

**Grüne Energien Solar GmbH
Ignaz-Stroof-Str. 8
06749 Bitterfeld - Wolfen**

Bearbeiter: Dipl.-Geol. Thomas Schwengfelder

Inhaltsverzeichnis

Text	Seite
1. Anlass	3
2. Aufgabenstellung	3
3. Vorliegende Altunterlagen	5
4. Untersuchungen	6
4.1 Felduntersuchungen	6
4.2 Laboruntersuchungen	6
5. Standortkonkrete Eingangsparameter für das Wasserhaushaltsmodell	7
6. Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung	8
7. Zusammenfassende Bewertung	9

Anlagen

- 1 Übersichtslageplan
- 2 Mächtigkeit Abdeck-Substrat mit Aufschlüssen

Anhang

- 1 Wasserhaushaltsberechnung DUNGER 2020
- 2 Profile der Sondierungen
- 3 Analysenbericht

1. Anlass

Es ist beabsichtigt, eine Nachnutzung der Altablagerung (oft als ehem. Deponie bezeichnet) „Am Dachsberg“ bei Köchstedt als Standort für die Energiegewinnung aus Photovoltaikanlagen vorzunehmen.

Die Altablagerung ist mit einer Rekultivierungsschicht aus Kompostsubstrat (wahrscheinlich Klärschlammkompost) abgedeckt, die durch eine wasserhaushaltliche Wirkung den Sickerwasserzutritt in die unterliegenden Ablagerungsmassen verringert. Momentan wird die Fläche landwirtschaftlich durch den Anbau mit Mais für die Biogasgewinnung genutzt.

Der Vorhabensträger wurde durch die Umweltbehörde des Saalekreises aufgefordert, den Nachweis zu erbringen, dass sich die wasserhaushaltliche Wirkung der Abdeckung durch die geplante Nachnutzung als PV-Anlage nicht wesentlich verschlechtert.

2. Aufgabenstellung

Es ist gängige Praxis, das wasserhaushaltliche Verhalten von Oberflächensicherungen von Halden bzw. Deponien und die in ihnen ablaufenden hydrologischen Prozesse durch die Anwendung geeigneter Modelle zu beschreiben und zu bilanzieren. Prinzipiell bieten sich hierfür die Modelle HELP bzw. BOWAHALD an. Für den konkreten Anwendungsfall wurde das Modell BOWAHALD verwendet, weil für dieses Modell Erfahrungen bezüglich der Parametrisierung der Solarpanels aus anderen Projekten vorliegen.

Im Sinne einer Zeit- und Kostenminimierung erfolgten die Modellrechnungen unter Zugrundelegung von bereits vorliegenden Ergebnissen.

Lediglich die Mächtigkeit der Deckschicht sowie der Dichtschicht wurden durch Stichproben mittels Sondierung ermittelt. Anhand der lithologischen Ansprache können wasserhaushaltliche Parameter dieser Schichten plausibel abgeschätzt werden.

Am Deckschichtsubstrat wird der Glühverlust ermittelt, um die Größenordnung des mineralischen Anteils abschätzen zu können, was für die Herleitung und Begründung plausibler Wassertransport- und -speicherparameter des Kompostsubstrats von Bedeutung ist.

Wegen des Umstandes, dass es sich bei der etwa 5 ha großen Fläche um eine nahezu ebene Fläche ohne merkliche morphologische Unterschiede handelt, wird davon ausgegangen, dass die Fläche als einheitliches Hydrotop betrachtet werden kann. Allerdings ergeben sich verschiedene Modellläufe dadurch, dass die Wassertransport- und -speichereigenschaften der Deckschichten und

insbesondere des Kompostsubstrats nicht genau bekannt sind und diese Unsicherheiten folglich im Zuge der Modellierung durch Varianten abgebildet werden sollten.

Der reale Bewuchsansatz für den Istzustand ist Mais. Die jahreszeitliche Variabilität der Bewuchsparameter der Maispflanzen wird berücksichtigt.

Bezüglich der wasserhaushaltlichen Quantifizierung der PV-Module werden veröffentlichte Ergebnisse herangezogen, die im Zuge einer BOWAHALD-Kalibrierung für das PV-Feld der Deponie Bautzen-Nadelwitz gewonnen wurden. Hiernach sind für den Planungszustand mit PV-Anlage die folgenden Annahmen zu treffen:

- Auftreffen der sich auf den Modulen bildenden Oberflächenabflüsse auf die Bodenoberfläche am tiefsten Punkt des Moduls,
- Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche durch die PV-Module verkleinert durch eine flächengewichtete Verminderung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert) der Bodenoberfläche,
- Verminderung des Bestandskoeffizienten (kC-Faktor) unter den PV-Modulen im Vergleich zu den Grasflächen neben den Modulen (Freiland) eingeschränkte potenzielle Verdunstung unter den PV-Modulen gegenüber dem Freiland infolge des geringeren Strahlungsangebots,
- Annahme einer Reduzierung der maximalen Wurzeltiefe des Grasbewuchses unter den Modulen im Vergleich zum Freilandbewuchs neben den Paneelen sowie
- Abminderung des maximalen Bewuchsbedeckungsgrades unter den PV-Modulen.

Zur Modellierung werden meteorologische Daten als Tageswerte über einen langjährigen, i. d. R. 30-jährigen Zeitraum benötigt. Es wurden die im Internet frei verfügbaren Tageswerte der DWD-Station Teutschenthal in unmittelbarer Nähe des Untersuchungsstandorts (Messungen seit 1969) genutzt. Die Niederschlagsdaten weisen keine Lücken auf.

Daten für die ebenfalls zur Modellierung notwendigen Klimaelemente Temperatur und relative Luftfeuchte liegen für die DWD-Stationen Bad Lauchstädt, Halle-Kröllwitz und Querfurt-Lodersleben vor, die alle nicht weiter als 15 km vom Untersuchungsstandort entfernt sind. Im Sinne einer Vergleichbarkeit der Modellergebnisse wird der seitens des DWD empfohlene Bezugszeitraum 1981 – 2010 zugrunde gelegt.

Wichtig ist, dass die wasserhaushaltliche Leistungsfähigkeit des Sicherungssystems durch die PVA nicht gravierend beeinträchtigt wird und damit die wasserhaushaltliche Funktionalität insgesamt erhalten bleibt. Dieser Nachweis ist nur auf Basis einer Wasserhaushaltsmodellierung quantitativ möglich. Der

Nachweis beinhaltet die Wasserhaushaltsgrößen Oberflächenabfluss, Verdunstung sowie Sickerwasserbildung. Dabei sind die sich in einem langjährigen Zeitraum infolge der PVA ergebenden Änderungen des Wasserhaushalts (Mittel, Schwankungen in Nass- und Trockenjahren) sowie die Änderungen im Starkregenfall zu betrachten.

Auf Grund der Tatsache, dass es um Aussagen zum Einfluss einer zu planenden PVA auf einer bereits oberflächengesicherten und rekultivierten Altablagerung geht, sind die oben unter a), bis c) genannten Nachweise für zwei Zustände zu erbringen: für den Istzustand ohne PVA (landwirtschaftliche Bewirtschaftung mit Mais) und für den Planungszustand mit PVA (dauerhafter Bewuchs mit Gras/Kraut).

Im Ergebnis waren folgende maßgeblichen Untersuchungsschritte durchzuführen:

- Auswertung vorliegender Unterlagen zur Rekultivierung der Altablagerung.
- Überprüfung der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht durch Stichprobenuntersuchungen.
- Beprobung der Rekultivierungsschicht und Untersuchung des Glühverlusts zur Ermittlung des organischen Anteils des Kompostsubstrates. Damit soll die Auswahl geeigneter Eingangsparameter für eine Wasserhaushaltsmodellierung aus Literaturdaten erfolgen.
- Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells, das Bereiche der Traufkanten mit massivem Niederschlagsauftrag und schirmende Modulflächen mit geringerem Niederschlagsauftrag unterscheidet.
- Da keine ortskonkreten pedologischen Parameter ermittelt werden, waren Modellvarianten im Sinne von real case und worst case zu rechnen.

3. Vorliegende Altunterlagen

Beim Umweltamt des Saalekreises liegen folgende Unterlagen vor und wurden zur Einsicht zur Verfügung gestellt:

- /1/ Abschlussbericht zum Vorhaben Sanierung ehem. Deponie „Am Dachsberg“, - Kies und Sand Köchstedt GmbH, Halle 22.01.2008
- /2/ Untersuchungsbericht Sanierung ehemalige Deponie „Am Dachsberg“, - Kies und Sand Köchstedt GmbH, Halle 18.06.2019

Danach wurde die Altablagerung mit einem Zweischichtsystem abgedeckt. Unter einer obersten kulturfähigen Deckschicht aus mit Oberboden vermischem Kompostsubstrat (durchschnittlich 1 m mächtig) befindet sich eine bindige und tonige Dichtschicht mit einer Mächtigkeit von angenommen 0,3 m. Die Deckschicht fällt leicht nach Norden bzw. Osten ein /1/.

Angaben zu qualitativen Parametern, die für die Wasserhaushaltsmodellierung erforderlich sind, sind nicht konkret bekannt.

4. Untersuchungen

4.1 Felduntersuchungen

Am 28.05.2020 wurden an 6 Standorten Mächtigkeitsermittlungen der Rekultivierungsschicht mit der Handschappe durchgeführt.

Aus jeder Sondierung wurden Proben für die laborative Untersuchung des Glühverlustes entnommen.

Am 06.07.2020 erfolgten nachträglich 5 Aufschlüsse im Nordosten der Untersuchungsfläche, da dort in geringen Sondiertiefen unbekannte Bohrhindernisse festgestellt wurden. Unklar bleibt, ob die Bohrhindernisse in der Abdeckschicht eingelagert sind oder den obersten Bereich einer stark Bauschutt enthaltenden Altablagerung markieren. Insofern stellt die in Anlage 2 ausgewiesene Mächtigkeit der Abdeckschicht eine Mindestmächtigkeit dar.

Die Ansatzpunkte der Felduntersuchungen und die sondierte Mindestmächtigkeit sind in Anlage 2 (Schichtenverzeichnisse siehe Anhang 2) ersichtlich.

4.2 Laboruntersuchungen

In /1/ wird ausgesagt, dass die Deckschicht als Gemisch aus Oberboden und Kompostsubstraten hergestellt wurde. Am Deckschichtsubstrat wurde der Glühverlust ermittelt, um die Größenordnung des mineralischen bzw. humosen Anteils abschätzen zu können, was für die Herleitung und Begründung plausibler Wassertransport- und -speicherparameter des Klärschlammkompostsubstrats von Bedeutung ist.

Die im Oberboden gewonnenen 6 Proben wurden nach DIN EN ISO 15169-05 (A) auf den Glühverlust untersucht.

Es wurde ein Glühverlust zwischen 22 % und 33 % nachgewiesen, der dem organischen Anteil (Kompost) der Abdeckschicht gleichgesetzt werden kann (Analysenprotokoll siehe Anhang 3).

5. Standortkonkrete Eingangsparameter für das Wasserhaushaltsmodell

Die durchgeführten Wasserhaushaltsberechnungen sind in Anhang 1 im Detail dokumentiert.

Für den geplanten Solarpark ist eine Fläche von 5,53 ha vorgesehen. Der geplante Flächenanteil, den die PV-Module bezogen auf die Gesamtfläche (sog. Bodenüberdeckung) einnehmen werden, beträgt 55 %.

Die Vertikaldiskretisierung resultiert aus der vertikalen Schichtenabfolge der bereits realisierten Oberflächensicherung. Im Ergebnis der durch die HPC AG Merseburg durchgeführten Sondierungen ergibt sich eine Abdeckschicht aus Klärschlammkompost (KSK), die durchschnittliche 0,75 m mächtig ist. Die ursprüngliche Planung geht von zwei Schichten aus: einer 1,0 m mächtigen KSK-Abdeckschicht unterlagert von einer 0,3 m mächtigen dichtenden Schicht. Diese beiden möglichen Schichtpakete liegen den Modellrechnungen unter den folgenden Bezeichnungen zugrunde:

- Einschichtabdeckung: 0,75 m KSK entsprechend HPC-Sondierung und
- Zweischichtabdeckung: 1,0 m KSK + 0,3 m dichtende Schicht wie geplant.

Für die Modellierung wurden die folgenden Eingabeparameter festgelegt:

Geographisch-morphologische Parameter:

- gleich für alle Berechnungen

Nutzungs-/Bewuchsparameter für den Istzustand ohne PV-Module:

- Bewuchs: Mais → jedes Jahr wird Mais angebaut, für Energiezwecke.
- Bewuchsentwicklung: normal
- Vegetationsbedeckungsgrad, Wurzeltiefe, Bereich der maximalen Wurzel-dichte und Bestandskoeffizient (kc-Faktor) jahreszeitlich variabel, dabei wird berücksichtigt, dass die Fläche vor dem Aufgehen und nach der Ernte kaum bewachsen ist.

Nutzungs-/Bewuchsparameter für den Planungszustand –PV-Module

- Bewuchs: Gras-Krautbewuchs, ganzjährig vorhanden
- Bewuchsentwicklung: normal
- Vegetationsbedeckungsgrad: 90 %

- Wurzeltiefen: Einschichtabdeckung: 0,75 m (der Mächtigkeit der KSK-Abdeckung entsprechend), Zweischichtabdeckung: 1,20 m plausibel für Gras-Kraut-Bewuchs), Bereich der maximalen Wurzeldichte: 0,2 m
- Bestandskoeffizient (kc-Faktor): 1,0

Für die Bereiche unterhalb der PV-Module wurden die Bewuchsparameter kC-Faktor, Bewuchsbedeckungsgrad und maximale Wurzeltiefe abgemindert.

Pedologische Parameter

Zur Parametrisierung der Klärschlammkomposte wurden vor allem veröffentlichte Forschungsergebnisse der MLU Halle genutzt und u.a. anhand der analysierten Glühverluste ausgewählt.

6. Ergebnisse der Wasserhaushaltsmodellierung

Die Ergebnisse der konkretisierten Wasserhaushaltsberechnung sind im Bericht von DUNGER 2020 im Anhang 1 ausführlich dargelegt und werden nachfolgend nur kurz zusammenfassend wiedergegeben.

Auf der Grundlage der nach Plausibilitätsprüfung angesetzten Parameter für die Einschichtabdeckung KSK wurde für den unbebauten IST-Zustand im langjährigen Mittel eine Restdurchsickerung von 52 mm mit BOWAHALD berechnet. Das entspricht < 10 % des Jahresniederschlags (langjähriges Mittel) von 560 mm.

Nach Bebauung mit einer PV-Anlage erhöht sich die Restdurchsickerung der Einschichtabdeckung KSK leicht auf 64 mm im langjährigen Mittel.

Datensatz	Istzustand ohne PVA		Planungszustand mit PVA		Planungszustand vs. Istzustand	
	Einschicht	Zweischicht	Einschicht	Zweischicht	Einschicht	Zweischicht
konservativ	73	70	79	63	+ 6	- 7
KSK	52	48	64	53	+ 12	+ 5

Die Berechnung der Zweischichtabdeckung führte zu besseren Ergebnissen, d.h. geringeren Restdurchsickerungen.

Die Unsicherheiten, die sich auf Grund der unsicheren Informationslage bezüglich der Schichtung, der Mächtigkeit und der pedologisch relevanten Parameter der Abdeckung ergeben, lassen keine eindeutigeren Aussagen zur Änderung des Sickerwasserverhalten zu. Wahrscheinlich existieren bezüglich der Sickerwasserbildung jedoch keine großen Unterschiede zwischen Ist- und Planungszustand.

7. Zusammenfassende Bewertung

Die zur Verifizierung des Abdecksystems durchgeführten Sondierungen belegen eine hinreichende mittlere Deckschichtmächtigkeit. Allerdings konnten um die Sondierung 6 a-d aufgrund von Bohrhindernissen keine sicheren Aussagen getroffen werden, so dass in dem Bereich vorläufig von einer gering mächtigen Abdeckung ausgegangen werden muss. Dieser Umstand kann beim Bau der PV-Anlage bzw. im Rahmen der Baugrunduntersuchungen aber vorab vertiefend geprüft werden und z.B. durch kleinräumige Massenumlagerungen behoben werden (Entnahme von Abdeckmaterial in Bereichen mit mächtigem Auftrag, siehe Anlage 2).

Um Unsicherheiten in der Abdeckungsgeometrie oder bei der Übertragung pedologischer Parameter aus anderen Projekten zu wichten, wurden verschiedene Varianten mit dem Modell BOWAHALD berechnet.

Die Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen aller Varianten im IST- und Planungszustand sind insgesamt als gut und damit positiv im Sinne der Sickerwasserminimierung (ca. 10 % des mittleren Jahresniederschlags) zu bewerten. Die Bebauung mit einer PV-Anlage wird im schlechtesten Fall zu einer leichten Sickerwassermehrmenge im langjährigen Mittel führen, wahrscheinlich sind eher keine Unterschiede relevant.

Damit ist das Vorhaben positiv zu bewerten. Die Abdeckung bleibt wirksam durch den nun initiierten dauerhaften Bewuchs. Eine mögliche leichte Erhöhung der Sickerrate nach Bebauung mit der PVA kann als vertretbar ausgewiesen werden.

Nach Errichtung der Photovoltaikanlage sind intensive Kontrollen auf Bewuchsschädigungen durchzuführen. Sollten ungünstige Verhältnisse festgestellt werden, ist diesen durch pflegerische Maßnahmen zu begegnen, da Erhöhungen der Restdurchsickerung mit geeigneter Bewuchspflege als verhältnismäßiger Maßnahme begegnet werden kann.

HPC AG



Dipl.-Geol. Thomas Schwengfelder
Projektleiter

Ehem. Deponie „Am Dachsberg“

Geplante Errichtung einer Photovoltaikanlage – Einfluss auf den Wasserhaushalt der Oberflächensicherung

für: HPC AG
Am Stadtweg 8
06217 Merseburg

Ansprechpartner: Herr Dipl.-Geol. Thomas Schwengfelder

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

Brand-Erbisdorf, den 21. Juni 2020



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

Geplante Errichtung einer Photovoltaikanlage auf der ehem. Deponie „Am Dachsberg“ – Einfluss auf den Wasserhaushalt der Oberflächensicherung

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zielstellung	2
2. Gesetzgeberische und Planungsrandbedingungen	2
3. Methodische Herangehensweise	3
4. Umsetzung der Methodik auf den Untersuchungsstandort	6
4.1. Horizontal- und Vertikaldiskretisierung	6
4.2. Modellparameter	7
4.3. Meteorologische Daten	12
4.3.1. Datenmaterial zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten	12
4.3.2. Starkregenmengen	14
5. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation	14
5.1. Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten	14
5.2. Austrocknung der Abdeckung und Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung aus wasserhaushaltlicher Sicht	18
5.3. Verhalten bezüglich der Oberflächenabfluss- und Sickerwasserbildung im Starkregenfall	20
6. Zusammenfassung	22
7. Literaturverzeichnis	25
8. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	27
9. Anlagenverzeichnis	28

Anlagen

1. Zielstellung

Für die ehem. Deponie „Am Dachsberg“, die in der Einheitsgemeinde Teutschenthal nördlich der Ortschaft Köchstedt unweit der Bundesstraße B 80 gelegen ist, wird erwogen, eine Photovoltaikanlage (PVA) zu errichten. Die ca. 5,5 ha große Altdeponie verfügt über eine Oberflächenabdeckung aus einem bindigen Substrat unter Zumischung von Klärschlammkompost. Im Zuge der Voruntersuchungen soll der Einfluss einer PVA auf den Wasserhaushalt der Oberflächenabdeckung quantifiziert werden.

Wichtig ist, dass die wasserhaushaltliche Leistungsfähigkeit des Sicherungssystems durch die PVA nicht gravierend beeinträchtigt wird und damit die wasserhaushaltliche Funktionalität insgesamt erhalten bleibt. Dieser Nachweis ist nur auf Basis einer Wasserhaushaltsmodellierung quantitativ möglich. Der Nachweis beinhaltet die Wasserhaushaltsgrößen Oberflächenabfluss, Verdunstung sowie Sickerwasserbildung. Dabei sind die sich in einem langjährigen Zeitraum infolge der PVA ergebenden Änderungen des Wasserhaushalts (Mittel, Schwankungen in Nass- und Trockenjahren) sowie die Änderungen im Starkregenfall zu betrachten.

2. Gesetzgeberische und Planungsrandbedingungen

Prinzipiell spricht nichts dagegen, PV-Anlagen auf Oberflächensicherungen von Halde oder Deponien zu bauen und zu betreiben. Wesentlich ist, dass es durch den Bau und den Betrieb der PVA zu keiner Beeinträchtigung der Wirksamkeit des Oberflächensicherungssystems kommen darf.

Bezüglich der Auswirkungen von Solarpanels auf den Wasserhaushalt von Oberflächensicherungen wird im Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard BQS 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ (LAGA, 2015) ausgeführt, dass diese vor allem infolge Beschattung und den am tiefsten Punkt der Solarpanels konzentrierten Abfluss von Niederschlagswasser zu erwarten sind. Ferner wird auf die damit im Zusammenhang stehende Gefahr einer verstärkten Erosion eingegangen und vermerkt, dass eine hinsichtlich Erosion stabile Pflanzendecke erhalten bleiben muss.

Gegenwärtig existiert deutschlandweit keine einheitliche Methodik bezüglich eines Nachweises des Einflusses von PV-Anlagen auf den Wasserhaushalt von Oberflächensicherungssystemen. Allerdings wird durch die Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards BQS 7-1 bzw. 7-2 (LAGA, 2016 a, b) und BQS 7-4a (2015) geregelt, welche Anforderungen an technische Funktionsschichten und welche Nachweise bezüglich der Einschätzung der wasserhaushaltlichen Wirksamkeit von Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschichten notwendig sind:

- a) die Quantifizierung des Jahresverlaufes der potenziellen Verdunstung, der klimatischen Wasserbilanz sowie die Niederschlagshöhe und -verteilung, d. h. Betrachtung des Wasserhaushalts von Durchschnitts- und Extremjahren (Nass- und Trockenjahre bzw. sickerwasserarme und -reiche Jahre) nicht zuletzt in Bezug auf die ausreichende Versorgung der Pflanzen mit Wasser,

- b) damit im Zusammenhang stehend der Grad der Austrocknung der Rekultivierungsschicht in Trockenjahren und die damit verbundene Häufigkeit von Austrocknungsbeträgen, die als trockenstressrelevant für den Bewuchs anzusehen sind,
- c) Betrachtungen zu den Starkregenhäufigkeiten und -intensitäten mit dem Ziel des Nachweises, dass keine Beeinträchtigung der langfristigen Funktionsfähigkeit der Systemkomponenten auftreten und die Entwässerungskomponenten auch nach Installation einer PVA ausreichend bemessen bleiben (betrifft die oberirdischen Entwässerungseinrichtungen sowie die Sickerwasserspitzen).

Auf Grund der Tatsache, dass es um Aussagen zum Einfluss einer zu planenden PVA auf einer bereits oberflächengesicherten und rekultivierten Deponie geht, sind die oben unter a), bis c) genannten Nachweise für zwei Zustände zu erbringen: für den Istzustand ohne PVA und für den Planungszustand mit PVA.

3. Methodische Herangehensweise

Es ist gängige Praxis, das wasserhaushaltliche Verhalten von Oberflächensicherungen von Halden bzw. Deponien und die in ihnen ablaufenden hydrologischen Prozesse durch die Anwendung geeigneter Modelle zu beschreiben und zu bilanzieren. Prinzipiell bieten sich hierfür die Modelle HELP (SCHROEDER ET. AL, 1994, BERGER, SCHROEDER, 2013) bzw. BOWAHALD (DUNGER, 2006, 2017) an.

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

Das Modell BOWAHALD stellt nach Empfehlungen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (LFUG, 1999) sowie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL, 1999) eine Alternative zum HELP-Modell dar. Vergleichende HELP/BOWAHALD-Untersuchungen zeigen ein hohes Maß an Ergebnisübereinstimmung (BERGER, DUNGER, 2017, 2020).

Das Modell BOWAHALD wurde speziell zur Modellierung der wesentlichen hydrologischen Prozesse, die innerhalb von Halden- bzw. Deponieoberflächensicherungen ablaufen, entwickelt bzw. weiterentwickelt. Auf eine ausführliche Programmbeschreibung wird im Rahmen des Berichtes verzichtet. Verwiesen sei auf die Programmdokumentation (DUNGER, 2017) sowie auf Publikationen zum Modellinhalt und zur Modellanwendung (s. z. B. DUNGER, MÜLLER, 2010). Im Folgenden soll lediglich ein grober Überblick bezüglich des Modellinhalts gegeben werden.

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

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

Erklärung der Symbole → s. Folgeseite

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABFLUSSBILDUNG AUF DER DEPONIE/HALDE (realisiert im Teilmodell ROHALDE)		
Notwendige Informationen:		
Bemessungsniederschlag		
- Niederschlagsmenge: Daten des KOSTRA-Atlas (BARTELS U. A., 2005) oder Basisregenspende - Bemessungsniederschlagsdauer und -wiederkehrintervall		
Pedologie der Oberfläche	Bewuchs	Vorfeuchte
- k_f -Wert der Oberfläche - Hangneigung - Hanglänge	- unbewachsen - Grasbewuchs - Gras/Strauch/Baum	- gering - mittel - hoch
Methodik: KOSTRA-Atlas (DWD, BARTELS U. A., 2005) bzw. REINHOLD -Formel (REINHOLD, 1940) US-SCS-Verfahren (Us SCS, 1972, 1985, 1986), HAAN (1982), MANIAK (2005) Deponie-/Haldenspezifizierung: entsprechend HELP-Modell (SCHROEDER ET AL., 1994) Hangneigung, Hanglänge und Vorfeuchte: WOOLHISER ET AL., 1990, MANIAK (2005)		
ABFLUSSKONZENTRATION (realisiert im Teilmodell ROHALDE)		
Notwendige Informationen:		
Deponie-/Haldenmorphologie und -geometrie		
Methodik: Kirpich-Formel (KIRPICH, 1940), Faltungintegral, gekoppelt mit einem Parallelkaskadenmodell		
ABFLUSSVERLAUF IM ENTWÄSSERUNGSNETZ (realisiert im Teilmodell ISOCHRON)		
Notwendige Informationen:		
Entwässerungsstrategie, Länge, Gefälle und Bauausführung der Entwässerungstrecken		
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)		

Abbildung 1: Modellstruktur und wesentliche Modellansätze des Starkregen-Entwässerungsplanungsmodells ROHALDEP

Bezüglich der wasserhaushaltlichen Quantifizierung der PV-Module werden die in SEIDLER U. A. (2013) und DUNGER U. A. (2015) veröffentlichten Ergebnisse herangezogen, die im Zuge einer BOWAHALD-Kalibrierung für das PV-Feld der Deponie Bautzen-Nadelwitz gewonnen wurden. Hiernach sind für den Planungszustand mit PVA die folgenden Annahmen zu treffen (SEIDLER U. A., 2013 und DUNGER U. A., 2015):

- Auftreffen der sich auf den Modulen bildenden Oberflächenabflüsse auf die Bodenoberfläche am tiefsten Punkt des Moduls,
- Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche infolge der PV-Module verkleinert durch eine flächengewichtete Verminderung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) der Bodenoberfläche → Wichtungsfaktor = Fläche [m^2] der PV-Module je m^2 Bodenoberfläche (sog. Bodenüberdeckung),
- Verminderung des Bestandskoeffizienten (k_c -Faktor) von 1,0 (Grasbewuchs neben den Modulen) auf 0,8 (unter den PV-Modulen) → eingeschränkte potenzielle Verdunstung unter den PV-Modulen gegenüber den Freiflächen infolge des geringeren Strahlungsangebots,
- Annahme einer 30 %-igen Reduzierung der maximalen Wurzeltiefe des Gras-Kraut-Bewuchses von 1,2 m (neben den Modulen) auf 0,84 m (unter den Modulen) → für den Fall der Annahme einer Mächtigkeit der Klärschlammkompost-Abdeckung von 0,75 m (Sondierungsergebnis) auf diese Mächtigkeit begrenzt (s. Abschnitt 4.1),
- Abminderung des maximalen Bewuchsbedeckungsgrades von 90 % (Grasbewuchs neben den Modulen) auf 65 % (unter den Modulen) → Verminderung um ca. 30 %.

4. Umsetzung der Methodik auf den Untersuchungsstandort

4.1. Horizontal- und Vertikaldiskretisierung

Für den geplanten Solarpark ist eine Fläche von 5,53 ha vorgesehen (HPC, 2020). Der geplante Flächenanteil, den die PV-Module bezogen auf die Gesamtfläche (sog. Bodenüberdeckung) einnehmen werden, beträgt 55 % (3,04 ha, ENERPARK, 2020, HPC, 2020). In der Anlage 1 ist die Anordnung der PV-Module im geplanten Solarpark dargestellt.

Im konkreten Fall ist wegen des Umstandes, dass es sich bei der zu untersuchenden Fläche um eine nahezu ebene Fläche ohne merkliche morphologische Unterschiede handelt, keine Horizontaldiskretisierung (Unterteilung) in Hydrotone (Flächen mit unterschiedlichen hydrologischen Eigenschaften, resultierend aus Expositions- und Gefälleunterschieden) nötig.

Die Vertikaldiskretisierung resultiert aus der vertikalen Schichtenabfolge der bereits realisierten Oberflächensicherung. Im Ergebnis der durch die HPC AG Merseburg durchgeführten Sondierungen ergibt sich eine Abdeckschicht aus Klärschlammkompost (KSK), die durchschnittliche 0,75 m mächtig ist. Die ursprüngliche Planung geht von zwei Schichten aus: einer 1,0 m mächtigen KSK-Abdeckschicht unterlagert von einer 0,3 m mächtigen dichtenden Schicht. Diese beiden möglichen Schichtpakete liegen den Modellrechnungen unter den folgenden Bezeichnungen zugrunde:

- Einschichtabdeckung: 0,75 m KSK-Abdeckung entsprechend HPC-Sondierung und
- Zweischichtabdeckung: 1,0 m KSK + 0,3 m dichtende Schicht wie geplant.

4.2. Modellparameter

Für die Modellierung sind die folgenden Eingabeparameter zu identifizieren:

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

Geographisch-morphologische Parameter:

- geographische Lage des Standortes: 51°, 29' n. Br. (nach GOOGLE EARTH)
- Höhenlage: im Mittel etwa 105 m NN (relevant lediglich für die Länge der Wachstumsperiode, <https://de-de.topographic-map.com/maps/6sb1/Teutschenthal/>)

Nutzungs-/Bewuchsparameter für den Istzustand ohne PV-Module:

- Bewuchs: Mais → Derzeit wird jedes Jahr Mais angebaut, der für Energiezwecke genutzt wird.
- Bewuchsentwicklung: normal
- Vegetationsbedeckungsgrad, Wurzeltiefe, Bereich der maximalen Wurzeldichte und Bestandskoeffizient (k_c -Faktor) jahreszeitlich variabel (Übernahme von Werten aus der BOWAHALD-Datenbank) → Dabei wird berücksichtigt, dass die Fläche vor dem Aufgehen und nach der Ernte kaum bewachsen ist.

Nutzungs-/Bewuchsparameter für den Planungszustand – Flächen neben den PV-Modulen:

- Bewuchs: Gras-Krautbewuchs, ganzjährig vorhanden
- Bewuchsentwicklung: normal
- Vegetationsbedeckungsgrad: 90 %
- Wurzeltiefen: Einschichtabdeckung: 0,75 m (der Mächtigkeit der KSK-Abdeckung entsprechend), Zweischichtabdeckung: 1,20 m (nach BERGER, SCHROEDER, 2013 plausibel für Gras-Kraut-Bewuchs), Bereich der maximalen Wurzeldichte: 0,2 m
- Bestandskoeffizient (k_c -Faktor): 1,0

Nutzungs-/Bewuchsparameter für den Planungszustand – Flächen unter den PV-Modulen:

Für die Bereiche unterhalb der PV-Module wurden die Bewuchsparameter k_c -Faktor, Bewuchsbedeckungsgrad und maximale Wurzeltiefe entsprechend den in SEIDLER U. A. (2013) sowie DUNGER U. A. (2015) dokumentierten Untersuchungsergebnissen abgemindert (vgl. auch Abschnitt 3).

Nach SEIDLER U. A. (2013) kann davon ausgegangen werden, dass sich auch unter den PV-Modulen ein Bewuchs entwickeln kann, der hinsichtlich seiner Verdunstungsleistung etwas, aber nicht markant, eingeschränkt ist. Wie stark sich die Bewuchsparameter von denen des Gras-Krautbewuchses neben den PV-Modulen unterscheiden, hängt maßgeblich vom Flächenanteil der PV-Module bezogen auf die Gesamtfläche (sog. Bodenüberdeckung) ab.

Im konkreten Fall beträgt die Bodenüberdeckung 55 % (ENERGPARK, 2020, HPC, 2020). Unter Zugrundelegung dieses Wertes ergeben sich für den Planungszustand nach Flächenwichtung (überdeckter Anteil bezogen auf die Gesamtfläche) die folgenden Bewuchsparameter:

- Vegetationsbedeckungsgrad: 76 %,
- Wurzeltiefen: Einschichtabdeckung: 0,72 m, Zweischichtabdeckung: 1,04 m und
- Bestandskoeffizient (k_c -Faktor): 0,89.

Pedologische Parameter für den Istzustand:

Die wasserhaushaltlich relevanten pedologischen Parameter beinhalten vor allem den k_f -Wert als Maß für das Wassertransportvermögen sowie die charakteristischen Wassergehalte Sättigung, Feldkapazität und permanenter Welkepunkt als Größen der Wasserspeicherefähigkeit des betrachteten Systems. Angaben zu diesen Parametern sind nicht bekannt und müssen folglich hergeleitet werden.

Zur Parametrisierung der Klärschlammkomposte können hierfür vor allem Forschungsergebnisse der MLU Halle, die u. a. in BERNSDORF U. A. (2011) und KNORRE U. A. (2014) veröffentlicht sind, genutzt werden. Ebenfalls nutzbar sind einerseits die lithologischen Ansprachen, die für die seitens des AG durchgeführten Sondierungen vorliegen und andererseits die im Abschlussbericht der Kies und Sand Köchstedt GmbH Halle vom 22.01.2008 sowie im Prüfbericht der WESSLING GmbH Landsberg (dem Untersuchungsbericht der Kies und Sand Köchstedt GmbH Halle vom 18.06.2019 zur Sanierung der ehemaligen Deponie „Am Dachsberg“ beigelegt) dokumentierte Aussagen.

Im Abschlussbericht der Kies und Sand Köchstedt GmbH Halle vom 22.01.2008 ist vermerkt, dass zur Sicherung der Altdeponie bindige und tonige Aushubmassen aus der Region Verwendung fanden. Im Prüfbericht der WESSLING GmbH Landsberg findet sich Angaben zu den Feinanteilen $< 0,02$ mm des Abdecksubstrats. Auf der Basis von 6 Bodenproben, die an 3 verschiedenen Stellen jeweils in Tiefen von 0 – 30 cm sowie 30 – 60 cm Tiefe genommen worden sind, ergibt sich ein Feinanteil von ca. 77 % (Schwankungsbreite: 65 ... 87 %). Nach DIN 4022 (1987) sind folglich etwa $\frac{3}{4}$ der Körner der Bodenart Mittelschluff (oder feiner) zuzuordnen.

Legt man das Bodendreieck von DEHNER, MAIER-HARTH (2016) zugrunde (s. Abbildung 2), das sich auch im BQS 7-2 (LAGA, 2016 b) findet, so lässt sich diese Aussage weiter präzisieren. Vier Bodenarten sind möglich: reiner Schluff Uu, schwach toniger Schluff Ut2, mittel toniger Schluff Ut3 und ggf. stark toniger Schluff Ut4 und reiner Ton Tt. Letzterer dürfte kaum verbaut worden sein, da Tonanteile über 65 % (weißes Feld in der Abbildung 2) für Rekultivierungs- bzw. Wasserhaushaltsschichten von Deponieoberflächensicherungen tabu sind, denn mit einem derartigen Substrat werden die Anforderungen nach DepV unter keinen Umständen eingehalten.

Die Böden der Gruppe A und B haben gute Chancen, den Anforderungen gerecht zu werden, die Böden der Gruppen C und D nur im Einzelfall unter sehr günstigen Umständen und reine Tone gar nicht. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass ein Substrat entsprechend den Bodenarten Uu, Ut2 bzw. Ut3 als Abdecksubstrat verbaut worden ist.

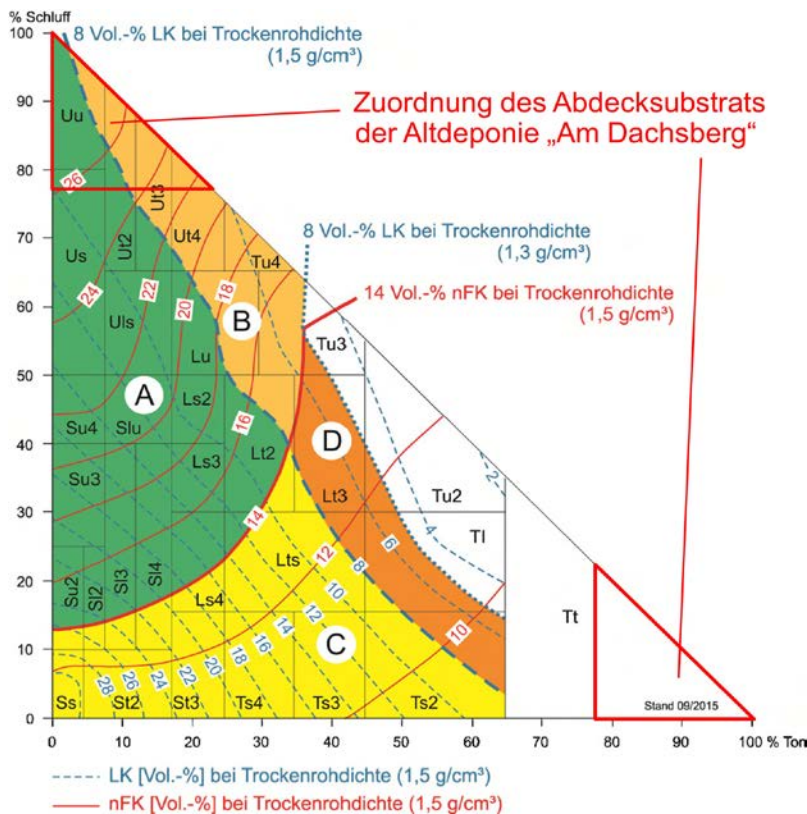


Abbildung 2:

Bodendreieck nach DEHNER, MAIER-HARTH (2016)

Das Bodendreieck von DEHNER, MAIER-HARTH (2016) kann ferner als Orientierung für die Auswahl von Rekultivierungsböden von Deponieoberflächensicherungen und zur Abschätzung von Werten der nutzbare Feldkapazität nFK und der Luftkapazität LK dienen. Die Werte sind unter Zugrundelegung bundesweiter Werte von Rekultivierungs- und Wasserhaushaltsschichten abgeleitet worden. Danach ergibt sich (vgl. Abbildung 2), dass die nFK für den konkreten Anwendungsfall bei etwa 26 Vol.-% liegt und die LK bei etwa 8 Vol.-%.

Nun sollte man für den konkreten Fall versuchen, den Einfluss des Klärschlammkomposts einzurechnen. In diesem Zusammenhang kann einerseits auf die Bodenkundliche Kartieranleitung BKA 5 (AG BODEN, 2005) und andererseits auf die Forschungsergebnisse der MLU Halle (BERNSDORF U. A., 2011 und KNORRE U. A., 2014) zurückgegriffen werden. Nach AG BODEN (2005) ergeben sich für die 3 relevanten Bodenarten Uu, Ut2 und Ut3 Zuschläge bezüglich der nFK, die je nach Humusstufe zwischen 0 (schwach humos) und 4 Vol.-% (sehr stark humos) liegen.

In BERNSDORF U. A. (2011) werden deutlich größere Zunahmen der nFK angegeben (vgl. Abbildung 3). Selbst bei einer Zugabe von nur 20 Vol.-% KSK erhöht sich die nFK um etwa 8 Vol.-%, bei 80 % KSK-Zugabe sogar um etwa 15 Vol.-%. Zu beachten ist dabei, dass sich diese Angaben (sowie die Abbildung 3) auf reinen Sand beziehen, also auf eine gänzlich andere Bodenart als auf der Altdeponie „Am Dachsberg“ eingebaut worden ist. In KNORRE U. A. (2014) sind Zunahmen der nFK eines Mineralbodens, der als Rekultivierungsschicht auf der Deponie Erfurt-Schwerborn Verwendung fand, veröffentlicht. Leider ist nicht vermerkt, um welche Art Mineralboden es sich dabei gehandelt hat. In der Tabelle 2 sind die Ergebnisse für die wesentlichen Wasserspeicherparameter Feldkapazität FK, nutzbare Feldkapazität nFK und permanenten Welkepunkt PWP aufgelistet.

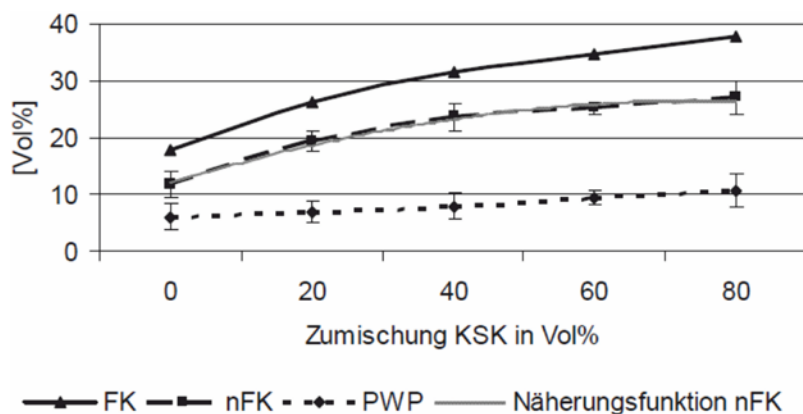


Abbildung 3:

Wassergehalte für die Feldkapazität FK, die nutzbare Feldkapazität nFK und den permanenten Welkepunkt PWP bei unterschiedlichen Zumischungen von Klärschlammkompost KSK aus BERNSDORF U. A. (2011)

Tabelle 2: Kenngrößen des Wasserhaushalts eines Mineralbodens in Abhängigkeit vom Anteil an Klärschlammkompost (KSK) bzw. Grünschnittkompost (GSK) aus KNORRE U. A. (2014)

Parameter	Einheit	0 Vol. % KSK	15 Vol. % KSK	30 Vol. % KSK	30 Vol. % GSK
FK	Vol. %	30,6	37,8	42,5	38,6
PWP	Vol. %	15,0	14,1	14,3	11,8
nFK	Vol. %	15,6	23,7	28,2	26,8
Trockenrohdichte	g/cm ³	1,1	0,6	0,5	0,5

Vergleicht man die in KNORRE U. A. (2014) enthaltenen Werte mit denen aus BERNSDORF U. A. (2011), so stellt man fest, dass sich die nFK-Zunahmen infolge KSK-Zugabe etwa in der gleichen Größenordnung bewegen. Auch wenn sich die Untersuchungen, die in BERNSDORF U. A. (2011) auf einen anderen Rekultivierungsboden als auf der Altdeponie „Am Dachsberg“ verbaut beziehen und die Bodenart, für den die Werte in KNORRE U. A. (2014) ermittelt wurden, unklar ist, so kann man doch mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgehen, dass die in der Bodenkundliche Kartieranleitung BKA 5 (AG BODEN, 2005) für Humus allgemein angegebenen Zuschläge für ein KSK-Substrat zu klein ausfallen. Realistisch scheint, den nFK-Wert von 26 Vol.-%, der sich aus dem Bodendreieck nach DEHNER, MAIER-HARTH (2016) ergibt, um 10 Vol.-% auf 36 Vol.-% zu erhöhen.

Bezüglich Angaben zur Beeinflussung der Luftkapazität LK durch eine KSK-Zugabe finden sich in BERNSDORF U. A. (2011) und KNORRE U. A. (2014) keine Angaben. Nach AG BODEN (2005) betragen die LK-Zuschläge je nach Humusgehalt für die 3 in Betracht kommenden Bodenarten zwischen 2 und 9 Vol.-%. Da anzunehmen ist, dass für KSK-Substrate auch dieser Maximalwert etwas zu klein ausfällt, erscheint es realistisch, den o. g. LK-Wert von 8 Vol.-% (Wert aus dem Bodendreieck nach DEHNER, MAIER-HARTH, 2016) um 10 Vol.-% auf 18 Vol.-% zu erhöhen. Im Übrigen beeinflussen LK-Änderungen die BOWAHALD-Ergebnisse weit weniger als nFK-Änderungen.

Vergleicht man den nFK-Wert von 36 Vol.-% und den LK-Wert von 18 Vol.-%, die man wie eben beschrieben ableiten kann, mit den in der Bodenkundliche Kartieranleitung BKA 5 (AG BODEN, 2005) angegebenen Werten für Torfe, die zwischen nFK = 29 und 60 Vol.-% bzw. LK = 5 und 30 Vol.-% liegen, so erscheinen die für die KSK-Abdeckung abgeleiteten Werte zumindest plausibel.

Dennoch stehen die gerade eben beschriebenen Annahmen auf tönernen Füßen, selbst wenn man in Rechnung stellt, dass die damit verbundenen Unsicherheiten beide Zustände (Istzustand ohne PVA und Planungszustand mit PVA) gleichermaßen betreffen. Um zumindest ein Gefühl für diese Unsicherheiten zu bekommen, sind den BOWAHALD-Modellrechnungen für die beiden Zustände Istzustand ohne PVA und Planungszustand mit PVA jeweils zwei Datensätze zugrunde gelegt worden:

- ein Datensatz, der von den nFK- und LK-Werten entsprechend Bodendreieck nach DEHNER, MAIER-HARTH (2016) ausgeht \rightarrow nFK = 26 Vol.-% und LK = 8 Vol.-%, den man als konservativ bezeichnen kann, weil nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats hierbei unberücksichtigt bleiben (im Folgenden als „konservativer Datensatz“ bezeichnet) und
- ein Datensatz, der die nFK- und LK-Erhöhungen infolge der Wirkung des Humusgehaltes des KSK-Substrats von jeweils 10 Vol.-% berücksichtigt \rightarrow nFK = 36 Vol.-% und LK = 18 Vol.-% (im Folgenden als „KSK-Datensatz“ bezeichnet).

Bezüglich der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeiten (k_f -Werte) der Abdeckung ist auf Werte der BOWAHALD-Datenbank zurückgegriffen worden, die originär aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung BKA 5 (AG BODEN, 2005) stammen, wobei von einer mittleren Lagerungsdicht Ld_3 ausgegangen worden ist:

- reiner Schluff Uu : $k_f = 8,10 \cdot 10^{-7}$ m/s,
- schwach toniger Schluff Ut_2 : $k_f = 8,10 \cdot 10^{-7}$ m/s und
- mittel toniger Schluff Ut_3 : $k_f = 9,26 \cdot 10^{-7}$ m/s

Der arithmetische Mittelwert von $8,5 \cdot 10^{-7}$ m/s liegt den BOWAHALD-Modellrechnungen für die beiden Datensätze (konservativer und KSK-Datensatz) zugrunde. Die dichtende Schicht der Zweischichtabdeckung wurde mit $1 \cdot 10^{-7}$ m/s angenommen. Sie ist damit eher hemmend statt dichtend (konservative Annahme).

Pedologische Parameter für den Planungszustand:

Die Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche durch die PV-Module verkleinert, wurde dahingehend berücksichtigt, dass die Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) der Oberfläche verkleinert worden ist. Es erfolgte eine flächengewichtete Verminderung des k_f -Wertes, wobei der Wichtungsfaktor dem Flächenanteil der PV-Module (55 %) entspricht. Hierdurch ergibt sich gegenüber den Flächen ohne PV-Module ein abgeminderter k_f -Wert von $k_f = 8,5 \cdot 10^{-7}$ m/s \cdot (1 – 0,55) = $3,8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Die Wasserspeicherparameter blieben gegenüber dem Istzustand unverändert.

Weitere Modelleingabevereinbarungen:

Die Festlegung der Vorfeuchte vor Beginn des Starkregenereignisses ist entsprechend der DVWK-Anleitung A 113 (DVWK, 1984) als durchschnittlich erfolgt. Als Wiederkehrintervalle wurden alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle zwischen 1 und 100 Jahren angesetzt. Hierdurch ist es möglich, den Einfluss der Solarpanelen auf die Oberflächenabflussbildung in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall zu quantifizieren.

Die mittlere maßgebende Regendauer für die Oberflächenabflussbildung (Regendauer, für die der Abflussscheitel maximal wird) ist mittels des BOWAHALD-Moduls ROHALDEP ermittelt worden. Das Modell ROHALDEP prüft modellintern durch ite-

relative Veränderung der Regendauer, für welche Regendauer der maximale Scheiteldurchfluss entsteht. Bezüglich der Abflusskonzentration wurde von einer flächenhaften Konzentration ausgegangen. Laufzeitdifferenzen bei der Abflusskonzentration und beim Abflussverlauf blieben auf Grund der im Vergleich zu Wassereinzugsgebieten kleinen Gesamtfläche und der damit im Zusammenhang stehenden kurzen Abflussreaktionszeit unberücksichtigt.

4.3. Meteorologische Daten

4.3.1. Datenmaterial zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten

Neben den Modellparametern (vgl. Abschnitt 4.2) benötigt das Modell BOWAHALD folgende meteorologische Daten:

- die Lufttemperatur TP (Tagesmittel),
- die relative Luftfeuchtigkeit RLF (Tagesmittel),
- die Globalstrahlung RGLOB (Tagessummen) oder der Sonnenscheindauer SSD (Tagessummen) und
- den Niederschlag P (Tagessummen).

Um belastbare Aussagen zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten ableiten zu können, ist es notwendig, die meteorologische Situation über mehrere Jahrzehnte zu betrachten. Seitens des Deutschen Wetterdienstes DWD wird im Hinblick auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Wasserhaushaltsuntersuchungen die Bezugsperiode 1981 – 2010 vorgeschlagen. Die Tabelle 3 soll einen Überblick über Klimastationen geben, die in der Nähe des Untersuchungsstandortes gelegen sind und für die Messwerte mit Bezug zur DWD-Bezugsperiode vorliegen.

Tabelle 3: Charakteristik der in der Umgebung des Untersuchungsstandortes gelegenen DWD-Stationen

Station	Entfernung [km]	Höhe [m NN]	Beobachtungszeitraum	Messgrößen
Teutschenthal	3	102	ab 1969	P
Röblingen	10	102	ab 2007	P
Dederstädt	10	154	ab 1969	P
Bad Lauchstädt	11	118	1947 – 2007, ab 2017	TP, RLF, SSD, P
Halle-Kröllwitz	11	93	1951 – 2014	TP, RLF, SSD, P
Neutz	14	151	1951 – 2018	P
Mücheln	18	147	1947 – 2006, ab 2014	P
Osterhausen	20	165	1947 – 2018	P
Querfurt-Lodersleben	21	204	ab 1969	P
			1995 – 2016	zusätzlich TP, RLF, SSD
Leipzig-Halle (Flughafen)	31	131	1934 – 1950, ab 1972	TP, RLF, SSD, P

TP - Temperatur RLF - Relative Luftfeuchte SSD - Sonnenscheindauer P - Niederschlag

Die Auswahl repräsentativer Stationen erfolgte hinsichtlich des Beobachtungszeitraums, der Entfernung (im Fall von Messlücken wurden immer Werte der nächstgelegenen Station verwendet) und der verfügbaren Messgrößen. Unter Zugrundlegung dieser Kriterien wurden die folgenden Stationen ausgewählt:

- Teutschenthal für die Messgröße Niederschlag, Gesamtzeitraum 1981 – 2010,
- Bad Lauchstädt für die Messgrößen Temperatur, relative Luftfeuchte und Sonnenscheindauer, Zeitraum 1981 – 04/2007,
- Halle-Kröllwitz für die Messgrößen Temperatur, relative Luftfeuchte und Sonnenscheindauer, Zeitraum 05/2007 – 2010 und
- Leipzig-Halle (Flughafen), falls Fehlwerte durch alle anderen eben genannten Stationen nicht aufzufüllen waren, Zeitraum 1981 – 2010.

Der Modellierungszeitraum umfasst folglich den seitens des DWD empfohlenen Bezugszeitraum 1981 – 2010. Alle Daten werden ohne Modifikationen auf den Untersuchungsstandort übertragen. Dies erscheint in Anbetracht der noch moderaten Entfernungen und der in etwa gleichen Höhenlagen legitim.

Die Daten wurden von den Internetseiten des DWD (www.dwd.de) heruntergeladen. Fehlwerte sind durch Messwerte benachbarter Klimastationen aufgefüllt worden. Mit Ausnahme des Niederschlages gab es für alle anderen Klimaelemente Fehlwerte. Eine entsprechende Übersicht enthält die Anlage 2. In der Tabelle 4 sind die langjährig mittleren Monats- und Jahreswerte der wasserhaushaltlich relevanten Klimaelemente. Die eigentliche Modellierung wurde auf Basis von Tageswerten durchgeführt.

Bei den Niederschlagsdaten des DWD handelt es sich um nicht messfehlerkorrigierte Werte. In der Tabelle 4 sind die Niederschlagswerte bereits um Messfehler, die durch Überwehungs-, Benetzungs- und Verdunstungseffekte hervorgerufen werden, korrigiert (nach BAUMGARTNER, LIEBSCHER, 1990 mit einem konstanten Faktor von 1,1).

Tabelle 4: Langjährige Monatswerte der für die Modellierung notwendigen Klimaelemente für den Untersuchungsstandort, DWD-Bezugsperiode 1981 – 2010

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
TP	0,8	1,3	4,9	9,1	14,0	16,6	19,1	18,7	14,5	9,8	4,8	1,5	9,6
RLF	81	79	75	69	68	69	68	69	74	78	82	83	75
SSD	55	74	113	169	217	212	223	206	147	115	57	42	1628
P	31	29	41	37	62	57	78	54	51	31	45	44	560

TP - Temperatur [°C] RLF - Relative Luftfeuchte [%] SSD - Sonnenscheindauer [h] P - Niederschlag [mm]

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. So ist neben der Betrachtung des Niederschlages wichtig, wie sich die Verdunstung in den jeweiligen Jahren gestaltet. Aus diesem Grund wird im BQS 7-2 (LAGA, 2016 b) empfohlen, in diesem Zusammenhang auch die klimatische Wasserbilanz (KWB = Differenz aus Niederschlag und potenzieller Verdunstung) in die Betrachtungen einzubeziehen.

Im Hinblick auf die Beurteilung der langjährigen wasserhaushaltlichen Situation sind neben den Mittelwerten der Wasserhaushaltsgrößen ferner die folgenden Dinge betrachtet worden:

- die Wasserhaushaltsbilanzen für das nasseste und trockenste Jahr der Datenreihe,
- die Bilanzen für die Jahre mit der positivsten und negativsten KWB sowie
- das sickerwasserreichste und sickerwasserärmste Jahr.

4.3.2. Starkregenmengen

Für die Untersuchungen zur Oberflächenabflussbildung im Starkregenfall wurden Regenmengen entsprechend Regendauern und Wiederkehrintervallen auf Grundlage des KOSTRA-Starkregenatlas des DWD (JUNGHÄNEL U. A., 2017) ermittelt. Die standortbezogenen Ergebnisse dieser Analyse sind in der Anlage 3 dokumentiert. Die KOSTRA-Regenmengen wurden entsprechend der in JUNGHÄNEL U. A. (2017) gegebenen Empfehlung je nach Wiederkehrintervall um 10 – 20 % erhöht, um eine zusätzliche Sicherheit resultierend aus der Unsicherheit der Starkregenwerte einzurechnen.

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

5. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation

5.1. Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten

Die Tabelle 5 enthält eine Übersicht bezüglich der langjährigen Wasserbilanzen hinsichtlich der Mittelwerte und Schwankungsbreiten für die Einschichtabdeckung. Aufgelistet sind die wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag P (messfehlerkorrigiert), reale Verdunstung ETR, Oberflächenabfluss RO und Sickerwassermenge RU. In der Tabelle 6 sind die langjährigen Mittelwerte der Ein- und Zweischichtabdeckung bezüglich der Sickerwassermengen RU gegenübergestellt. Eine Zusammenstellung der Detailergebnisse ist in den Anlagen 4 und 5 enthalten.

Tabelle 5: Wasserhaushaltsbilanzen für verschiedene Witterungssituationen (Jahressummen) für die Einschichtabdeckung

Einschichtabdeckung konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats)				
Witterungssituation	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RU [mm/a]
langjähriges Mittel (1981 – 2010)	560	451 476	36 5	73 79
nassestes Jahr (2010)	830	445 482	76 9	282 303
trockenstes Jahr (1985)	370	389 420	21 0	48 71
Jahr mit der positivsten KWB (2010)	830	445 482	76 9	282 303
Jahr mit der negativsten KWB (1999)	453	454 483	14 0	94 97
sickerwasserreichstes Jahr (2010)	830	445 482	76 9	282 303
sickerwasserärmstes Jahr (mehrfach)	483	442 440	41 2	0 0

Einschichtabdeckung KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats)						
Witterungssituation	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]		RU [mm/a]	
langjähriges Mittel (1981 – 2010)	560	472 491	37	5	52	64
nassestes Jahr (2010)	830	469 499	76	19	236	259
trockenstes Jahr (1985)	370	414 441	22	0	40	71
Jahr mit der positivsten KWB (2010)	830	469 499	76	19	236	259
Jahr mit der negativsten KWB (1999)	453	484 511	14	0	93	97
sickerwasserreichstes Jahr (2010)	830	469 499	76	19	236	259
sickerwasserärmstes Jahr (mehrfach)	483	449 493	43	11	0	0

grün: Istzustand mit Maisbewuchs ohne PV-Module

blau: Planungszustand mit Grasbewuchs und PV-Modulen

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Tabelle 6: Langjährig mittlere Sickerwassermengen RU (Jahressummen in mm/a) in der Gegenüberstellung von Ein- und Zweischichtabdeckung

Datensatz	Istzustand ohne PVA		Planungszustand mit PVA		Planungszustand vs. Istzustand	
	Einschicht	Zweischicht	Einschicht	Zweischicht	Einschicht	Zweischicht
konservativ	73	70	79	63	+ 6	- 7
KSK	52	48	64	53	+ 12	+ 5

Die modellierten langjährigen Wasserhaushaltsbilanzen (s. Tabellen 5 und 6 sowie Anlagen 4 und 5) zeigen für den Istzustand ohne PV-Module folgendes Bild:

- Von den Niederschlägen, die im langjährigen Jahresmittel ca. 560 mm/a betragen, fallen unter den gegebenen Bedingungen etwa 450 – 475 mm/a der Verdunstung anheim (ca. 80 – 85 % vom Niederschlag). Die Verdunstungsvariationen in Nass- und Trockenjahren gestalten sich mit $\pm 10 - 20$ % Abweichung bezogen auf das langjährige Mittel moderat.
- Die modellierten langjährig mittleren Oberflächenabflüsse liegen im Bereich von etwa 30 – 40 mm/a (um die 5 % vom Niederschlag). An der Basis der KSK-Abdeckung kommen etwa 50 – 75 mm/a Sickerwasser an. Dies sind in etwa 10 % vom Niederschlag.
- In Nassjahren erhöhen sich Oberflächenabflüsse gegenüber dem langjährigen Mittel ungefähr auf das Doppelte, die Sickerwassermengen auf etwa das Vier- bis Fünffache. In Trockenjahren gehen die Oberflächen- und Sickerwassermengen deutlich zurück: die Oberflächenabflussmengen auf etwa die Hälfte des langjährigen Mittels und die Sickerwassermengen auf Null. In Trockenjahren kommt die Sickerwasserbildung folglich zum Erliegen.

Für den Planungszustand mit PVA sind gegenüber dem Zustand ohne PVA folgende Veränderungen des langjährigen Wasserhaushalts erkennbar:

- Der ganzjährig verdunstungsaktive Grasbewuchs (auch wenn dieser unter den PV-Modulen wasserhaushaltlich nur eingeschränkt wirksam ist) bewirkt einen Anstieg der langjährig mittleren realen Verdunstung um etwa 20 – 40 mm/a. In der Abbildung 4 sind die innerjährlichen Variationen der realen Verdunstung für die

beiden Zustände (Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA und Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA) beispielhaft für die Einschichtabdeckung unter Verwendung des KSK-Datensatzes gegenübergestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass die Verdunstung des Maisbewuchses während der Hauptwachstumsperiode höher ausfällt, als die des Grasbewuchses. Über weite Teile des Jahres ist es aber genau entgegengesetzt.

- Deutlichere Veränderungen gegenüber dem Istzustand ergeben sich bezüglich der Oberflächenabflüsse. Im langjährigen Mittel fließen ca. 30 mm/a weniger oberflächlich ab. Dies mag auf den ersten Blick verwundern, denkt man an die Versiegelung durch die PV-Module und an die Konzentration des Niederschlagswasserabflusses an der unteren Modulkante. Allerdings muss man dabei beachten, dass Mais zum einen gegenüber anderen landwirtschaftlichen Kulturen oberflächenabflussfördernd wirkt und zum anderen eine mit Mais bestellte Fläche über viele Monate des Jahres nicht oder kaum bewachsen ist. Die Abbildung 5, in der die jahreszeitlichen Variationen der Oberflächenabflüsse für die beiden Zustände beispielhaft für die Einschichtabdeckung enthalten sind, verdeutlicht diesen Umstand. Die Maximalwerte für den Istzustand (Mais) ergeben sich für das Winterhalbjahr. Für den Planungszustand (Gras mit PVA) fallen die Oberflächenabflüsse ganzjährig moderat aus.

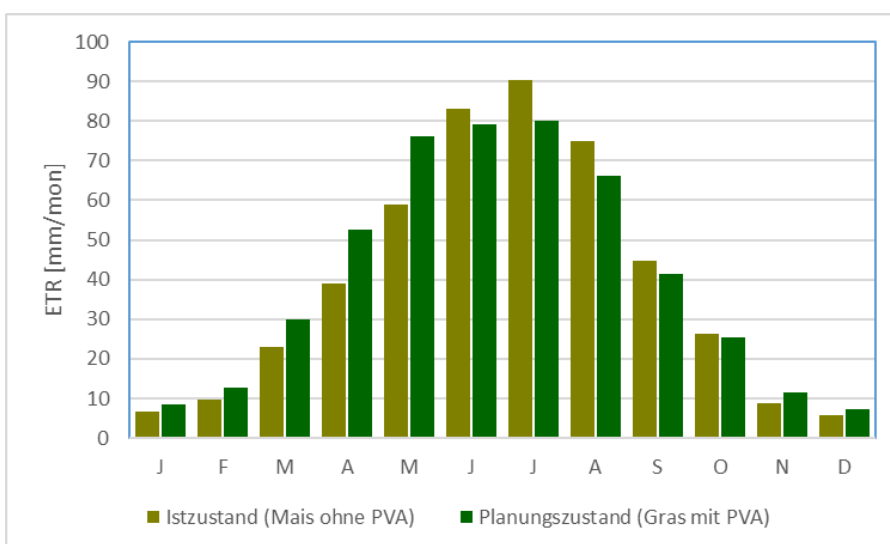


Abbildung 4:

Jahresgänge der realen Verdunstung für die beiden Zustände (Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA und Planungszustand mit Grasbewuchs und PVA) beispielhaft für die Einschichtabdeckung unter Verwendung des KSK-Datensatzes

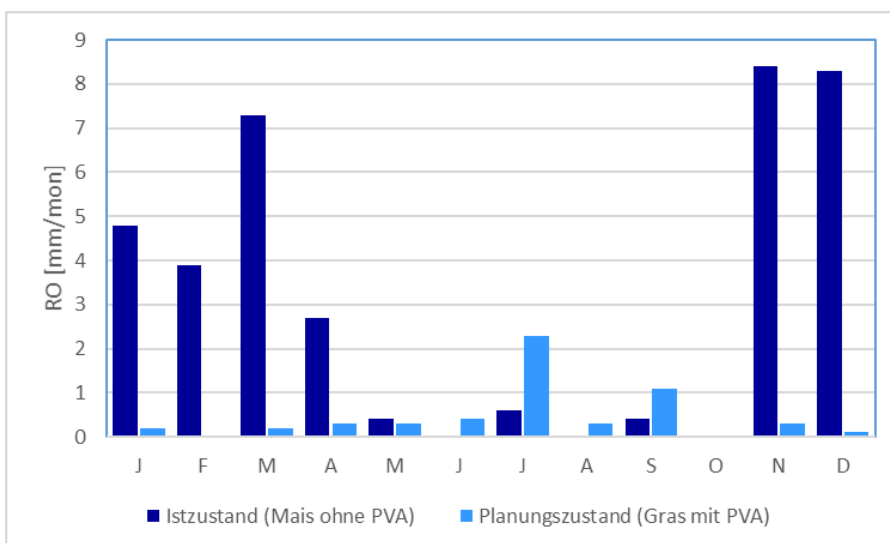


Abbildung 5:

Jahresgänge des Oberflächenabflusses für die beiden Zustände (Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA und Planungszustand mit Grasbewuchs und PVA) beispielhaft für die Einschichtabdeckung unter Verwendung des KSK-Datensatzes

- Die Versickerungsmengen an der Basis der Abdeckung verhalten sich insgesamt gesehen indifferent (vgl. Tabelle 6). Die Abweichungen im Vergleich zum Istzustand betragen etwa 10 mm/a. Je nach angenommener Schichtung der Abdeckung (Ein- bzw. Zweischichtabdeckung) und Parameterdatensatz (mit und ohne Berücksichtigung einer zusätzlichen Wasserspeicherfähigkeit des KSK-Substrats) wird für den Planungszustand mit PVA gegenüber dem Istzustand etwas mehr bzw. geringfügig weniger an Sickerwasser modelliert.

Die Unsicherheiten, die sich auf Grund der unsicheren Informationslage bezüglich der Schichtung, der Mächtigkeit und der pedologisch relevanten Parameter der Abdeckung ergeben, lassen folglich keine eindeutigere Aussage zur Änderung des Sickerwasserverhalten zu. Wahrscheinlich existieren bezüglich der Sickerwasserbildung jedoch keine großen Unterschiede zwischen Ist- und Planungszustand.

Die Abbildung 6 zeigt die Gegenüberstellung der Sickerwassermengen der beiden Zustände im mittleren Jahresgang wiederum beispielhaft für die Einschichtabdeckung unter Verwendung des KSK-Datensatzes. Wie nicht anders zu erwarten, fallen die Sickerwassermengen im Winterhalbjahr wegen der dann stark eingeschränkten Verdunstung hoch aus. In den Hochsommermonaten kommt die Sickerwasserbildung jedoch weitgehend zum Erliegen.

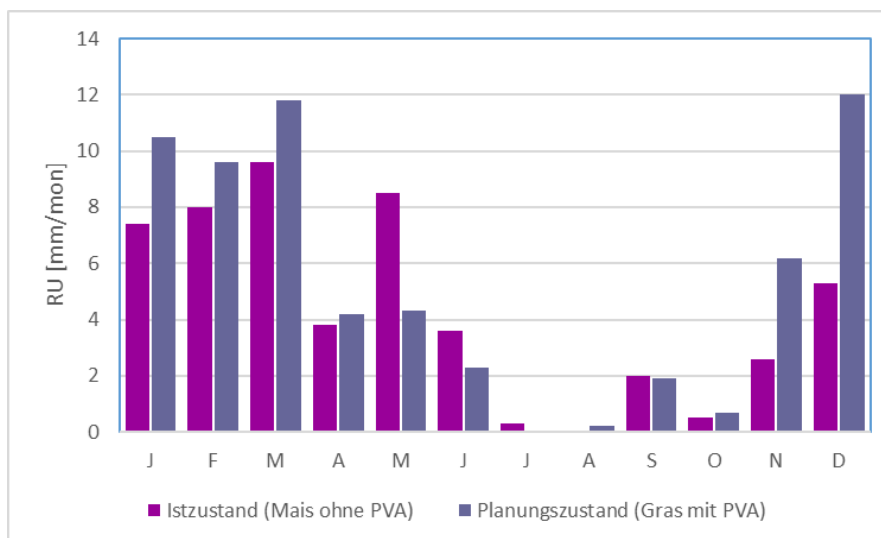


Abbildung 6:

Jahresgänge der Sickerwasserbildung für die beiden Zustände (Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA und Planungszustand mit Grasbewuchs und PVA) beispielhaft für die Einschichtabdeckung unter Verwendung des KSK-Datensatzes

- Die Variationen der Elemente des Wasserhaushalts in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen (Nass- und Trockenjahre, Jahre mit stark positiver bzw. negativer klimatischer Wasserbilanz oder in sickerwasserreichen bzw. sickerwasserarmen Jahren) gestalten sich ähnlich dem Zustand ohne PVA. So liegen z. B. die prozentualen Zu- bzw. Abnahmen der wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen in einer sehr ähnlichen Größenordnung.

Die Abweichungen, die sich aus der unsicheren Parametrisierung des KSK-Substrats ergeben, liegen bezüglich der langjährig mittleren Verdunstungs- und Sickerwasserwerte bei etwa 20 – 30 mm/a. Etwas geringer fallen die Ergebnisunterschiede aus, die aus den Unsicherheiten bezüglich der Schichtung und Mächtigkeit der Abdeckung resultieren.

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

Die Modellierung der Bodenfeuchteentwicklung in der Abdeckschicht 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 7).

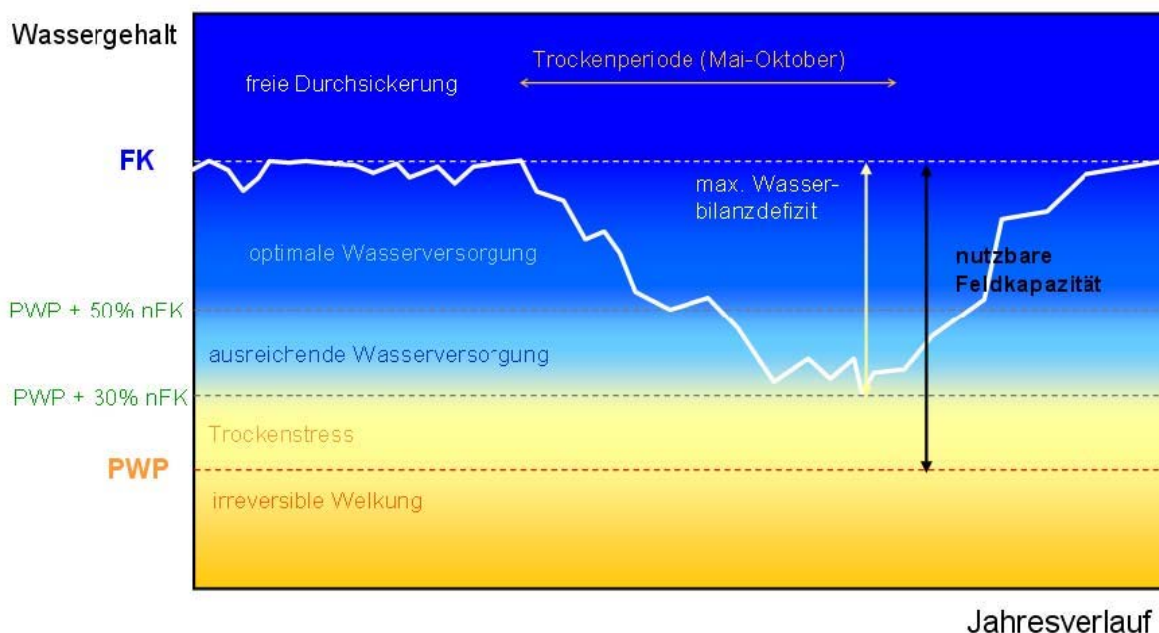


Abbildung 7: Grad der Wasserversorgung mit Bezug zum Pflanzenwachstum (aus LANUV NRW, 2010)

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 beeinträchtigen das Pflanzenwachstum immens und sollten bei Busch- oder Baumbewuchs (hier nicht relevant) nicht oder nur sehr selten auftreten. Ackerbauliche Kulturen bzw. Grasbewuchs, wie im vorliegenden Fall, reagieren mit saisonalem Absterben und erreichen dann nicht die Verdunstungsleistungen, die sie normalerweise erbringen würden.

Im Folgenden wird das Austrocknungsverhalten beispielhaft für die Einschichtabdeckung aufgezeigt. Wegen der gegenüber der Zweischichtabdeckung geringeren Abdeckmächtigkeit (vgl. Abschnitt 4.1) ist das Austrocknungsrisiko der Einschichtabdeckung folglich höher. Die Tabelle 7 enthält die über den betrachteten 30-jährigen Zeitraum modellierten minimalen Bodenfeuchtwerte sowie die Häufigkeiten des Auftretens bezüglich sehr kritischer Austrocknungsbeträge (Wassergehalte unter 10 % nFK) und bezüglich beginnendem Trockenstress (Wassergehalte unter 30 % nFK) für die beiden Zustände. Die Werte beziehen sich auf die Wurzelzone. Betrachtet wurde das hydrologische Sommerhalbjahr (Monate Mai bis Oktober).

Tabelle 7: Minimale Wassergehalte sowie Häufigkeiten des Unterschreitens von Bodenfeuchtwerten unter 10 % nFK (akutes Trockenstresspotenzial) und unter 30 % nFK (Trockenstressbeginn), modelliert für den Bereich des Wurzelraums für die Einschichtabdeckung

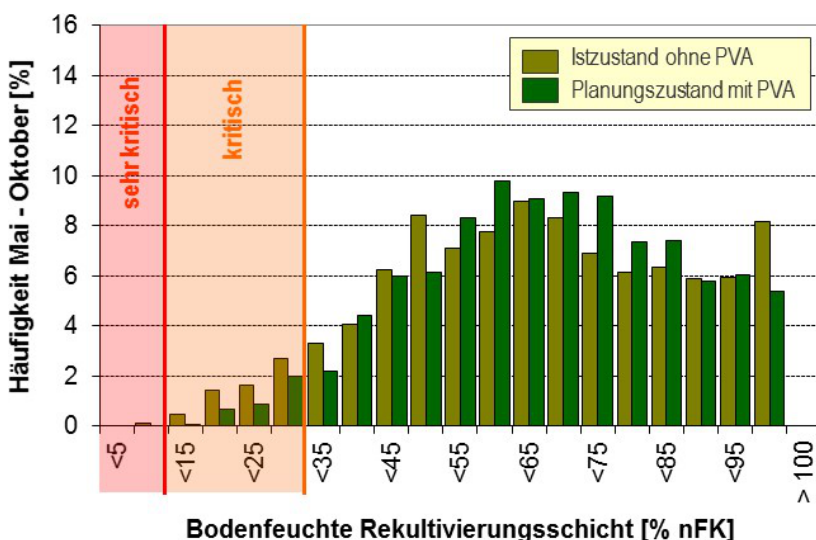
Zustand, Datensatz	Minimale Bodenfeuchte [% nFK]	Austrocknungshäufigkeit [%] (Mai bis Oktober)	
		< 10 % nFK	< 30 % nFK
Istzustand (Mais ohne PVA): konservativer Datensatz	9,0	0,1	6,4
KSK-Datensatz	16,0	0,0	3,3
Planungszustand (Gras mit PVA): konservativer Datensatz	14,6	0,0	3,6
KSK-Datensatz	23,6	0,0	0,7

In der Abbildung 8 sind die Bodenfeuchteverteilungen im Wurzelraum für die beiden Zustände (Ist- und Planungszustand) und Datensätze (konservativer und KSK-Datensatz) gegenübergestellt. Die Details enthalten die Anlagen 6 und 7.

Wie der Tabelle 7 sowie der Abbildung 8 zu entnehmen ist, existieren am Untersuchungsstandort aus wasserhaushaltlicher Sicht wegen der guten Wasserspeichereigenschaften des Abdecksubstrats gute Wachstumsbedingungen. Sehr kritische Austrocknungsbedingungen können praktisch ausgeschlossen werden und dies selbst dann, wenn man die Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität infolge des Humusgehalts des KSK-Substrats unberücksichtigt lässt und von einer Einschichtabdeckung ausgeht.

Vergleicht man die beiden Zustände miteinander, so stellt man fest, dass sich die Bewuchsbedingungen durch die PVA verbessern. Der Grasbewuchs gerät im Vergleich zum Mais weniger häufig in Trockenstresssituationen.

a) konservativer Datensatz:



b) KSK-Datensatz:

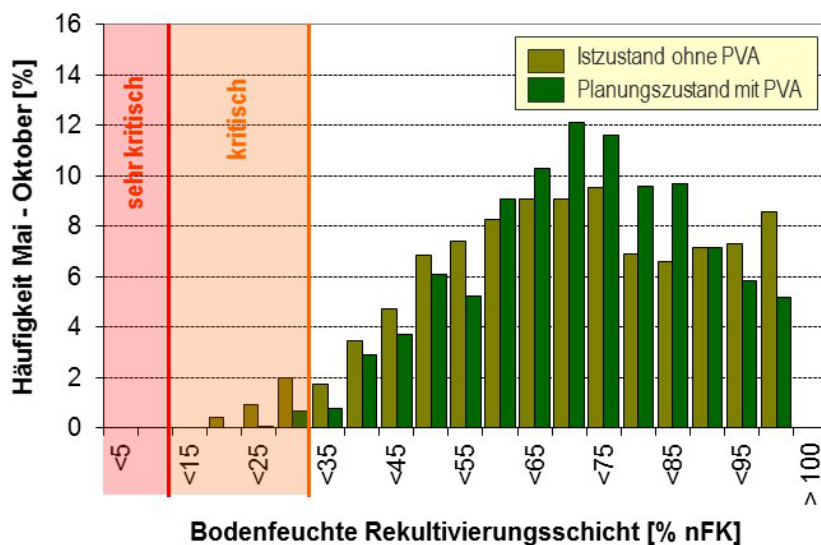


Abbildung 8:

Verteilung der Bodenfeuchtwerte im Bereich der Wurzelzone für die beiden Zustände ohne und mit PVA

5.3. Verhalten bezüglich der Oberflächenabfluss- und Sickerwasserbildung im Starkregenfall

Die Ermittlung der Oberflächenabflussmengen erfolgte mit dem BOWAHALD-Modul ROHALDEP (Methodik → vgl. Abschnitt 3), das entsprechend Abschnitt 4.2 parametrisiert worden ist.

Im Ergebnis der Modellierung des Abflussbildungs- und -konzentrationsprozesses erhält man Durchflussganglinien für den tiefsten Punkt des Untersuchungsgebiets für die maßgebende Regendauer (Regendauer, für die der Scheiteldurchfluss maximal wird).

In der Tabelle 8 sind die Änderungen hinsichtlich der Durchflussscheitelwerte aufgeführt, die sich für die beiden Zustände ergeben. Die Details enthalten die Anlagen 8 bis 10. Da Mais im Jahresverlauf sehr unterschiedliche Bedingungen bezüglich der Oberflächenabflussbildung aufweist, wurden für den Istzustand zwei Varianten betrachtet:

- best case: volle Bewuchsentwicklung zum Zeitpunkt des sommerlichen Wachstumsmaximums und
- worst case: Winterbrache ohne nennenswerten Bewuchs.

Aus diesem Grund sind in der Tabelle 8 für den Istzustand Spannweiten der Durchflussscheitelwerte angegeben.

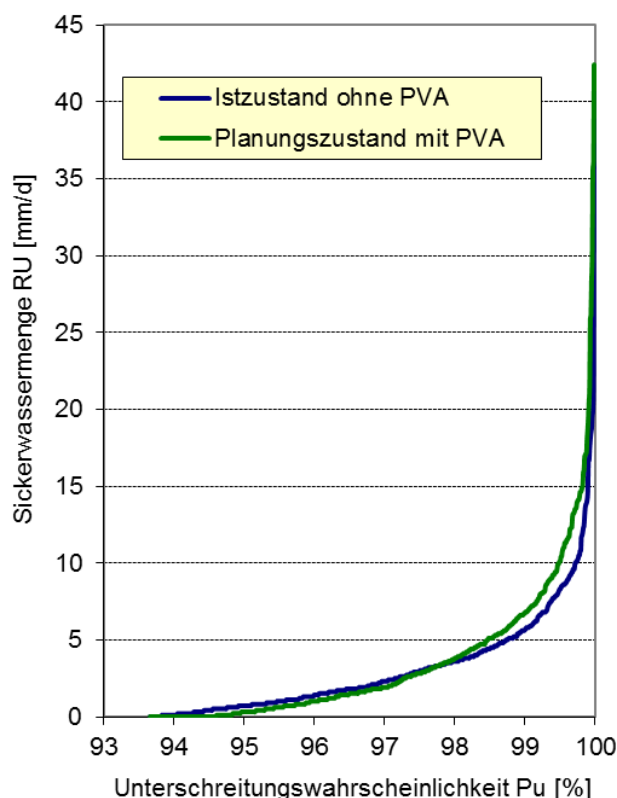
Es wird deutlich, dass die im Starkregenfall gebildeten Oberflächenabflüsse für den Planungszustand für alle Wiederkehrintervalle im Schwankungsbereich dessen liegen, was für den jetzigen Zustand modelliert wird. Alles in allem sollten die Oberflächenabflüsse im Planungszustand, eine ausreichende Bemessung der Entwässerungseinrichtungen vorausgesetzt, beherrschbar sein.

Tabelle 8: Einfluss der PVA auf die Scheiteldurchflüsse für Starkregen mit verschiedenen Wiederkehrintervallen

Wiederkehrsintervall [a]	Scheiteldurchfluss (Maximaldurchfluss) [l/s] am tiefsten Punkt der Altdeponie	
	Istzustand: Mais ohne PVA	Planungszustand: Gras mit PVA
1	20 ... 62	25
2	27 ... 96	43
3	31 ... 117	55
5	36 ... 146	72
10	45 ... 198	106
20	52 ... 241	136
30	60 ... 258	155
50	74 ... 300	179
100	102 ... 366	228

Abschließend sind die Auswirkungen der geplanten PVA auf die sich im Starkregen- bzw. Schneeschmelzfall bildenden Sickerwasserspitzen untersucht worden. Betrachtet wurden die Verteilungen der täglichen Sickerwassermengen an der Basis der Abdeckung. In der Abbildung 9 sind die Sickerwasserverteilungen für die beiden untersuchten Zustände (Istzustand ohne PVA und Planungszustand mit PVA) beispielhaft für die Einschichtabdeckung grafisch gegenübergestellt.

a) konservativer Datensatz:



b) KSK-Datensatz:

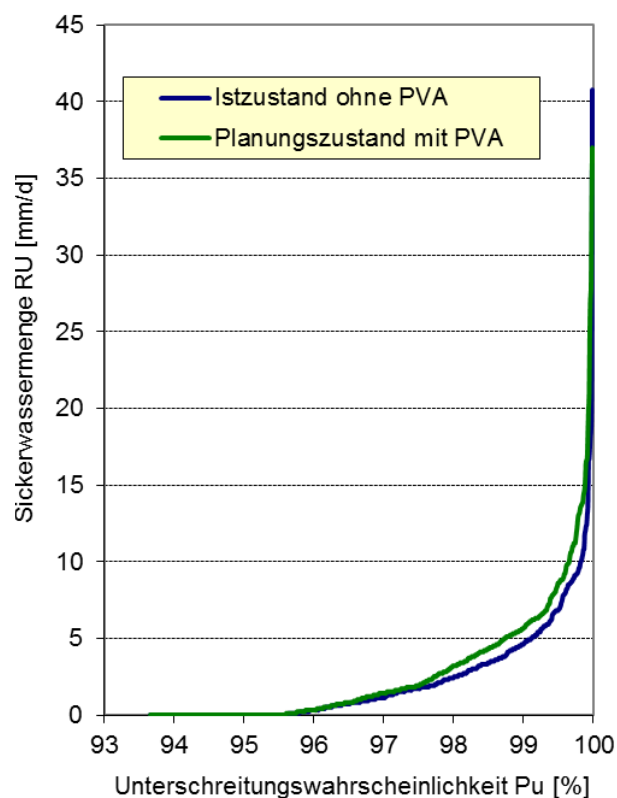


Abbildung 9: Sickerwasserbildung an der Basis der Abdeckung für die Zustände ohne und mit PVA beispielhaft für die Einschichtabdeckung

Analog zu den vorangegangenen Untersuchungen wurden für die beiden Zustände die zwei Datensätze (konservativer Datensatz ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats und KSK-Datensatz mit entsprechenden nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats) betrachtet. Die Ergebnisse im Detail enthält die Anlage 11. Dort finden sich auch die Ergebnisse für die Zweischichtabdeckung.

Aus den Modellrechnungen geht hervor (vgl. Abbildung 9 sowie Anlage 11), dass es durch die PV-Module während Starkregen- bzw. markante Schneeschmelzereignissen kaum zu einer Veränderung in Bezug auf die Verteilung der täglichen Sickerwassermengen kommt.

6. Zusammenfassung

Für die ehem. Deponie „Am Dachsberg“, die in der Einheitsgemeinde Teutschenthal nördlich der Ortschaft Köchstedt unweit der Bundesstraße B 80 gelegen ist, wird erwogen, eine Photovoltaikanlage (PVA – PV-Anlage) zu errichten. Die ca. 5,5 ha große Altdeponie verfügt über eine Oberflächenabdeckung aus einem bindigen Substrat unter Zumischung von Klärschlammkompost. Im Zuge der Voruntersuchungen soll der Einfluss einer PVA auf den Wasserhaushalt der Oberflächenabdeckung quantifiziert werden.

Wichtig ist, dass die wasserhaushaltliche Leistungsfähigkeit des Sicherungssystems durch die PVA nicht gravierend beeinträchtigt wird und damit die wasserhaushaltliche Funktionalität insgesamt erhalten bleibt. Dieser Nachweis ist nur auf Basis einer Wasserhaushaltsmodellierung quantitativ möglich. Der Nachweis beinhaltet die Wasserhaushaltsgrößen Oberflächenabfluss, Verdunstung sowie Sickerwasserbildung. Dabei sind die sich in einem langjährigen Zeitraum infolge der PVA ergebenden Änderungen des Wasserhaushalts (Mittel, Schwankungen in Nass- und Trockenjahren) sowie die Änderungen im Starkregenfall zu betrachten.

Bezüglich der Führung der Nachweise ist für den konkreten Anwendungsfall das Modell BOWAHALD verwendet worden, weil bezüglich der Parametrisierung von Solarpanelen bereits Erfahrungen aus anderen Projekten vorliegen. Die Modellparametrisierung erfolgte auf der Basis vorhandener Unterlagen. Basierend auf den für das PV-Feld der Deponie Bautzen-Nadelwitz gewonnenen BOWAHALD-Kalibrierungsergebnissen sind für den Planungszustand folgende Annahmen getroffen worden:

- Auftreffen der sich auf den Modulen bildenden Oberflächenabflüsse auf die Bodenoberfläche am tiefsten Punkt des Moduls,
- Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die Infiltrationsfläche durch die PV-Module verkleinert durch eine flächengewichtete Verminderung der Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) der Bodenoberfläche → Wichtungsfaktor = Fläche [m^2] der PV-Module je m^2 Bodenoberfläche (sog. Bodenüberdeckung),
- Verminderung des Bestandskoeffizienten (k_c -Faktor) von 1,0 (Grasbewuchs neben den Modulen) auf 0,8 (unter den PV-Modulen) → eingeschränkte potenzielle Verdunstung unter den PV-Modulen gegenüber den Freiflächen infolge des geringeren Strahlungsangebots,

- Annahme einer Reduzierung der maximalen Wurzeltiefe des Bewuchses von 1,2 m (neben den Modulen) auf 0,84 m (unter den Modulen) → für den Fall der Annahme einer Mächtigkeit der Klärschlammkompost-Abdeckung von 0,75 m (Sondierungsergebnis) auf diese Mächtigkeit begrenzt,
- Abminderung des maximalen Bewuchsbedeckungsgrades von 90 % (Grasbewuchs neben den Modulen) auf 65 % (unter den Modulen) → Verminderung um ca. 30 %

Dabei ist für den Planungszustand mit PVA von einer Bodenüberdeckung infolge der PV-Module von 55 % ausgegangen worden.

Wegen des Umstandes, dass es sich bei der zu untersuchenden Fläche um eine nahezu ebene Fläche ohne merkliche morphologische Unterschiede handelt, ist von einem einheitlichen Hydrotop ausgegangen worden.

Die Vertikaldiskretisierung resultiert aus der vertikalen Schichtenabfolge der bereits realisierten Oberflächensicherung. Im Ergebnis der durch die HPC AG Merseburg durchgeführten Sondierungen ergibt sich eine durchschnittliche Mächtigkeit der Klärschlammkompost-Abdeckung (KSK-Abdeckung) von 0,75 m. Nach der ursprünglichen Planung ergeben sich zwei Schichten: eine 1,0 m mächtige KSK-Abdeckschicht unterlagert von einer 0,3 m mächtigen dichtenden Schicht. Diese beiden Schichtpakete (Ein- und Zweischichtabdeckung) liegen den Modellrechnungen zugrunde.

Um die vorhandenen Unsicherheiten bezüglich der Parametrisierung des Klärschlamm-Kompost-Substrats (KSK-Substrat) zu erfassen, basieren die Modellrechnungen für die beiden Schichtpakete jeweils auf zwei Datensätzen:

- ein Datensatz, der Erhöhungen der nutzbaren Feldkapazität nFK und Luftkapazität LK infolge der Wirkung des Humusgehaltes des KSK-Substrats unberücksichtigt lässt (als „konservativer Datensatz“ bezeichnet) und
- ein Datensatz, bei dem solche Erhöhungen berücksichtigt werden (als „KSK-Datensatz“ bezeichnet).

Für den Istzustand ist als Bewuchs Mais mit jahreszeitlich stark variablen Bewuchsparametern angesetzt worden. Dabei wird berücksichtigt, dass die Fläche vor dem Aufgehen und nach der Ernte kaum bewachsen ist. Dem Planungszustand liegt ein Gras-Krautbewuchs zugrunde, der ganzjährig vorhanden ist. Unter den PV-Modulen ist von einem eingeschränkt leistungsfähigen Grasbewuchs ausgegangen worden (Annahmen hierzu s. o.).

Die meteorologischen Daten stammen von den DWD-Station Teutschenthal (Niederschlag) sowie Bad Lauchstädt, Halle-Kröllwitz und Leipzig-Halle (alle anderen Klimaelemente). Der Modellzeitraum umfasst die 30-jährige DWD-Bezugsperiode 1981 – 2010. Die Daten wurden wegen der nur geringen Entfernung ohne Modifikationen auf den Untersuchungsstandort übertragen. Zur Ermittlung der Starkregenmengen ist der aktuelle DWD-KOSTRA-Atlas 2010-R herangezogen worden.

Bezüglich des Einflusses der PVA auf den Wasserhaushalt lassen sich aus den Modellrechnungen folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Der ganzjährig verdunstungsaktive Grasbewuchs (auch wenn dieser unter den PV-Modulen wasserhaushaltlich nur eingeschränkt wirksam ist) bewirkt einen Anstieg der langjährig mittleren realen Verdunstung um etwa 20 – 40 mm/a verglichen mit dem Mais, der derzeit angebaut wird.
- Deutlichere Veränderungen gegenüber dem Istzustand ergeben sich bezüglich der Oberflächenabflüsse. Im langjährigen Mittel fließen im Planungszustand mit PVA ca. 30 mm/a weniger oberflächlich ab. Dieses auf den ersten Blick erstaunliche Ergebnis ergibt sich dadurch, dass gerade Mais gegenüber anderen Ackerkulturen oberflächenabflussfördernd wirkt und eine mit Mais bestellte Fläche über viele Monate des Jahres nicht oder kaum bewachsen ist.
- Von besonderer Bedeutung sind die Auswirkungen der PVA auf die Spitzendurchflüsse infolge Starkregen, weil diese eine Relevanz bezüglich der Bemessung der oberirdischen Entwässerungseinrichtungen haben. Die Modellrechnungen haben diesbezüglich ergeben, dass die im Starkregenfall gebildeten Oberflächenabflüsse für den Planungszustand für Wiederkehrintervalle zwischen einem und 100 Jahren im Schwankungsbereich derer liegen, die für den jetzigen Zustand modelliert werden. Alles in allem sollten die Oberflächenabflüsse im Planungszustand, eine ausreichende Bemessung der Entwässerungseinrichtungen vorausgesetzt, beherrschbar sein.
- Die Versickerungsmengen an der Basis der Abdeckung verhalten sich insgesamt gesehen indifferent. Die Abweichungen im Vergleich zum Istzustand betragen etwa 10 mm/a. Je nach angenommener Schichtung der Abdeckung (Ein- bzw. Zweischichtabdeckung) und Parameterdatensatz (mit und ohne Berücksichtigung einer zusätzlichen Wasserspeichereigenschaft des KSK-Substrats) wird für den Planungszustand mit PVA gegenüber dem Istzustand etwas mehr bzw. geringfügig weniger an Sickerwasser modelliert. Die Unsicherheiten, die sich auf Grund der nicht eindeutigen Informationslage bezüglich der Schichtung, der Mächtigkeit und der pedologisch relevanten Parameter der Abdeckung ergeben, lassen folglich keine eindeutige Aussage zum Sickerwasserverhalten zu. Wahrscheinlich existieren bezüglich der Sickerwasserbildung jedoch keine großen Unterschiede zwischen Ist- und Planungszustand.
- Das Verhalten in Nass- und Trockenjahren gestaltet sich für den Planungszustand mit PVA ähnlich dem Istzustand. So liegen z. B. die prozentualen Zu- bzw. Abnahmen der wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen im Vergleich zum langjährigen Mittel in einer sehr ähnlichen Größenordnung.
- Die Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung sind auf Grund der hohen Wasserspeichereigenschaften des Abdecksubstrats generell hoch. Infolge der PVA verbessern sich die ohnehin schon guten Bewuchsbedingungen weiter. Der Grasbewuchs gerät im Vergleich zum Mais weniger häufig in Trockenstresssituationen.

Resümierend kann eingeschätzt werden, dass die wasserhaushaltliche Leistungsfähigkeit des Oberflächensicherungssystems durch die PVA nicht gravierend beeinträchtigt wird sondern sich im Gegenteil teilweise verbessert. Damit bleibt die wasserhaushaltliche Funktionalität der Abdeckung erhalten.

7. Literaturverzeichnis

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage. Herausgeber: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover.

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

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.

Berger, K. und V. Dunger (2017): Wasserhaushaltsberechnungen von Abdichtungssystemen für Halden und Deponien. Weiterbildungsseminar des DGFZ e. V. am 1. und 2. Juni 2017 in Dresden.

Berger, K. und V. Dunger (2020): Wasserhaushaltsuntersuchungen – Grundlagen, Berechnungsmodelle, Anwendungsbeispiele. HF-DGGV-Fortbildung am 13. und 14. Februar 2020 in Bad Soden-Saalmünster.

Bernsdorf, S., F. Liemen, R. Meissner, und R. Jahn (2011): Eignung von Klärschlammkompost als Rekultivierungsmaterial zum Anbau von Energiepflanzen. In: Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der DBG, 3. – 9. September 2011, Berlin, Berichte der DBG.

Dehner, U. und U., Maier-Harth (2016): Vereinfachte bodenkundliche Beurteilung von Substraten für Deponierekultivierungsschichten. 12. Leipziger Deponiefachtagung, Tagungsband, S. 105 – 116.

DIN 4022 (1987) Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels. Beuth-Verlag.

Dunger, V. (2002): Dokumentation des Modells ROHALDEP zur quantitativen Abschätzung des Oberflächenabflusses von Halden- und Deponieflächen sowie zur Bemessung von Entwässerungsstrecken 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. und M. Müller (2010): Rahmenbedingungen für wirksame Wasserhaushaltsschichten gemäß Anforderungen DepV. In: Abschluss und Rekultivierung von Deponien und Altlasten 2010. ICP Eigenverlag Bauen und Umwelt.

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

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

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

Dunger, V. (2017): Dokumentation der Modelle BOWAM und BOWAHALD zur Simulation des Wasserhaushaltes von Böden sowie Oberflächensicherungssystemen von Halden und Deponien. Nutzerhandbuch, Version 06/2017.

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

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

Enerpark (2020): PVA Teutschenthal 2, Modullayout. Karte 1 : 500 vom 28.05.2020, Enerparc AG Hamburg.

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

HPC (2020): Schriftliche Mitteilung (E-Mail) der HPC AG Merseburg im Zusammenhang mit der Bearbeitung des Projekts.

Junghänel, T., H. Ertel und T. Deutschländer (2017): KOSTRA-DWD-2010R, Bericht zur Revision der koordinierten Starkregionalisierung und -auswertung des Deutschen Wetterdienstes in der Version 2010. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach a. M., Juli,2017, Selbstverlag.

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

Knorre, S, S. Bernsdorf, F. Liemen und R. Meissner (2014): Verfahrenstechnische und energetische Bewertung des Anbaues nachwachsender Rohstoffe auf zu rekultivierenden Flächen mithilfe von Klärschlammkompost. Tagungsband zur 10. Leipziger Deponiefachtagung, S. 227 – 233.

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ (2015): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ vom 07. Juli 2015.

LAGA (2016 a): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-1 – Rekultivierungsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen vom 13. April 2016.

LAGA (2016 b): LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-2 – Wasserhaushaltsschichten in Deponieoberflächenabdichtungssystemen vom 13. April 2016.

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.

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

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

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

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

Seidler, C., Haase, H., Blechinger, K., Kändler, M. und Kamenz, J. (2013): Einfluss der Solarpaneele auf die Vegetationsentwicklung am Beispiel der Deponie Bautzen-Nadelwitz. Statusseminar zum Forschungsvorhaben „Ableitung, Erstellung und experimentelle Prüfung von Richtlinien für die Errichtung von Fotovoltaikanlagen auf Deponie und Bergbauhalden.

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

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

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

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

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

8. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
BKA	Bodenkundliche Kartieranleitung	-
D	Niederschlagsdauer	min, h
DS	Speicheränderung innerhalb des betrachteten Systems	mm
DSB	Bodenspeicheränderung	mm
DWD	Deutscher Wetterdienst	-
EI	Interzeptionsverdunstung	mm
ETPU	potenzielle Evapotranspirationsmenge, nicht standortkorrigiert	mm
ETPK	potenzielle Evapotranspirationsmenge (standortkorrigiert)	mm/d
ETR	reale Verdunstungsmenge	mm
F	Infiltrationsmenge	mm
FEHL	Modellfehler (Bilanzungenauigkeit)	mm
FK	Feldkapazität	Vol.-%
hN	Niederschlagshöhe	mm
k_c	Bestandskoeffizient (k_c -Faktor)	-
k_f	k_f -Wert	m/s
KSK	Klärschlamm-Kompost	-
KWB	klimatische Wasserbilanz	mm/a
LK	Luftkapazität	Vol.-%
MS	Muldenspeichermenge	mm
n	Werteanzahl	-
nFK	nutzbare Feldkapazität	Vol.-%
P	Niederschlag	mm
P_D	Regendauer	min
PV	Photovoltaik	-
PVA	Photovoltaik-Anlage	-
PWP	permanenter Welkepunkt	Vol.-%

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
Q(t)	Gesamtdurchfluss	l/s
RH	hypodermischer Abfluss	mm
RLF	relative Luftfeuchte	%
RO	Oberflächenabfluss	mm
ROV	Oberflächenvernässung	mm
RU	Sickerwassermenge Basis der Abdeckung	mm
rN	Niederschlagsspende (nach KOSTRA)	l/(s ha)
SB _{min}	minimaler Bodenfeuchtwert	Vol.-%
SSD	Sonnenscheindauer	h
STW	Stauwasser	mm
Sum-%	Summenhäufigkeit	%
T	Wiederkehrintervall (Jährlichkeit)	a
TP	Temperatur	°C
WS	Äquivalentwassergehalt der Schneedecke	mm

9. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Übersichtsplan der Altdeponie „Am Dachsberg“ mit Solarpark und Modulbelegung
- Anlage 2: Übersicht über Fehlwerte der modellrelevanten Klimaelemente für die DWD-Stationen Bad Lauchstädt und Halle-Kröllwitz, Reihe 1981 – 2010
- Anlage 3: Niederschlagshöhen für den Untersuchungsstandort, Programm KOSTRA-DWD-2010R (JUNGHÄNEL U. A., 2017)
- Anlage 4: Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA
- Anlage 5: Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA
- Anlage 6: Austrocknung der Abdeckung für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA
- Anlage 7: Austrocknung der Abdeckung für den für den Planungszu-stand mit Grasbewuchs und mit PVA
- Anlage 8: Modellerte Oberflächenabflüsse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle im Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA – best case: Zeitpunkt des sommerlichen Wachstumsmaximums
- Anlage 9: Modellerte Oberflächenabflüsse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle im Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA – worst case: Winterbrache

Anlage 10: Modellierte Oberflächenabflüsse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle im Planungszustand mit Grasbewuchs mit PVA

Anlage 11: Sickerwassermengen im Starkregen- und Schneeschmelzfall

Anlage

Anlage 2:

Übersicht über Fehlwerte der modellrelevanten Klimaelemente für die DWD-Stationen Bad Lauchstädt und Halle-Kröllwitz, Reihe 1981 – 2010

Messwerte der Station Bad Lauchstädt fanden für den Zeitraum von 1981 – 04/2007 Eingang in die Modellrechnungen, Messwerte der Station Halle-Kröllwitz für den sich anschließenden Zeitraum 05/2007 – 2010.

Die Zeiträume, in denen Fehlwerte auftraten, die Messgröße(n), die das betraf sowie die Art der Auffüllung sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Zeitraum	Fehlendes Klimaelement	Auffüllung durch Werte der Station
01.01.1981 – 31.12.1988	Luftfeuchte	Halle-Kröllwitz
01.02.1991	Temperatur, Luftfeuchte	Leipzig-Halle (Flughafen)
01.03.1991 – 02.04.1991	Sonnenscheindauer	Leipzig-Halle (Flughafen)
04.03.1991	Luftfeuchte	Leipzig-Halle (Flughafen)
10.08.2007 – 13.08.2007	Luftfeuchte	Leipzig-Halle (Flughafen)
14.02.2008 – 18.02.2008	Luftfeuchte	Leipzig-Halle (Flughafen)
06.04.2008	Sonnenscheindauer	Leipzig-Halle (Flughafen)
09.04.2008	Sonnenscheindauer	Leipzig-Halle (Flughafen)

Fehlende Werte für die in obiger Tabelle angegebenen Klimaelemente wurden in der Art und Weise aufgefüllt, dass hierfür Werte der nächstgelegenen DWD-Station verwendet wurden.

Anlage 3:

Niederschlagshöhen für den Untersuchungsstandort, Programm KOSTRA-DWD-2010R (JUNGHÄNEL U. A., 2017)



KOSTRA-DWD 2010R

Nach den Vorgaben des Deutschen Wetterdienstes - Hydrometeorologie -

Niederschlagshöhen nach KOSTRA-DWD 2010R

Rasterfeld : Spalte 50, Zeile 49
 Ortsname : Teutschenthal (ST)
 Bemerkung :
 Zeitspanne : Januar - Dezember

Dauerstufe	Niederschlagshöhen hN [mm] je Wiederkehrintervall T [a]								
	1 a	2 a	3 a	5 a	10 a	20 a	30 a	50 a	100 a
5 min	5,2	6,6	7,5	8,5	10,0	11,4	12,3	13,4	14,8
10 min	7,9	10,0	11,2	12,7	14,7	16,8	18,0	19,5	21,6
15 min	9,6	12,1	13,6	15,5	18,0	20,5	22,0	23,9	26,4
20 min	10,8	13,7	15,4	17,5	20,5	23,4	25,1	27,3	30,2
30 min	12,2	15,8	17,9	20,6	24,1	27,7	29,8	32,5	36,0
45 min	13,5	17,9	20,4	23,7	28,1	32,5	35,0	38,3	42,6
60 min	14,2	19,3	22,2	26,0	31,1	36,1	39,1	42,8	47,9
90 min	15,8	21,1	24,3	28,2	33,6	39,0	42,1	46,1	51,4
2 h	17,0	22,6	25,8	30,0	35,5	41,1	44,4	48,5	54,1
3 h	18,9	24,8	28,2	32,6	38,5	44,4	47,9	52,2	58,1
4 h	20,3	26,5	30,1	34,6	40,8	46,9	50,5	55,0	61,2
6 h	22,6	29,1	32,9	37,7	44,2	50,7	54,5	59,3	65,8
9 h	25,1	31,9	36,0	41,0	47,9	54,8	58,8	63,9	70,8
12 h	27,0	34,2	38,4	43,6	50,8	58,0	62,1	67,4	74,6
18 h	30,0	37,6	42,0	47,6	55,2	62,7	67,2	72,8	80,3
24 h	32,3	40,2	44,8	50,6	58,5	66,4	71,0	76,8	84,7
48 h	37,1	46,9	52,7	59,9	69,7	79,5	85,2	92,4	102,2
72 h	40,3	51,2	57,6	65,6	76,6	87,5	93,8	101,9	112,8

Legende

- T Wiederkehrintervall, Jährlichkeit in [a]: mittlere Zeitspanne, in der ein Ereignis einen Wert einmal erreicht oder überschreitet
 D Dauerstufe in [min, h]: definierte Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen
 hN Niederschlagshöhe in [mm]

Für die Berechnung wurden folgende Klassenwerte verwendet:

Wiederkehrintervall	Klassenwerte	Niederschlagshöhen hN [mm] je Dauerstufe			
		15 min	60 min	24 h	72 h
1 a	Faktor [-]	DWD-Vorgabe	DWD-Vorgabe	DWD-Vorgabe	DWD-Vorgabe
	[mm]	9,60	14,20	32,30	40,30
100 a	Faktor [-]	DWD-Vorgabe	DWD-Vorgabe	DWD-Vorgabe	DWD-Vorgabe
	[mm]	26,40	47,90	84,70	112,80

Wenn die angegebenen Werte für Planungszwecke herangezogen werden, sollte für rN(D;T) bzw. hN(D;T) in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall

- bei $1 a \leq T \leq 5 a$ ein Toleranzbetrag von $\pm 10 \%$,
- bei $5 a < T \leq 50 a$ ein Toleranzbetrag von $\pm 15 \%$,
- bei $50 a < T \leq 100 a$ ein Toleranzbetrag von $\pm 20 \%$

Berücksichtigung finden.

Fortsetzung Anlage 3:

Niederschlagshöhen für den Untersuchungsstandort, Programm KOSTRA-DWD-2010R (JUNGHÄNEL U. A., 2017)

Lage des Rasterfeldes Spalte 50, Zeile 49:



Anlage 4:

Modellerggebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA

a) Einschichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungs-situation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.3	551.9	450.5	52.5	0.0	0.0	460.2	36.3	0.0	0.0	73.4	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	545.9	445.3	60.9	0.0	0.0	672.6	76.0	0.0	0.0	281.6	27.4	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.4	492.4	389.4	44.3	0.0	0.0	296.0	21.4	0.0	0.0	47.6	-88.5	0.0	-0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	545.9	445.3	60.9	0.0	0.0	672.6	76.0	0.0	0.0	281.6	27.4	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.0	589.1	453.7	51.4	0.0	0.0	381.3	13.5	0.0	0.0	93.6	-107.4	0.0	-0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	545.9	445.3	60.9	0.0	0.0	672.6	76.0	0.0	0.0	281.6	27.4	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	483.0	695.6	581.1	441.7	36.5	0.0	0.0	398.8	40.6	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0

b) Einschichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungs-situation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.3	551.9	471.6	52.5	0.0	0.0	459.2	36.9	0.0	0.0	51.6	-0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	545.9	469.0	60.9	0.0	0.0	672.2	76.4	0.0	0.0	236.1	48.8	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.4	492.4	414.4	44.3	0.0	0.0	295.5	21.6	0.0	0.0	39.6	-105.7	0.0	0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	545.9	469.0	60.9	0.0	0.0	672.2	76.4	0.0	0.0	236.1	48.8	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.0	589.1	484.2	51.4	0.0	0.0	380.5	13.7	0.0	0.0	93.3	-137.8	0.0	0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	545.9	469.0	60.9	0.0	0.0	672.2	76.4	0.0	0.0	236.1	48.8	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	483.0	695.6	581.1	449.2	36.5	0.0	0.0	394.8	42.9	0.0	0.0	0.0	-9.0	0.0	0.0

Hinweis: Es gab mehrere Jahre mit einer Sickerwassermenge RU = 0 mm/a.

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 4:

Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA

a) Zweischichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungs-situation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.3	551.9	453.5	52.5	0.0	0.0	459.3	37.0	0.0	0.0	69.6	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	545.9	446.6	60.9	0.0	0.0	672.1	76.5	0.0	0.0	277.8	29.4	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.4	492.4	391.6	44.3	0.0	0.0	295.4	21.9	0.0	0.0	47.0	-90.6	0.0	0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	545.9	446.6	60.9	0.0	0.0	672.1	76.5	0.0	0.0	277.8	29.4	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.0	589.1	459.9	51.4	0.0	0.0	379.8	14.0	0.0	0.0	93.7	-114.2	0.0	-0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	545.9	446.6	60.9	0.0	0.0	672.1	76.5	0.0	0.0	277.8	29.4	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	483.0	695.6	581.1	447.3	36.5	0.0	0.0	396.9	41.8	0.0	0.0	0.0	-6.2	0.0	0.0

b) Zweischichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungs-situation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.3	551.9	474.5	52.5	0.0	0.0	458.4	37.6	0.0	0.0	48.1	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	545.9	469.8	60.9	0.0	0.0	671.9	76.7	0.0	0.0	230.9	52.9	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.4	492.4	416.5	44.3	0.0	0.0	294.9	22.0	0.0	0.0	39.2	-107.7	0.0	-0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	545.9	469.8	60.9	0.0	0.0	671.9	76.7	0.0	0.0	230.9	52.9	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.0	589.1	490.5	51.4	0.0	0.0	379.7	14.1	0.0	0.0	93.2	-144.3	0.0	-0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	545.9	469.8	60.9	0.0	0.0	671.9	76.7	0.0	0.0	230.9	52.9	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	483.0	695.6	581.1	456.2	36.5	0.0	0.0	394.0	43.6	0.0	0.0	0.0	-16.7	0.0	-0.0

Hinweis: Es gab mehrere Jahre mit einer Sickerwassermenge RU = 0 mm/a.

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 5:

Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA

a) Einschichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungs-situation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.7	540.9	476.4	102.9	0.0	0.0	441.0	5.1	0.0	0.0	78.6	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	526.7	481.6	103.2	0.0	0.0	687.3	19.0	0.0	0.0	292.7	37.0	0.0	0.0
Trockenstes J.	369.9	576.9	478.1	420.4	93.0	0.0	0.0	269.8	0.0	0.0	0.0	71.3	-121.8	0.0	-0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	526.7	481.6	103.2	0.0	0.0	687.3	19.0	0.0	0.0	292.7	37.0	0.0	0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.1	576.1	483.3	115.3	0.0	-0.5	332.9	0.0	0.0	0.0	97.1	-126.5	0.0	0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	526.7	481.6	103.2	0.0	0.0	687.3	19.0	0.0	0.0	292.7	37.0	0.0	0.0
RU-ärmstes Jahr	466.8	635.7	526.9	437.0	93.7	0.0	0.0	363.4	4.5	0.0	0.0	0.0	25.4	0.0	-0.0

b) Einschichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungs-situation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.7	540.9	490.9	102.9	0.0	0.0	440.4	5.4	0.0	0.0	63.8	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	526.7	498.7	103.2	0.0	0.0	686.9	19.2	0.0	0.0	259.4	53.0	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.9	478.1	441.0	93.0	0.0	0.0	269.5	0.0	0.0	0.0	71.2	-142.3	0.0	-0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	526.7	498.7	103.2	0.0	0.0	686.9	19.2	0.0	0.0	259.4	53.0	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.1	576.1	511.4	115.3	0.0	-0.5	332.5	0.0	0.0	0.0	97.1	-154.6	0.0	0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	526.7	498.7	103.2	0.0	0.0	686.9	19.2	0.0	0.0	259.4	53.0	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	585.2	639.3	529.8	492.9	100.0	0.0	0.0	458.2	10.8	0.0	0.0	0.0	81.6	0.0	-0.0

Hinweis: Es gab mehrere Jahre mit einer Sickerwassermenge RU = 0 mm/a.

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 5:

Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA

a) Zweischichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungssituation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.7	540.9	491.6	102.9	0.0	0.0	440.1	5.6	0.0	0.0	62.9	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	526.7	499.3	103.2	0.0	0.0	686.7	19.2	0.0	0.0	256.5	55.3	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.9	478.1	441.1	93.0	0.0	0.0	269.2	0.0	0.0	0.0	71.2	-142.4	0.0	-0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	526.7	499.3	103.2	0.0	0.0	686.7	19.2	0.0	0.0	256.5	55.3	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.1	576.1	512.4	115.3	0.0	-0.5	332.4	0.0	0.0	0.0	97.3	-155.7	0.0	0.0
RU-reichstes J.	830.3	635.5	526.7	499.3	103.2	0.0	0.0	686.7	19.2	0.0	0.0	256.5	55.3	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	585.2	639.3	529.8	492.3	100.0	0.0	0.0	457.6	11.4	0.0	0.0	0.0	81.6	0.0	0.0

b) Zweischichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Witterungssituation	P mm	ETPU mm	ETPK mm	ETR mm	EI mm	WS mm	MS mm	F mm	RO mm	ROV mm	RH mm	RU mm	DSB mm	STW mm	FEHL mm
Langj. Mittel	560.1	652.7	540.9	501.0	102.9	0.0	0.0	439.5	6.0	0.0	0.0	53.2	0.0	0.0	-0.0
Nassestes Jahr	830.3	635.5	526.7	511.8	103.2	0.0	0.0	686.4	19.3	0.0	0.0	234.2	65.0	0.0	-0.0
Trockenstes J.	369.9	576.9	478.1	456.7	93.0	0.0	0.0	269.1	0.0	0.0	0.0	71.2	-158.0	0.0	-0.0
Max. pos. KWB	830.3	635.5	526.7	511.8	103.2	0.0	0.0	686.4	19.3	0.0	0.0	234.2	65.0	0.0	-0.0
Max. neg. KWB	453.4	695.1	576.1	535.6	115.3	0.0	-0.5	332.2	0.0	0.0	0.0	81.8	-163.5	0.0	-0.0
RU-reichstes J.	685.1	548.1	454.3	449.1	110.1	0.0	0.0	555.8	5.9	0.0	0.0	243.8	-13.8	0.0	-0.0
RU-ärmstes Jahr	585.2	639.3	529.8	485.5	100.0	0.0	0.0	455.0	13.9	0.0	0.0	0.0	85.8	0.0	-0.0

Hinweis: Es gab mehrere Jahre mit einer Sickerwassermenge RU = 0 mm/a.

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 6: Austrocknung der Abdeckung für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA

a) Einschichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	23.4	15	9	43.8		0	0	0	0
1982	14.4	5	10	9.0		94	89	46	6
1983	20.3	15	7	31.7		5	0	0	0
1984	26.6	3	9	56.2		0	0	0	0
1985	19.3	31	10	28.1		41	18	0	0
1986	18.6	9	8	25.6		30	7	0	0
1987	26.5	17	9	55.6		0	0	0	0
1988	19.2	24	8	27.7		24	5	0	0
1989	19.0	22	7	27.1		38	4	0	0
1990	18.6	13	8	25.6		35	19	0	0
1991	16.4	15	10	16.9		87	63	24	0
1992	22.7	30	8	41.2		0	0	0	0
1993	25.8	20	5	52.9		0	0	0	0
1994	16.9	9	8	18.7		37	25	5	0
1995	18.6	22	8	25.6		37	12	0	0
1996	23.1	4	9	42.9		0	0	0	0
1997	21.0	14	7	34.8		9	0	0	0
1998	19.9	20	8	30.4		12	0	0	0
1999	18.1	19	9	23.7		79	27	0	0
2000	20.6	18	8	33.3		9	0	0	0
2001	22.4	6	7	39.8		1	0	0	0
2002	21.1	15	7	35.0		7	0	0	0
2003	15.1	26	8	12.1		72	56	27	0
2004	20.2	19	10	31.5		42	0	0	0
2005	21.0	9	9	34.6		4	0	0	0
2006	16.0	22	7	15.4		57	26	11	0
2007	26.6	6	5	56.2		0	0	0	0
2008	24.5	5	7	48.1		0	0	0	0
2009	20.8	12	9	33.7		22	0	0	0
2010	19.3	11	7	28.1		20	3	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	450	8.15	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	327	5.92	91.85	
> 85 ... 90 % nFK:	324	5.87	85.92	
> 80 ... 85 % nFK:	350	6.34	80.05	
> 75 ... 80 % nFK:	339	6.14	73.71	
> 70 ... 75 % nFK:	380	6.88	67.57	
> 65 ... 70 % nFK:	460	8.33	60.69	
> 60 ... 65 % nFK:	496	8.99	52.36	
> 55 ... 60 % nFK:	428	7.75	43.37	
> 50 ... 55 % nFK:	393	7.12	35.62	
> 45 ... 50 % nFK:	466	8.44	28.50	
> 40 ... 45 % nFK:	345	6.25	20.05	
> 35 ... 40 % nFK:	225	4.08	13.80	
> 30 ... 35 % nFK:	183	3.32	9.73	
> 25 ... 30 % nFK:	150	2.72	6.41	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	91	1.65	3.70	
> 15 ... 20 % nFK:	80	1.45	2.05	
> 10 ... 15 % nFK:	27	0.49	0.60	
> 5 ... 10 % nFK:	6	0.11	0.11	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 6: **Austrocknung der Abdeckung für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA**

b) Einschichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	31.6	15	9	54.4		0	0	0	0
1982	17.8	5	10	16.0		88	71	18	0
1983	27.3	15	7	42.4		0	0	0	0
1984	35.5	5	9	65.3		0	0	0	0
1985	25.0	30	10	36.0		26	0	0	0
1986	24.5	9	8	34.6		9	0	0	0
1987	35.0	17	9	63.8		0	0	0	0
1988	24.9	24	8	35.8		12	0	0	0
1989	23.8	23	7	32.8		20	0	0	0
1990	23.7	13	8	32.5		30	0	0	0
1991	20.6	15	10	24.0		66	48	0	0
1992	29.8	30	8	49.3		0	0	0	0
1993	33.8	20	5	60.6		0	0	0	0
1994	21.6	9	8	26.8		31	7	0	0
1995	24.3	22	8	34.2		13	0	0	0
1996	30.0	4	9	50.0		0	0	0	0
1997	27.5	14	7	42.9		0	0	0	0
1998	26.5	22	8	40.1		0	0	0	0
1999	23.4	19	9	31.5		55	0	0	0
2000	26.3	18	8	39.7		1	0	0	0
2001	29.4	6	7	48.3		0	0	0	0
2002	27.9	15	7	44.2		0	0	0	0
2003	18.4	27	8	17.8		66	39	6	0
2004	26.9	19	10	41.4		0	0	0	0
2005	28.0	9	9	44.3		0	0	0	0
2006	20.6	26	7	23.9		48	18	0	0
2007	33.2	6	5	58.9		0	0	0	0
2008	31.9	20	9	55.1		0	0	0	0
2009	27.7	12	9	43.5		0	0	0	0
2010	25.1	21	7	36.5		6	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	473	8.57	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	403	7.30	91.43	
> 85 ... 90 % nFK:	396	7.17	84.13	
> 80 ... 85 % nFK:	363	6.58	76.96	
> 75 ... 80 % nFK:	381	6.90	70.38	
> 70 ... 75 % nFK:	527	9.55	63.48	
> 65 ... 70 % nFK:	501	9.08	53.93	
> 60 ... 65 % nFK:	500	9.06	44.86	
> 55 ... 60 % nFK:	457	8.28	35.80	
> 50 ... 55 % nFK:	410	7.43	27.52	
> 45 ... 50 % nFK:	377	6.83	20.09	
> 40 ... 45 % nFK:	261	4.73	13.26	
> 35 ... 40 % nFK:	192	3.48	8.53	
> 30 ... 35 % nFK:	96	1.74	5.05	
> 25 ... 30 % nFK:	109	1.97	3.32	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	50	0.91	1.34	
> 15 ... 20 % nFK:	24	0.43	0.43	
> 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 6: **Austrocknung der Abdeckung für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA**

c) Zweischichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	29.0	15	9	65.5	0	0	0	0
1982	23.0	5	10	42.2	0	0	0	0
1983	27.6	15	7	60.0	0	0	0	0
1984	30.4	3	9	70.8	0	0	0	0
1985	26.3	31	10	55.1	0	0	0	0
1986	26.5	9	8	55.8	0	0	0	0
1987	30.7	17	9	71.9	0	0	0	0
1988	26.3	24	8	55.0	0	0	0	0
1989	25.8	23	7	53.1	0	0	0	0
1990	24.5	13	8	48.2	0	0	0	0
1991	24.3	15	10	47.2	0	0	0	0
1992	28.3	30	8	62.7	0	0	0	0
1993	29.7	20	5	68.2	0	0	0	0
1994	25.4	9	8	51.4	0	0	0	0
1995	26.3	22	8	55.0	0	0	0	0
1996	29.0	4	9	65.4	0	0	0	0
1997	27.9	14	7	61.0	0	0	0	0
1998	26.6	20	8	56.0	0	0	0	0
1999	25.2	19	9	50.8	0	0	0	0
2000	27.3	18	8	59.0	0	0	0	0
2001	28.6	30	8	63.8	0	0	0	0
2002	28.1	15	7	61.9	0	0	0	0
2003	23.3	27	8	43.3	0	0	0	0
2004	26.8	19	10	56.8	0	0	0	0
2005	27.4	9	9	59.2	0	0	0	0
2006	24.9	22	7	49.7	0	0	0	0
2007	29.9	6	5	68.7	0	0	0	0
2008	29.7	20	9	68.1	0	0	0	0
2009	27.3	12	9	58.7	0	0	0	0
2010	27.0	11	7	57.7	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	34	0.62	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	567	10.27	99.38	
> 90 ... 95 % nFK:	549	9.95	89.11	
> 85 ... 90 % nFK:	526	9.53	79.17	
> 80 ... 85 % nFK:	660	11.96	69.64	
> 75 ... 80 % nFK:	794	14.38	57.68	
> 70 ... 75 % nFK:	767	13.89	43.30	
> 65 ... 70 % nFK:	656	11.88	29.40	
> 60 ... 65 % nFK:	403	7.30	17.52	
> 55 ... 60 % nFK:	283	5.13	10.22	
> 50 ... 55 % nFK:	162	2.93	5.09	
> 45 ... 50 % nFK:	92	1.67	2.16	
> 40 ... 45 % nFK:	27	0.49	0.49	
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 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 6: **Austrocknung der Abdeckung für den Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA**

d) Zweischichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	38.1	15	9	72.6		0	0	0	0
1982	28.9	5	10	46.9		0	0	0	0
1983	35.9	15	7	66.3		0	0	0	0
1984	39.8	3	9	77.2		0	0	0	0
1985	33.9	31	10	60.7		0	0	0	0
1986	34.1	9	8	61.3		0	0	0	0
1987	39.9	17	9	77.6		0	0	0	0
1988	33.9	24	8	60.9		0	0	0	0
1989	31.6	23	7	54.4		0	0	0	0
1990	30.3	13	8	50.9		0	0	0	0
1991	28.3	15	10	45.4		0	0	0	0
1992	34.5	30	8	62.6		0	0	0	0
1993	38.7	20	5	74.1		0	0	0	0
1994	32.4	9	8	56.7		0	0	0	0
1995	33.9	22	8	60.8		0	0	0	0
1996	37.3	4	9	70.4		0	0	0	0
1997	35.8	14	7	66.0		0	0	0	0
1998	33.8	22	8	60.6		0	0	0	0
1999	32.5	19	9	56.9		0	0	0	0
2000	34.6	18	8	62.7		0	0	0	0
2001	36.8	20	10	68.8		0	0	0	0
2002	36.2	15	7	67.1		0	0	0	0
2003	29.3	27	8	48.0		0	0	0	0
2004	34.3	19	10	61.9		0	0	0	0
2005	35.0	9	9	63.8		0	0	0	0
2006	31.6	26	7	54.5		0	0	0	0
2007	36.4	6	5	67.9		0	0	0	0
2008	38.3	20	9	73.0		0	0	0	0
2009	35.3	12	9	64.6		0	0	0	0
2010	34.8	21	7	63.2		0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	24	0.43	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	535	9.69	99.57	
> 90 ... 95 % nFK:	589	10.67	89.87	
> 85 ... 90 % nFK:	667	12.08	79.20	
> 80 ... 85 % nFK:	768	13.91	67.12	
> 75 ... 80 % nFK:	872	15.80	53.21	
> 70 ... 75 % nFK:	799	14.47	37.41	
> 65 ... 70 % nFK:	566	10.25	22.93	
> 60 ... 65 % nFK:	359	6.50	12.68	
> 55 ... 60 % nFK:	165	2.99	6.18	
> 50 ... 55 % nFK:	99	1.79	3.19	
> 45 ... 50 % nFK:	77	1.39	1.39	
> 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	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 7: Austrocknung der Abdeckung für den für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA

a) Einschichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	27.5	15	9	59.6		0	0	0	0
1982	16.3	5	10	16.4		90	72	17	0
1983	24.3	15	7	47.3		0	0	0	0
1984	31.3	3	9	74.4		0	0	0	0
1985	21.3	31	10	35.9		26	0	0	0
1986	22.6	9	8	40.9		0	0	0	0
1987	31.6	17	9	75.3		0	0	0	0
1988	20.6	24	8	32.9		18	0	0	0
1989	19.5	23	7	28.7		31	3	0	0
1990	20.4	13	8	32.2		31	0	0	0
1991	18.3	16	10	24.1		65	46	0	0
1992	26.0	2	6	53.8		0	0	0	0
1993	23.2	20	5	43.1		0	0	0	0
1994	20.3	9	8	31.9		22	0	0	0
1995	22.4	22	8	40.1		0	0	0	0
1996	26.6	4	9	56.2		0	0	0	0
1997	21.2	14	7	35.5		4	0	0	0
1998	21.9	20	8	37.9		7	0	0	0
1999	19.8	19	9	30.1		62	0	0	0
2000	20.5	18	8	32.7		38	0	0	0
2001	22.1	6	7	38.7		2	0	0	0
2002	22.7	15	7	41.3		0	0	0	0
2003	15.8	27	8	14.6		112	58	23	0
2004	24.5	31	10	48.2		0	0	0	0
2005	24.1	9	9	46.5		0	0	0	0
2006	18.0	26	7	22.9		57	20	0	0
2007	24.0	6	5	46.3		0	0	0	0
2008	25.3	5	7	51.0		0	0	0	0
2009	23.9	12	9	45.6		0	0	0	0
2010	22.7	21	7	41.0		0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	296	5.36	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	333	6.03	94.64	
> 85 ... 90 % nFK:	320	5.80	88.61	
> 80 ... 85 % nFK:	410	7.43	82.81	
> 75 ... 80 % nFK:	406	7.36	75.38	
> 70 ... 75 % nFK:	506	9.17	68.03	
> 65 ... 70 % nFK:	514	9.31	58.86	
> 60 ... 65 % nFK:	500	9.06	49.55	
> 55 ... 60 % nFK:	540	9.78	40.49	
> 50 ... 55 % nFK:	459	8.32	30.71	
> 45 ... 50 % nFK:	339	6.14	22.39	
> 40 ... 45 % nFK:	332	6.01	16.25	
> 35 ... 40 % nFK:	244	4.42	10.24	
> 30 ... 35 % nFK:	122	2.21	5.82	
> 25 ... 30 % nFK:	111	2.01	3.61	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	48	0.87	1.59	
> 15 ... 20 % nFK:	38	0.69	0.72	
> 10 ... 15 % nFK:	2	0.04	0.04	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	0.00	Sehr hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	0	0.00	0.00	

Fortsetzung Anlage 7: **Austrocknung der Abdeckung für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA**

b) Einschichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	36.8	15	9	69.0	0	0	0	0
1982	21.9	5	10	27.5	66	11	0	0
1983	32.6	15	7	57.2	0	0	0	0
1984	41.3	3	9	81.4	0	0	0	0
1985	28.6	30	10	46.0	0	0	0	0
1986	31.1	9	8	53.1	0	0	0	0
1987	41.2	17	9	81.0	0	0	0	0
1988	27.5	24	8	43.0	0	0	0	0
1989	25.1	23	7	36.3	8	0	0	0
1990	25.4	30	8	37.3	17	0	0	0
1991	24.3	16	10	34.3	44	0	0	0
1992	32.5	2	6	57.0	0	0	0	0
1993	32.0	20	5	55.6	0	0	0	0
1994	27.9	9	8	44.1	0	0	0	0
1995	30.4	22	8	51.1	0	0	0	0
1996	35.3	4	9	64.7	0	0	0	0
1997	28.9	14	7	46.9	0	0	0	0
1998	28.5	22	8	45.7	0	0	0	0
1999	26.5	19	9	40.3	0	0	0	0
2000	27.0	18	8	41.6	0	0	0	0
2001	30.3	6	7	50.8	0	0	0	0
2002	29.8	15	7	49.4	0	0	0	0
2003	20.5	27	8	23.6	90	30	0	0
2004	31.8	31	10	54.9	0	0	0	0
2005	31.6	9	9	54.4	0	0	0	0
2006	24.7	26	7	35.3	18	0	0	0
2007	29.8	6	5	49.4	0	0	0	0
2008	34.1	5	7	61.4	0	0	0	0
2009	32.1	12	9	55.9	0	0	0	0
2010	30.9	21	7	52.5	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	286	5.18	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	322	5.83	94.82	
> 85 ... 90 % nFK:	394	7.14	88.99	
> 80 ... 85 % nFK:	536	9.71	81.85	
> 75 ... 80 % nFK:	530	9.60	72.14	
> 70 ... 75 % nFK:	641	11.61	62.54	
> 65 ... 70 % nFK:	670	12.14	50.92	
> 60 ... 65 % nFK:	568	10.29	38.79	
> 55 ... 60 % nFK:	500	9.06	28.50	
> 50 ... 55 % nFK:	288	5.22	19.44	
> 45 ... 50 % nFK:	336	6.09	14.22	
> 40 ... 45 % nFK:	206	3.73	8.13	
> 35 ... 40 % nFK:	160	2.90	4.40	
> 30 ... 35 % nFK:	42	0.76	1.50	
> 25 ... 30 % nFK:	36	0.65	0.74	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	5	0.09	0.09	
> 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 7: **Austrocknung der Abdeckung für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA**

c) Zweischichtabdeckung, konservativer Datensatz (ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	32.0	15	9	77.1	0	0	0	0
1982	23.7	5	10	45.1	0	0	0	0
1983	29.4	15	7	67.1	0	0	0	0
1984	34.2	3	9	85.3	0	0	0	0
1985	27.9	31	10	61.3	0	0	0	0
1986	28.9	9	8	65.1	0	0	0	0
1987	34.2	17	9	85.4	0	0	0	0
1988	27.3	24	8	59.0	0	0	0	0
1989	25.8	23	7	53.1	0	0	0	0
1990	25.8	13	8	53.1	0	0	0	0
1991	25.1	16	10	50.2	0	0	0	0
1992	28.9	2	6	64.9	0	0	0	0
1993	29.2	20	5	66.2	0	0	0	0
1994	27.2	9	8	58.6	0	0	0	0
1995	28.7	22	8	64.2	0	0	0	0
1996	31.6	4	9	75.3	0	0	0	0
1997	28.0	14	7	61.5	0	0	0	0
1998	27.4	22	8	59.4	0	0	0	0
1999	26.8	19	9	57.1	0	0	0	0
2000	27.2	18	8	58.5	0	0	0	0
2001	28.7	6	7	64.1	0	0	0	0
2002	28.0	15	7	61.6	0	0	0	0
2003	23.2	27	8	43.2	0	0	0	0
2004	29.3	19	10	66.4	0	0	0	0
2005	29.2	9	9	66.3	0	0	0	0
2006	25.2	26	7	50.9	0	0	0	0
2007	27.7	6	5	60.3	0	0	0	0
2008	30.9	5	7	72.5	0	0	0	0
2009	29.7	12	9	67.9	0	0	0	0
2010	28.8	21	7	64.8	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	15	0.27	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	394	7.14	99.73	
> 90 ... 95 % nFK:	439	7.95	92.59	
> 85 ... 90 % nFK:	691	12.52	84.64	
> 80 ... 85 % nFK:	795	14.40	72.12	
> 75 ... 80 % nFK:	946	17.14	57.72	
> 70 ... 75 % nFK:	841	15.24	40.58	
> 65 ... 70 % nFK:	552	10.00	25.34	
> 60 ... 65 % nFK:	420	7.61	15.34	
> 55 ... 60 % nFK:	225	4.08	7.74	
> 50 ... 55 % nFK:	144	2.61	3.66	
> 45 ... 50 % nFK:	51	0.92	1.05	
> 40 ... 45 % nFK:	7	0.13	0.13	
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 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 7: **Austrocknung der Abdeckung für den Planungszustand mit Grasbewuchs und mit PVA**

d) Zweischichtabdeckung, KSK-Datensatz (unter Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge Humusgehalt des KSK-Substrats):

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon. <40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1981	39.0	15	9	75.0	0	0	0	0
1982	29.0	5	10	47.3	0	0	0	0
1983	34.9	15	7	63.5	0	0	0	0
1984	41.3	3	9	81.3	0	0	0	0
1985	34.1	31	10	61.3	0	0	0	0
1986	35.6	9	8	65.4	0	0	0	0
1987	41.2	17	9	81.2	0	0	0	0
1988	33.3	24	8	59.1	0	0	0	0
1989	30.9	23	7	52.5	0	0	0	0
1990	30.6	30	8	51.5	0	0	0	0
1991	29.8	16	10	49.4	0	0	0	0
1992	33.8	2	6	60.6	0	0	0	0
1993	36.0	20	5	66.6	0	0	0	0
1994	33.6	9	8	60.0	0	0	0	0
1995	35.3	22	8	64.7	0	0	0	0
1996	38.5	4	9	73.7	0	0	0	0
1997	34.4	14	7	62.1	0	0	0	0
1998	33.1	20	8	58.6	0	0	0	0
1999	32.7	19	9	57.6	0	0	0	0
2000	32.2	18	8	56.1	0	0	0	0
2001	34.3	6	7	61.8	0	0	0	0
2002	33.6	15	7	59.9	0	0	0	0
2003	27.9	27	8	44.2	0	0	0	0
2004	34.7	19	10	63.0	0	0	0	0
2005	35.0	9	9	63.9	0	0	0	0
2006	30.5	26	7	51.4	0	0	0	0
2007	32.3	6	5	56.5	0	0	0	0
2008	37.6	5	7	71.2	0	0	0	0
2009	36.3	12	9	67.5	0	0	0	0
2010	35.4	21	7	65.0	0	0	0	0

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	2	0.04	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	174	3.15	99.96	
> 85 ... 90 % nFK:	467	8.46	96.81	
> 80 ... 85 % nFK:	727	13.17	88.35	
> 75 ... 80 % nFK:	1007	18.24	75.18	
> 70 ... 75 % nFK:	1112	20.14	56.94	
> 65 ... 70 % nFK:	843	15.27	36.79	
> 60 ... 65 % nFK:	604	10.94	21.52	
> 55 ... 60 % nFK:	320	5.80	10.58	
> 50 ... 55 % nFK:	202	3.66	4.78	
> 45 ... 50 % nFK:	58	1.05	1.12	
> 40 ... 45 % nFK:	4	0.07	0.07	
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	0.00	
> 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	

Anlage 8:

Modellierte Oberflächenabflüsse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle im Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA – best case: Zeitpunkt des sommerlichen Wachstumsmaximums

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

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

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

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

Objektbezeichnung : Ist T = 1 a
Dateiname fuer die Eingabedaten: c:\dachspva\eingadat\001.inp

Regendauer PD : unbekannt
Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

- fuer PD = 5 min	:	5.70 mm
- fuer PD = 10 min	:	8.70 mm
- fuer PD = 15 min	:	10.60 mm
- fuer PD = 20 min	:	11.90 mm
- fuer PD = 30 min	:	13.40 mm
- fuer PD = 45 min	:	14.90 mm
- fuer PD = 60 min	:	15.60 mm
- fuer PD = 90 min	:	17.40 mm
- fuer PD = 2 h	:	18.70 mm
- fuer PD = 3 h	:	20.80 mm
- fuer PD = 4 h	:	22.30 mm
- fuer PD = 6 h	:	24.90 mm
- fuer PD = 9 h	:	27.60 mm
- fuer PD = 12 h	:	29.70 mm
- fuer PD = 18 h	:	33.00 mm
- fuer PD = 24 h	:	35.50 mm

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaechen	:	5.53 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	250.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	220.00 m
* hoechster Punkt	:	108.00 m NN
* niedrigster Punkt	:	101.00 m NN
* mittleres Gefaelle der Halden-/Deponieflaechen	:	1.00 %

Bewuchs: Gras/Kraut-Bewuchs (durchschnittlich)
Vegetationsbedeckungsgrad : 95.00 %

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaechen : 8.50E-07 m/s

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

Name des Ergebnisfiles: c:\dachspva\ergebnis\001.erg

Name des Isochronenfiles: c:\dachspva\isochron\001.iso

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

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

1. NIEDERSCHLAGSGANGLINIE:

- * Abminderung der Regenhoehe fuer Flaechen > 30 km² (aus /2/):
 - Abminderungsfaktor: Beta = 1.0
 - resultierende Regenmenge: P = 15.9 mm
- * massgebende Regendauer: PD = 66 min
- * Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 66
- * Regenintensitaet: PI = 14.6 mm/h
- * raeumliche Variabilitaet: fuer die Gesamtflaeche als konstant angenommen
- * zeitliche Variabilitaet: waehrend der Regendauer als konstant angenommen

2. OBERFLAECHEABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG (EFFEKTIVNIEDERSCHLAG):

Anwendung des SCS-Verfahrens aus Gebietskenngroessen bei Beruecksichtigung der pedologischen Eigenschaften der Oberflaeche, Bewuchs und Vorfeuchte (/3/ bis /5/):

- * CN-Faktor = f(kf, Bewuchs, Hanglaenge, -neigung): CN = 64.2 %
- * Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
- * Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 1.5 %
- * modellintern/nutzerkorrigierter Abflussbeiwert: PHIK = 15.0 %
- * Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 2.4 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 = 3.9 km
 - Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
 - K1 = 34.7 min
 - K2 = 88.2 min
 - DELTA = 0.94

- * Gleichung der Impulsantwortfunktion:

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

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

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

4. GESAMTABFLUSSGANGLINIE Q(t):

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

$$Q(t_j) = Q_D(t_j) + Q_B(t_j)$$

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

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

Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 66 min)				
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s	
1	0.705	0.026	0.026	
2	1.370	0.076	0.076	
3	1.997	0.149	0.149	
4	2.587	0.243	0.243	
5	3.142	0.358	0.358	
6	3.664	0.491	0.491	
7	4.154	0.643	0.643	
8	4.614	0.811	0.811	
9	5.044	0.995	0.995	
10	5.446	1.194	1.194	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
60	7.860	16.706	16.706	
61	7.768	16.990	16.990	
62	7.675	17.270	17.270	
63	7.581	17.546	17.546	
64	7.486	17.819	17.819	
65	7.391	18.089	18.089	
66	7.296	18.355	18.355	
67	7.200	18.592	18.592	
68	7.104	18.801	18.801	
69	7.007	18.984	18.984	
70	6.911	19.142	19.142	
71	6.815	19.276	19.276	
72	6.718	19.387	19.387	
73	6.622	19.477	19.477	
74	6.526	19.547	19.547	
75	6.431	19.598	19.598	
76	6.335	19.630	19.630	
77	6.240	19.645	19.645	
78	6.146	19.644	19.644	
79	6.052	19.628	19.628	
80	5.959	19.597	19.597	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
949	0.000	0.001	0.001	
950	0.000	0.001	0.001	
951	0.000	0.001	0.001	
952	0.000	0.001	0.001	
953	0.000	0.001	0.001	
954	0.000	0.000	0.000	

5. ZUSAMMENFASSUNG

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

- * Abflussmaximum: QMAX = 19.65 l/s
- * Anstiegszeit: TA = 77.00 min
- * Abflusssumme: QSUM = 132.14 m³

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.

b) Modellergebnisse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	66	20
2	62	27
3	62	31
5	62	36
10	60	45
20	61	52
30	89	60
50	89	74
100	91	102

Anlage 9:

Modellierte Oberflächenabflüsse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle im Istzustand mit Maisbewuchs ohne PVA – worst case: Winterbrache

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

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

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

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

Objektbezeichnung : Ist T = 1 a
Dateiname fuer die Eingabedaten: c:\dachspva\eingadat\001.inp

Regendauer PD : unbekannt
Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

- fuer PD = 5 min	:	5.70 mm
- fuer PD = 10 min	:	8.70 mm
- fuer PD = 15 min	:	10.60 mm
- fuer PD = 20 min	:	11.90 mm
- fuer PD = 30 min	:	13.40 mm
- fuer PD = 45 min	:	14.90 mm
- fuer PD = 60 min	:	15.60 mm
- fuer PD = 90 min	:	17.40 mm
- fuer PD = 2 h	:	18.70 mm
- fuer PD = 3 h	:	20.80 mm
- fuer PD = 4 h	:	22.30 mm
- fuer PD = 6 h	:	24.90 mm
- fuer PD = 9 h	:	27.60 mm
- fuer PD = 12 h	:	29.70 mm
- fuer PD = 18 h	:	33.00 mm
- fuer PD = 24 h	:	35.50 mm

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaeche	:	5.53 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	250.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	220.00 m
* hoechster Punkt	:	108.00 m NN
* niedrigster Punkt	:	101.00 m NN
* mittleres Gefaeulle der Halden-/Deponieflaeche	:	1.00 %

Bewuchs: unbewachsen (Oedland)

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaeche..... : 8.50E-07 m/s

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

Name des Ergebnisfiles: c:\dachspva\ergebnis\001.erg

Name des Isochronenfiles: c:\dachspva\isochron\001.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 = 17.3 mm
- * massgebende Regendauer: PD = 89 min
- * Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 89
- * Regenintensitaet: PI = 11.7 mm/h
- * raeumliche Variabilitaet: fuer die Gesamtflaeche als konstant angenommen
- * zeitliche Variabilitaet: waehrend der Regendauer als konstant angenommen

2. OBERFLAECHEABFLUSSWIRKSAMER NIEDERSCHLAG (EFFEKTIVNIEDERSCHLAG):

Anwendung des SCS-Verfahrens aus Gebietskenngroessen bei Beruecksichtigung der pedologischen Eigenschaften der Oberflaeche, Bewuchs und Vorfeuchte (/3/ bis /5/):

- * CN-Faktor = f(kf, Bewuchs, Hanglaenge, -neigung): CN = 93.4 %
- * Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
- * Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 48.2 %
- * Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 8.3 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 = 3.9 km
 - Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
 - K1 = 34.7 min
 - K2 = 88.2 min
 - DELTA = 0.94

* Gleichung der Impulsantwortfunktion:

$$U(T,tj) = AE/3.6 \left[\frac{\Delta}{K_1} e^{-tj/K_1} + \frac{(1-\Delta)}{K_2} e^{-tj/K_2} \right]$$

* 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:

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

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

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

Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 89 min)			
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s
1	0.705	0.066	0.066
2	1.370	0.196	0.196
3	1.997	0.384	0.384
4	2.587	0.628	0.628
5	3.142	0.924	0.924
6	3.664	1.270	1.270
7	4.154	1.662	1.662
8	4.614	2.097	2.097
9	5.044	2.573	2.573
10	5.446	3.086	3.086
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
90	5.063	61.224	61.224
91	4.978	61.564	61.564
92	4.894	61.837	61.837
93	4.811	62.047	62.047
94	4.729	62.197	62.197
95	4.647	62.289	62.289
96	4.567	62.328	62.328
97	4.488	62.317	62.317
98	4.409	62.257	62.257
99	4.332	62.152	62.152
100	4.255	62.004	62.004
101	4.180	61.816	61.816
102	4.106	61.590	61.590
103	4.032	61.329	61.329
104	3.960	61.035	61.035
105	3.888	60.709	60.709
106	3.818	60.355	60.355
107	3.749	59.973	59.973
108	3.680	59.566	59.566
109	3.613	59.135	59.135
110	3.547	58.681	58.681
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1083	0.000	0.001	0.001
1084	0.000	0.001	0.001
1085	0.000	0.001	0.001
1086	0.000	0.001	0.001
1087	0.000	0.001	0.001
1088	0.000	0.000	0.000

5. ZUSAMMENFASSUNG

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

- * Abflussmaximum: QMAX = 62.33 l/s
- * Anstiegszeit: TA = 96.00 min
- * Abflusssumme: QSUM = 461.61 m³

6. LITERATUR

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

b) Modellergebnisse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	89	62
2	85	96
3	69	117
5	65	146
10	64	198
20	64	241
30	64	258
50	64	300
100	62	366

Anlage 10:

Modellierte Oberflächenabflüsse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle im Planungszustand mit Grasbewuchs mit PVA

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

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

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

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

Objektbezeichnung : PVA T = 1 a

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

Regendauer PD : unbekannt
Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

- fuer PD = 5 min	:	5.70 mm
- fuer PD = 10 min	:	8.70 mm
- fuer PD = 15 min	:	10.60 mm
- fuer PD = 20 min	:	11.90 mm
- fuer PD = 30 min	:	13.40 mm
- fuer PD = 45 min	:	14.90 mm
- fuer PD = 60 min	:	15.60 mm
- fuer PD = 90 min	:	17.40 mm
- fuer PD = 2 h	:	18.70 mm
- fuer PD = 3 h	:	20.80 mm
- fuer PD = 4 h	:	22.30 mm
- fuer PD = 6 h	:	24.90 mm
- fuer PD = 9 h	:	27.60 mm
- fuer PD = 12 h	:	29.70 mm
- fuer PD = 18 h	:	33.00 mm
- fuer PD = 24 h	:	35.50 mm

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaeche	:	5.53 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	250.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	220.00 m
* hoechster Punkt	:	108.00 m NN
* niedrigster Punkt	:	101.00 m NN
* mittleres Gefaelle der Halden-/Deponieflaeche	:	1.00 %

Bewuchs: Gras/Kraut-Bewuchs (durchschnittlich)

Vegetationsbedeckungsgrad : 90.00 %

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaeche..... : 3.80E-07 m/s

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

Name des Ergebnisfiles: c:\dachspva\ergebnis\001.erg

Name des Isochronenfiles: c:\dachspva\isochron\001.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 = 18.1 mm
- * massgebende Regendauer: PD = 107 min
- * Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 107
- * Regenintensitaet: PI = 10.2 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 = 81.2 %
- * Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
- * Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 19.8 %
- * Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 3.6 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 = 3.9 km
 - Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
 - K1 = 34.7 min
 - K2 = 88.2 min
 - DELTA = 0.94

* Gleichung der Impulsantwortfunktion:

$$U(T,tj) = AE/3.6 \left[\frac{\Delta}{K_1} e^{-tj/K_1} + \frac{(1-\Delta)}{K_2} e^{-tj/K_2} \right]$$

* 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:

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

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

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

Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 107 min)			
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s
1	0.705	0.024	0.024
2	1.370	0.070	0.070
3	1.997	0.137	0.137
4	2.587	0.224	0.224
5	3.142	0.330	0.330
6	3.664	0.453	0.453
7	4.154	0.592	0.592
8	4.614	0.748	0.748
9	5.044	0.917	0.917
10	5.446	1.100	1.100
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
100	4.255	23.400	23.400
101	4.180	23.540	23.540
102	4.106	23.678	23.678
103	4.032	23.814	23.814
104	3.960	23.947	23.947
105	3.888	24.078	24.078
106	3.818	24.206	24.206
107	3.749	24.332	24.332
108	3.680	24.432	24.432
109	3.613	24.508	24.508
110	3.547	24.560	24.560
111	3.481	24.590	24.590
112	3.417	24.599	24.599
113	3.353	24.589	24.589
114	3.291	24.560	24.560
115	3.230	24.513	24.513
116	3.169	24.450	24.450
117	3.110	24.371	24.371
118	3.051	24.278	24.278
119	2.994	24.171	24.171
120	2.937	24.052	24.052
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
1012	0.000	0.001	0.001
1013	0.000	0.001	0.001
1014	0.000	0.001	0.001
1015	0.000	0.001	0.001
1016	0.000	0.001	0.001
1017	0.000	0.000	0.000

5. ZUSAMMENFASSUNG

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

- * Abflussmaximum: QMAX = 24.60 l/s
- * Anstiegszeit: TA = 112.00 min
- * Abflusssumme: QSUM = 198.03 m³

6. LITERATUR

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

b) Modellergebnisse für alle KOSTRA-relevanten Wiederkehrintervalle:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	107	25
2	95	43
3	89	55
5	91	72
10	69	106
20	80	136
30	67	155
50	67	179
100	65	228

Anlage 11:

Sickerwassermengen im Starkregen- und Schneeschmelzfall

a) *Einschichtabdeckung, konservativer Datensatz ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats:*

P _U [%]	RU [mm/d] Istzustand	RU [mm/d] Planungszustand
99,67	9,4	12,3
99,68	9,4	13,0
99,69	9,6	13,2
99,70	9,6	13,2
99,71	9,6	13,3
99,72	10,0	13,5
99,73	10,0	13,5
99,74	10,1	13,6
99,74	10,1	13,9
99,75	10,2	14,0
99,76	10,3	14,1
99,77	10,5	14,1
99,78	10,5	14,3
99,79	10,8	14,6
99,80	10,8	14,6
99,81	11,7	14,7
99,82	11,8	14,9
99,83	12,0	15,0
99,84	12,3	15,9
99,84	12,4	16,0
99,85	13,1	16,9
99,86	13,6	17,0
99,87	13,8	17,1
99,88	13,9	17,2
99,89	14,1	18,1
99,90	14,6	18,8
99,91	16,6	19,6
99,92	16,7	20,6
99,93	17,5	21,5
99,94	18,1	25,9
99,95	18,5	26,1
99,95	18,8	28,6
99,96	19,6	29,7
99,97	19,9	35,6
99,98	21,8	36,1
99,99	40,8	42,4

Wiederkehrintervall T:

	1 Jahr
	2 Jahre
	5 Jahre
	10 Jahre
	30 Jahre

Fortsetzung Anlage 11:

Sickerwassermengen im Starkregen- und Schneeschmelzfall

b) Einschichtabdeckung, KSK-Datensatz mit Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats:

P _U [%]	RU [mm/d] Istzustand	RU [mm/d] Planungszustand
99,67	8,6	10,4
99,68	8,6	10,6
99,69	8,7	10,6
99,70	8,7	10,8
99,71	8,8	11,0
99,72	8,9	11,0
99,73	8,9	11,2
99,74	9,1	11,2
99,74	9,1	11,2
99,75	9,1	11,5
99,76	9,2	11,9
99,77	9,2	12,2
99,78	9,3	12,7
99,79	9,4	13,0
99,80	9,6	13,1
99,81	9,6	13,2
99,82	9,9	13,5
99,83	10,0	13,6
99,84	10,1	13,7
99,84	10,3	13,8
99,85	10,5	13,9
99,86	10,8	14,3
99,87	10,8	14,5
99,88	11,8	14,8
99,89	12,0	15,5
99,90	12,3	16,5
99,91	12,4	16,6
99,92	13,1	16,8
99,93	13,6	18,3
99,94	16,6	20,0
99,95	16,7	20,9
99,95	17,5	25,0
99,96	18,2	27,1
99,97	18,8	28,0
99,98	21,4	32,8
99,99	40,8	37,0

Wiederkehrintervall T:

- 1 Jahr
- 2 Jahre
- 5 Jahre
- 10 Jahre
- 30 Jahre

Fortsetzung Anlage 11:

Sickerwassermengen im Starkregen- und Schneeschmelzfall

c) Zweischichtabdeckung, konservativer Datensatz ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats:

P _U [%]	RU [mm/d] Istzustand	RU [mm/d] Planungszustand
99,67	8,6	8,6
99,68	8,6	8,6
99,69	8,6	8,7
99,70	8,6	8,7
99,71	8,6	8,7
99,72	8,6	8,9
99,73	8,6	8,9
99,74	8,6	8,9
99,74	8,6	9,0
99,75	8,6	9,0
99,76	8,6	9,1
99,77	8,6	9,1
99,78	8,6	9,1
99,79	8,6	9,2
99,80	8,6	9,4
99,81	8,6	9,4
99,82	8,6	9,4
99,83	8,6	9,5
99,84	8,6	9,6
99,84	8,6	9,6
99,85	8,6	9,6
99,86	8,6	9,7
99,87	8,8	9,8
99,88	9,0	9,9
99,89	9,5	9,9
99,90	9,5	10,0
99,91	9,6	10,0
99,92	9,6	10,0
99,93	9,7	10,4
99,94	9,7	10,6
99,95	9,7	10,8
99,95	10,0	11,0
99,96	10,4	11,2
99,97	10,7	11,2
99,98	12,1	11,3
99,99	13,0	12,1

Wiederkehrintervall T:

- 1 Jahr
- 2 Jahre
- 5 Jahre
- 10 Jahre
- 30 Jahre

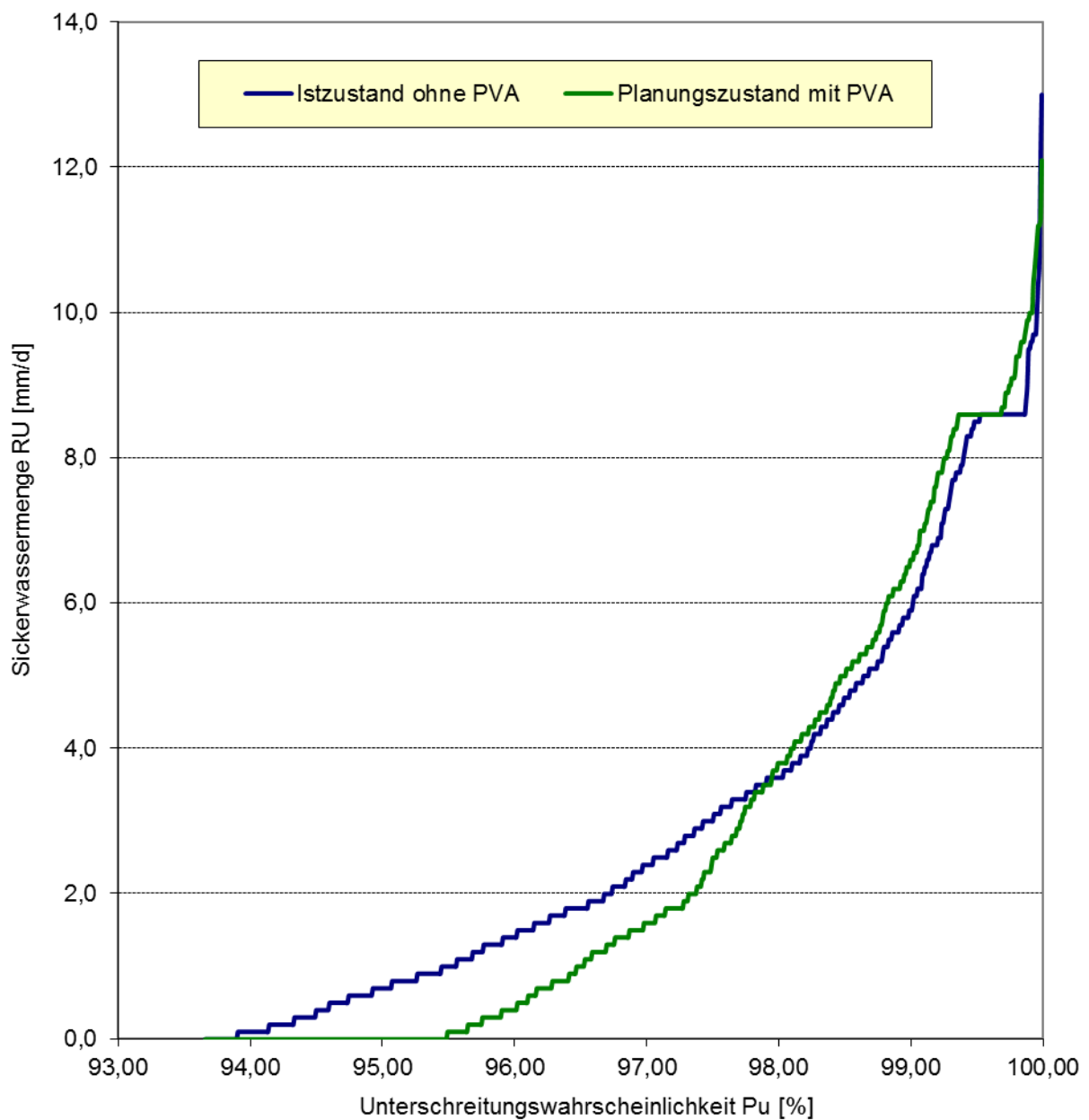


Abbildung A 11a: Sickerwasserbildung an der Basis der Abdeckung für die Zweischichtabdeckung, konservativer Datensatz ohne Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats

Fortsetzung Anlage 11:

Sickerwassermengen im Starkregen- und Schneeschmelzfall

d) Zweischichtabdeckung, KSK-Datensatz mit Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats:

P _U [%]	RU [mm/d] Istzustand	RU [mm/d] Planungszustand
99,67	8,6	8,6
99,68	8,6	8,6
99,69	8,6	8,7
99,70	8,6	8,7
99,71	8,6	8,7
99,72	8,6	8,7
99,73	8,6	8,8
99,74	8,6	8,8
99,74	8,6	8,8
99,75	8,6	8,8
99,76	8,6	8,9
99,77	8,6	8,9
99,78	8,6	8,9
99,79	8,6	9,0
99,80	8,6	9,0
99,81	8,6	9,0
99,82	8,6	9,0
99,83	8,6	9,0
99,84	8,6	9,1
99,84	8,6	9,1
99,85	8,6	9,1
99,86	8,6	9,1
99,87	8,7	9,2
99,88	8,7	9,2
99,89	8,8	9,2
99,90	9,0	9,2
99,91	9,1	9,3
99,92	9,1	9,3
99,93	9,1	9,4
99,94	9,1	9,5
99,95	9,1	9,7
99,95	9,3	9,7
99,96	9,4	9,8
99,97	9,4	9,8
99,98	9,9	9,8
99,99	10,2	10,0

Wiederkehrintervall T:

- 1 Jahr
- 2 Jahre
- 5 Jahre
- 10 Jahre
- 30 Jahre

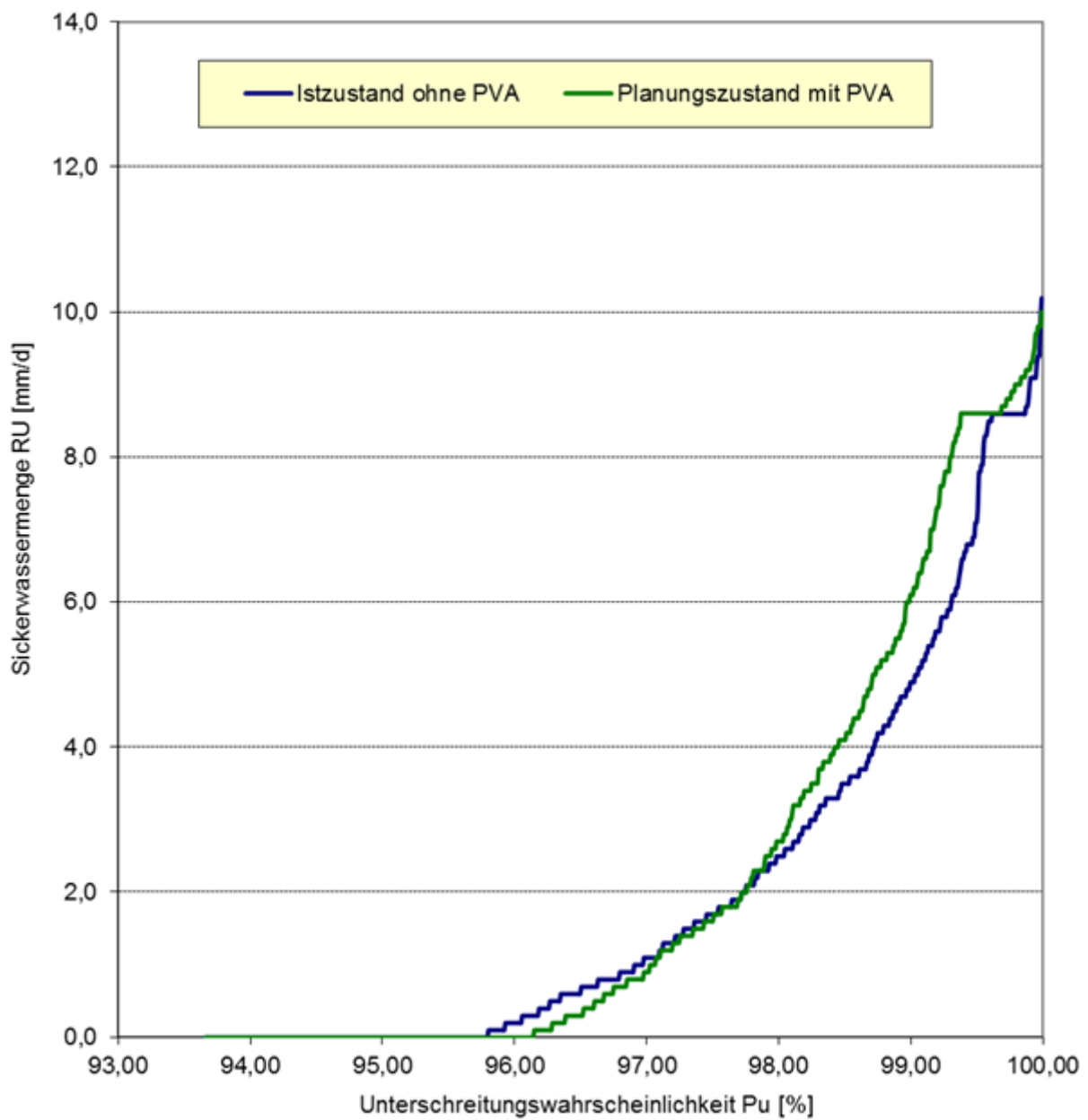
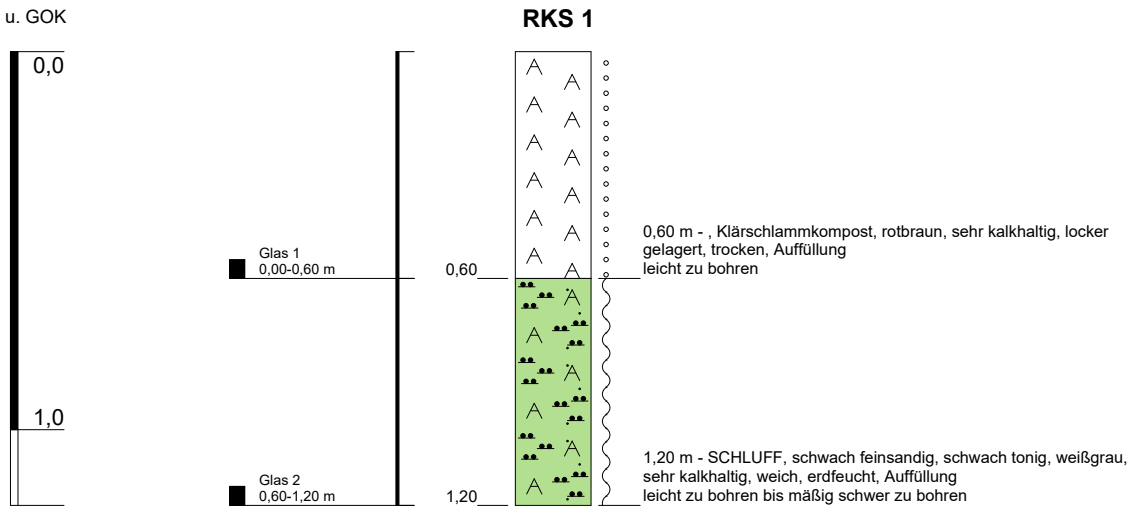


Abbildung A 11b: Sickerwasserbildung an der Basis der Abdeckung für die Zweischichtabdeckung, KSK-Datensatz mit Berücksichtigung von nFK- und LK-Erhöhungen infolge des Humusgehaltes des KSK-Substrats

m u. GOK



Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt: PVA Köchstedt, Dachsberge

Bohrung: RKS 1

Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH

Rechtswert: 32694341,78

Bohrfirma: HPC AG

Hochwert: 5707328,54

Bearbeiter: Schwengfelder

Ansatzhöhe: +107,19 m NHN

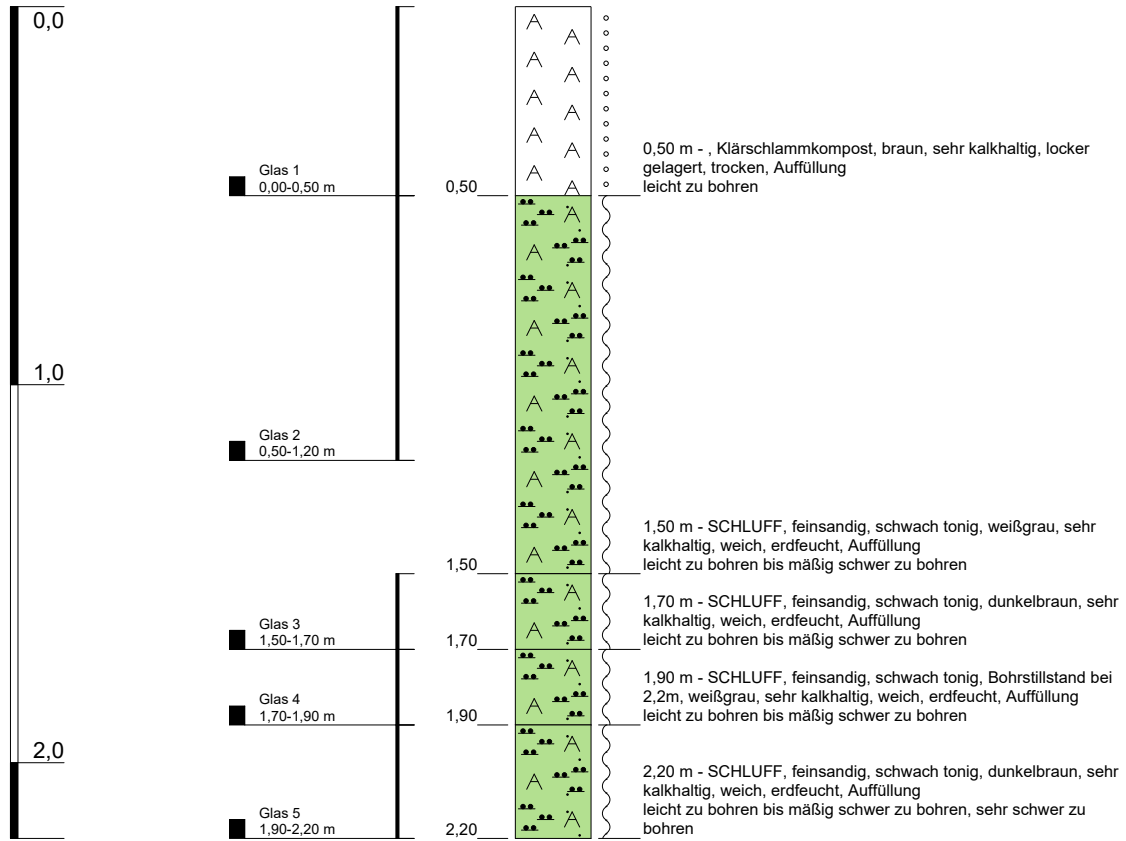
Datum: 28.05.2020

Endtiefe: 1,20 m

HPC
DAS INGENIEURUNTERNEHMEN


m u. GOK

RKS 2



Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt: PVA Köchstedt, Dachsberge		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 2		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694347,98	
Bohrfirma: HPC AG	Hochwert: 5707258,26	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +107,22 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 2,20 m	

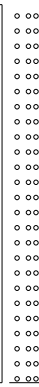
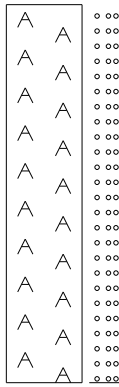
m u. GOK



Glas 1
0,00-1,00 m

1,00


RKS 3



1,00 m - , Klärschlammkompost, Bohrstillstand bei 1,0m, braun,
sehr kalkhaltig, locker gelagert bis mitteldicht gelagert, trocken bis
erdfeucht, Auffüllung
leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren

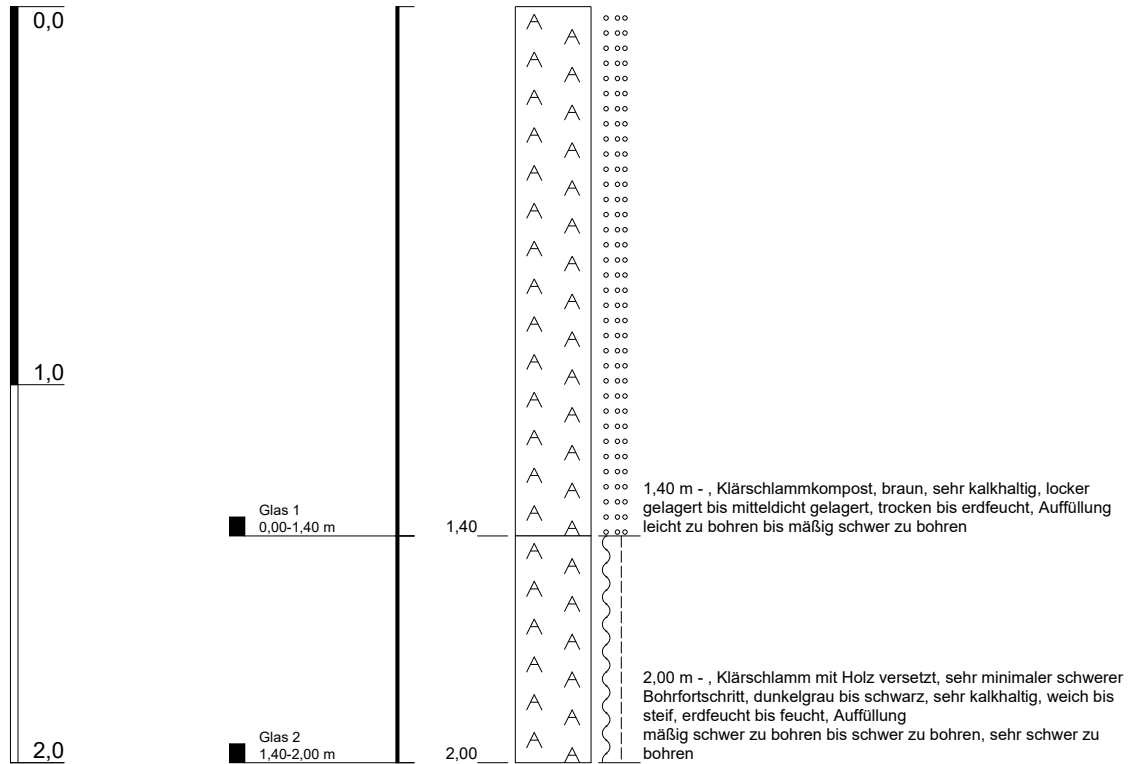
Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt: PVA Köchstedt, Dachsberge		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 3		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694254,12	
Bohrfirma: HPC AG	Hochwert: 5707206,14	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +107,23 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 1,00 m	


m u. GOK

RKS 4



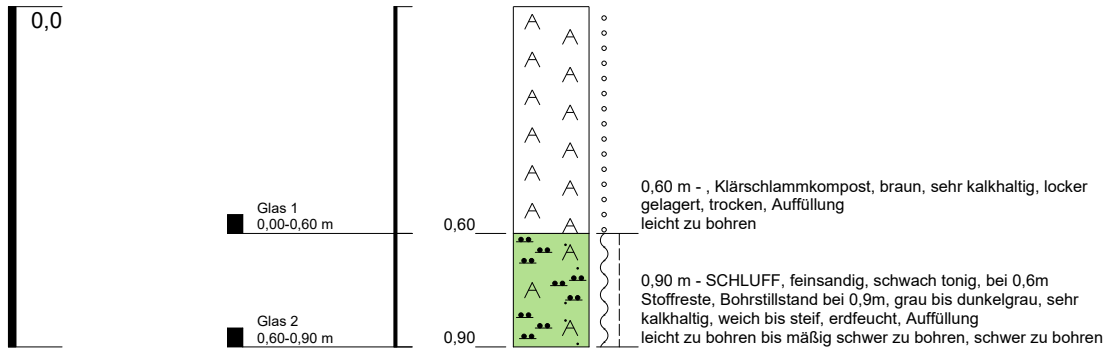
Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt: PVA Köchstedt, Dachsberge		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 4		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694207,64	
Bohrfirma: HPC AG	Hochwert: 5707275,19	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +107,16 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 2,00 m	


m u. GOK

RKS 5



Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt: PVA Köchstedt, Dachsberge		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 5		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694262,29	
Bohrfirma: HPC AG	Hochwert: 5707378,23	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +106,62 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 0,90 m	

m u. GOK

0,0

1,0

RKS 6

Glas 1
0,00-0,40 m

Glas 2
0,40-1,00 m

0,40

1,00




0,40 m - , Klärschlammkompost, braun, sehr kalkhaltig, locker gelagert, trocken bis erdfeucht, Auffüllung leicht zu bohren

1,00 m - SCHLUFF, feinsandig, schwach tonig, Plastereste bei 0,9m, ab 0,8m Ziegelsplitter, Bohrstillstand bei 1,0m, schwarzbraun, sehr kalkhaltig, weich bis steif, erdfeucht, Auffüllung leicht zu bohren bis mäßig schwer zu bohren, schwer zu bohren

Höhenmaßstab: 1:20

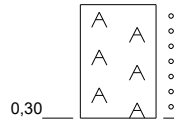
Blatt 1 von 1

Projekt: PVA Köchstedt, Dachsberge		 <p>DAS INGENIEURUNTERNEHMEN</p>
Bohrung: RKS 6		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694337,42	
Bohrfirma: HPC AG	Hochwert: 5707369,05	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +107,12 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 1,00 m	

m u. GOK

0,0

RKS 7



0,30 m - , Klärschlammkompost, Bohrstillstand bei 0,30m, braun, sehr kalkhaltig, locker gelagert, trocken bis erdfeucht, Auffüllung leicht zu bohren

Höhenmaßstab: 1:20

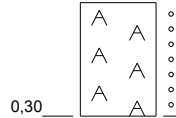
Blatt 1 von 1

Projekt:		
Bohrung: RKS 7		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694340,21	
Bohrfirma:	Hochwert: 5707432,68	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +106,56 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 0,30 m	

m u. GOK

0,0

RKS 8



0,30 m - , Klärschlammkompost, Bohrstillstand bei 0,30m, braun, sehr kalkhaltig, locker gelagert, trocken bis erdfeucht, Auffüllung leicht zu bohren

Höhenmaßstab: 1:20

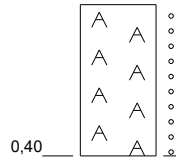
Blatt 1 von 1

Projekt:		
Bohrung: RKS 8		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694336,91	
Bohrfirma:	Hochwert: 5707454,32	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +105,91 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 0,30 m	

m u. GOK

0,0


RKS 9



0,40 m - , Klärschlammkompost, Bohrstillstand bei 0,40m, braun, sehr kalkhaltig, locker gelagert, trocken bis erdfeucht, Auffüllung leicht zu bohren

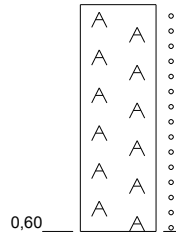
Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt:		
Bohrung: RKS 9		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694366,86	
Bohrfirma:	Hochwert: 5707445,40	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +106,39 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 0,40 m	

m u. GOK


RKS 10



0,60 m - , Klärschlammkompost, Bohrstillstand bei 0,60m, braun, sehr kalkhaltig, locker gelagert, trocken bis erdfeucht, Auffüllung leicht zu bohren

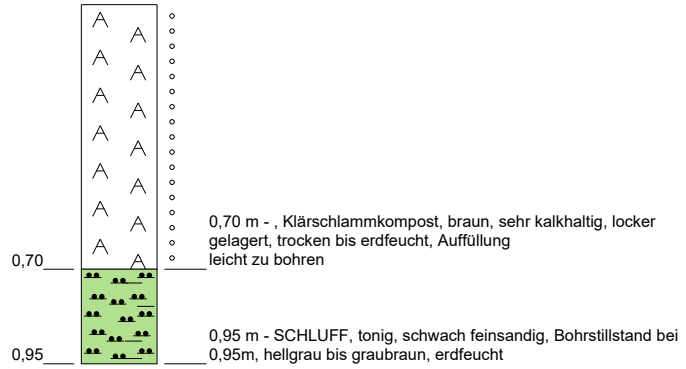
Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt:		
Bohrung: RKS 10		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694275,68	
Bohrfirma:	Hochwert: 5707445,57	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +105,83 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 0,60 m	


m u. GOK

RKS 11



Höhenmaßstab: 1:20

Blatt 1 von 1

Projekt:		 DAS INGENIEURUNTERNEHMEN
Bohrung: RKS 11		
Auftraggeber: Grüne Energien Solar GmbH	Rechtswert: 32694269,46	
Bohrfirma:	Hochwert: 5707412,78	
Bearbeiter: Schwengfelder	Ansatzhöhe: +106,27 m NHN	
Datum: 28.05.2020	Endtiefe: 0,95 m	



Mitglied der  GBAGROUP

ANALYTIKUM Umweltlabor GmbH · Jagdrain 14, 06217 Merseburg

HPC AG
Niederlassung Merseburg
Herr Schwengfelder
Am Stadtweg 8
06217 Merseburg/OT Atzendorf

Jagdrain 14 · 06217 Merseburg
Tel. +49 3461 277720 · Fax +49 3461 503199
info@analytikum.de



Merseburg, 08.06.2020

Prüfbericht	86940	
Projekt:	PVA Dachsberge; Projekt-Nr.: 2202578	
hier:	Auftrag vom 02.06.2020	
Probenehmer:	Auftraggeber	
Beauftragte Proben:	6 Bodenprobe(n)	Eingang: 04.06.2020
Prüfungszeitraum:	Beginn: 05.06.2020	Ende: 08.06.2020

Probe:	RKS 1 (0 - 0,6 m)	
Parameter	Wert	Einheit
Glühverlust	29	%/TS

Probe:	RKS 2 (0 - 0,5 m)	
Parameter	Wert	Einheit
Glühverlust	29	%/TS

Probe:	RKS 3 (0 - 1,0 m)	
Parameter	Wert	Einheit
Glühverlust	22	%/TS

Probe:	RKS 4 (0 - 1,4 m)	
Parameter	Wert	Einheit
Glühverlust	29	%/TS

Probe:	RKS 5 (0 - 0,6 m)	
Parameter	Wert	Einheit
Glühverlust	33	%/TS

Probe:	RKS 6 (0 - 0,4 m)	
Parameter	Wert	Einheit
Glühverlust	28	%/TS

Die Untersuchungen wurden entsprechend der folgenden Verfahren und Methoden durchgeführt:

Methode	Norm	BG	
Glühverlust	DIN EN 15169, 2007-05 (A)	1	%/TS

Erläuterungsteil

(A) akkreditiertes Prüfverfahren

Alle nicht als Vergaben gekennzeichneten Prüfungen erfolgten unter der im Briefkopf genannten Laboradresse. Eventuell ausgewiesene Summen einzelner Parameter werden automatisch berechnet. Die Bildung der Summen erfolgt rein numerisch. Die angegebenen Stellen widerspiegeln keine Signifikanz. Wird als Summenwert 0,0000 ausgewiesen, so liegen alle aufsummierten Einzelergebnisse unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze (BG).

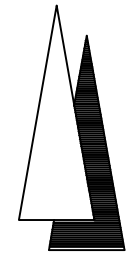
Die Verfahrensfehler der einzelnen Analyseverfahren entsprechen den jeweiligen Normen. Die Ergebnisse beziehen sich auf die jeweils aufgeführte(n) Probe(n). Für nicht durch ANALYTIKUM entnommene Proben gelten die berichteten Ergebnisse der jeweiligen Proben wie erhalten. Auszüge aus dem Prüfbericht dürfen nur mit vorheriger Genehmigung vervielfältigt werden.

Mit freundlichen Grüßen

ANALYTIKUM
Umweltlabor GmbH




B. Zimmermann
Geschäftsführer



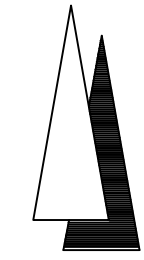
Legende:

 **RKS 1** Rammkernsondierungen

Plangrundlage: Bing Maps
 Koordinatensystem: ETRS 89

Projekt:			
PV-Anlage "Am Dachsberg" Köchstedt			
Darstellung:	Anlage:	1	
	Projekt-Nr.:	2202578	
	Maßstab:	1:10 000	
	Zeichnungs-Nr.:	2202578A3	
		Datum	Name
	gezeichnet:	09.07.2020	aja
	geprüft:	09.07.2020	tsc
Bauherr/Auftraggeber:		Planverfasser:	
Grüne Energien Solar GmbH Ignatz-Stroof-Straße 8 06749 Bitterfeld-Wolfen			
		HPC AG	
		Am Stadtweg 8, 06217 Merseburg Telefon: 03461/341313, Fax: 03461/341332	

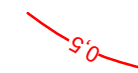




Legende:



Sondierungen mit festgestellter Abdeckungsmächtigkeit



Isopache Abdeckungsmächtigkeit

Plangrundlage: PVA Teutschenthal 2 Modullayout, Stand: 28.05.2020

Projekt:	PV-Anlage "Am Dachsberg" Köchstedt	
----------	---	--

Darstellung:	Anlage:	2
	Projekt-Nr.:	2202578
	Maßstab:	1:2000
	Zeichnungs-Nr.:	2202578A4
	gezeichnet:	28.07.2020
geprüft:	28.07.2020	tsc

Bauherr/Auftraggeber:
 Grüne Energien Solar GmbH
 Ignatz-Stroof-Straße 8
 06749 Bitterfeld-Wolfen

Planverfasser:

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

