

Ehemalige Aschespülhalden II/III und IV

Quantifizierung der Auswirkungen einer Photovoltaikanlage auf den Wasserhaushalt für die Oberflächensicherung der ehemaligen Aschedeponie Trotha

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. Januar 2018



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

Ehemalige Aschespülhalden II/III und IV:

Quantifizierung der Auswirkungen einer Photovoltaikanlage auf den Wasserhaushalt für die Oberflächensicherung der ehemaligen Aschedeponie Trotha

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zielstellung	2
2. Methodische Herangehensweise	2
3. Modellaufbau und Modellparametrisierung	4
3.1. Horizontaldiskretisierung – Hydrotopeninteilung	4
3.2. Vertikaldiskretisierung – Schichtenabfolge	4
3.3. Modellparameter	4
3.4. Meteorologische Daten	6
4. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation	6
4.1. Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten	6
4.2. Austrocknung der Rekultivierungsschicht und Chancen bezüglich einer guten Bewuchsentwicklung aus wasserhaushaltlicher Sicht	7
4.3. Verhalten bezüglich Oberflächenabfluss- und Sickerwasserbildung im Starkregenfall	9
5. Zusammenfassung	10
6. Literaturverzeichnis	12
7. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	13
8. Anlagenverzeichnis	13

Anlagen

1. Zielstellung

Die ehemalige Aschedeponie Trotha verfügt über eine Oberflächenabdeckung (HPC, 2008 a, b). Gegenwärtig wird erwogen, eine Photovoltaikanlage (PV-Anlage) zu errichten. Die sich daraus ergebenden Veränderungen bezüglich des Wasserhaushaltes sind zu quantifizieren. Hierzu sind im Jahr 2015 bereits Untersuchungen durchgeführt worden, die in DUNGER (2016) dokumentiert sind. Diese sollen nunmehr in dreierlei Hinsicht verfeinert werden:

- Die Untersuchungen in DUNGER (2016) basieren bezüglich der wasserhaushaltlich relevanten Wassertransport und -speicherparameter auf Analogiebetrachtungen. Nunmehr liegen in-situ- und Laborergebnisse zu den Wassertransport- und Wasserspeicherparameter (k_f -Wert, nutzbare Feldkapazität nFK und Luftkapazität LK) vor, die eine präzisere Modellierung des Wasserhaushalts ermöglichen.
- Zwischenzeitlich erfolgte eine differenzierte Kartierung der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht (Ober- und Unterboden). Es ist im Zuge der Modellparametrisierung folglich möglich, die Rekultivierungsschichtmächtigkeit kleinräumig variabel festzulegen. Dies bedeutet eine Abkehr von der bislang auf konstant 1,4 m angesetzten Mächtigkeit. Der Wasserhaushalt des Oberflächensicherungssystems wird dadurch differenzierter erfassbar.
- Der Bereich der Traufkante am tiefsten Punkt der PV-Module soll genauer betrachtet werden. Dabei soll das Verhältnis der Aufteilung des Niederschlages, der im Bereich der Trauffläche versickert, zu dem Niederschlag, der infolge des Windeinflusses und lateraler Fließbewegungen in der Rekultivierungsschicht auf Grund vorhandener Feuchtepotenzialunterschiede unter die Panels verfrachtet wird, betrachtet werden.

2. Methodische Herangehensweise

Bezüglich der Herangehensweise zur Quantifizierung des Wasserhaushalts, die gegenüber den vorangegangenen Untersuchungen unverändert ist, sei auf DUNGER (2016) verwiesen. Im Folgenden wird dargestellt, wie die Überlegungen zur differenzierteren Erfassung der Solarpaneele im Modell BOWAHALD umgesetzt worden sind.

Die Beeinflussung des Wasserhaushalts im Bereich von Solarpaneelen lässt sich wie folgt kurz umreißen:

- a) Durch die Solarmodule kommt es zu einer Beschattung des darunter liegenden Bereichs. Verschiedene Gras- und Krautarten haben sich an diese Bedingungen angepasst. Sie gedeihen ähnlich gut wie die sonnenliebenden Arten auf den Freiflächen.
- b) Die Solarpaneele bewirken eine Konzentration des auf ihnen gebildeten Niederschlagsabflusses an der Traufkante. An der Traufkante tropft das Niederschlagswasser ab. Die hierbei entstehenden Tropfen sind größer als bei normalem Niederschlag und verfügen folglich über eine höhere Aufprallenergie. Dies führt dazu, dass Teile der Pflanzen, die direkt unterhalb der Traufkante wachsen, abgeschlagen werden können. Durch die höhere Beaufschlagung des Bodens im Bereich der Traufkante kommt es ferner zu einer Erhöhung des Oberflächenabflusses und der

Infiltrationsmengen. Wie sich das Verhältnis der Anteile Oberflächenabfluss / Infiltration gestaltet, hängt von den Wassertransporteigenschaften der Bodenoberfläche ab.

- c) Solarpaneele schirmen Niederschlag ab. Dies bedeutet, dass die Pflanzen unter den Paneelen nicht nur mit weniger Sonnenlicht auskommen müssen sondern auch mit weniger Niederschlag. Die Tatsache, dass bestimmte Arten unter den Paneelen wachsen (vgl. a) zeigt jedoch an, dass gewisse Anteile des Niederschlages unter die Paneelen gelangen. Zwei Effekte sind hierfür maßgeblich verantwortlich: Zum einen erfolgt eine Windverfrachtung von Niederschlag unter die Paneelen. Dies ist insbesondere der Fall, wenn feine Niederschläge (Nieselregen, Schnee) bei windigem Wetter auftreten. Zum anderen wird Bodenwasser von den Freiflächen und den Traufkanten lateral unter die Paneelen verfrachtet. Dieser Prozess tritt selbst für ebene Flächen auf. Verursacht wird die laterale Bodenwasserbewegung durch Potenzialunterschiede, die durch den Versickerungsprozess und durch Bodenfeuchteunterschiede verursacht werden.

Das Modell BOWAHALD ist primär nicht dafür geschaffen worden, die genannten Auswirkungen von Solarpaneelen zu quantifizieren. Folglich können die unter a) bis c) aufgeführten Effekte nur durch gezielte Modifikationen der Modellparameter berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang wird methodisch wie folgt vorgegangen:

- Es wird von einer ca. 0,5 m breiten Traufkantenfläche an der Oberfläche der Rekultivierungsschicht ausgegangen, auf der sich das Niederschlagswasser der Paneelen konzentriert. Auf die Trauffläche fällt natürlich auch der „normale“ (direkte) Niederschlag. Beide Anteile (direkter Niederschlag und Oberflächenabfluss von den Paneelen) werden im Weiteren unter dem Begriff „Traufniederschlag“ zusammengefasst. Unter Berücksichtigung der Flächenverhältnisse der Paneelen zur Trauffläche können die Traufniederschläge berechnet werden (vgl. Anlage 1).
- Bezüglich des Anteils des Niederschlages, der infolge Windverfrachtung unter die Paneelen verfrachtet wird sowie des Bodenwassers, das von den Freiflächen und den Traufkanten lateral unter die Paneelen gelangt, werden zwei Fälle angenommen:
 - Fall a: ein Verhältnis von 50 % zu 50 %, d. h. 50 % des Niederschlages und der Bodenfeuchte gelangen unter die Solarpaneele und 50 % fließen der Trauffläche zu, versickern dort oder bilden Oberflächenabfluss
 - Fall b = worst case: Verhältnis von 80 % zu 20 %, d. h. nur 20 % des Niederschlages und der Bodenfeuchte gelangen unter die Solarpaneele und 80 % fließen der Trauffläche zu, versickern dort oder bilden Oberflächenabfluss
 - Als ein wesentliches Bewertungskriterium dafür, inwieweit das Aufteilungsverhältnis plausibel erscheint, wird das Austrocknungsverhalten unter den PV-Modulen angesehen. Sehr hohe Austrocknungsbeträge innerhalb der Rekultivierungsschicht, in Folge dessen der Bewuchs nicht überlebensfähig wäre, können als nicht plausibel angesehen werden. Entsprechende Vergleichsflächen zeigen an, dass sich der Bewuchs auch unter den PV-Modulen gut entwickeln kann. Für den Fall nicht plausibler Austrocknungsbeträge sind ggf. in einem iterativen Prozess weitere Aufteilungsverhältnisse zu betrachten.

- Der Traufniederschlag wird direkt an der Oberfläche der Rekultivierungsschicht in die beiden Komponenten Oberflächenabfluss und Infiltrationsmenge aufgesplittet. Dies ist mit den Modellansätzen des Modells BOWAHALD problemlos möglich. Einflussfaktoren sind der k_f -Wert der Oberfläche, das Gefälle und der Bewuchs.

3. Modellaufbau und Modellparametrisierung

3.1. Horizontaldiskretisierung – Hydrotopeinteilung

Für eine verlässliche Wasserhaushaltsmodellierung ist eine Horizontaldiskretisierung in Hydrotope (Flächen mit gleichen oder zumindest sehr ähnlichen hydrologischen Eigenschaften) notwendig. Der insgesamt wasserhaushaltlich untersuchte Bereich (s. Anlage 2) ist in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht in insgesamt 5 Hydrotope untergliedert worden (s. Tabelle 1 sowie Anlage 3).

Tabelle 1: Charakteristik der betrachteten Hydrotope (Lage → s. Anlage 3)

Hydrotop	Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht [m]
1	0,6
2	0,9
3	1,1
4	1,4
5	1,6

3.2. Vertikaldiskretisierung – Schichtenabfolge

Entsprechend der Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 1) wurde lediglich die Rekultivierungsschicht betrachtet. Die Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht variiert hydrotopabhängig zwischen 0,6 und 1,6 m (vgl. Anlage 3).

3.3. Modellparameter

Soweit nachfolgend nicht ausgeführt, sind die Modellparameter identisch mit denen der vorangegangenen Untersuchungen (DUNGER, 2016). Die folgenden Parameter sind modifiziert worden:

Nutzungs-/Bewuchsparameter:

- maximale Wurzeltiefe: entsprechend den Mächtigkeiten der Rekultivierungsschicht variabel zwischen 60 und 160 cm → Es wurde angenommen, dass insbesondere die Wurzeln der Kräuter in der Lage sind, Bodenwasser bis zur Basis der Rekultivierungsschicht zu erschließen. Diese Annahme basiert auf Ergebnissen, die u. a. in KUTSCHERA, LICHTENEGGER (1982, 1992) und GDA (2010) dokumentiert sind.

Pedologische Parameter der Rekultivierungsschicht:

Die vorliegenden Ergebnisse aus den in-situ-Versuchen zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit der Rekultivierungsschicht zeigen folgendes Bild:

- k_f -Wert der Oberfläche (ermittelt auf Basis von 6 Doppelring-Infiltrometerversuchen): im Mittel $7,8 \cdot 10^{-5}$ m/s, moderate Schwankungsbreite von $4,0 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $1,2 \cdot 10^{-4}$ m/s
- k_f -Wert in ca. 1,2 m Tiefe (im Ergebnis von 6 Open-End-Tests): im Mittel $1,1 \cdot 10^{-4}$ m/s, ebenfalls moderate Schwankungsbreite von $2,6 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $2,9 \cdot 10^{-4}$ m/s

Die laborativen Untersuchungen zu den nFK- und LK-Werten beziehen sich auf Tiefen zwischen 1,2 und 1,6 m. Insgesamt wurden 6 ungestörte Proben analysiert. Auf Basis dieser 6 Proben lassen sich die folgenden Mittelwerte bzw. Spannweiten für nFK und LK ableiten:

- nFK: Mittelwert: 17,4 Vol.-%, Spannweite: 15,0 – 22,4 Vol.-%
- LK: Mittelwert: 33,6 Vol.-%, Spannweite: 27,5 – 38,9 Vol.-%

Auf dieser Basis sind für die beiden Schichten (Ober- und Unterboden) folgende Wassertransport- und -speicherparameter angesetzt worden:

- Oberbodenbereich 0 – 30 cm u. GOK:
 - $k_f = 7,8 \cdot 10^{-5}$ m/s
 - nFK = 17,4 Vol.-%
 - LK = 33,6 Vol.-%
 - permanenter Welkepunkt PWP (pF 4,2): 29,1 Vol.-%
 - Feldkapazität (pF 1,8): 46,5 Vol.-%
 - Wassersättigung (pF 0): 80,1 Vol.-%
- Unterbodenbereich > 30 cm u. GOK bis zur Basis der Rekultivierungsschicht:
 - $k_f = 1,1 \cdot 10^{-4}$ m/s
 - Wasserspeicherparameter analog Oberboden

Differenzierte Betrachtung der Traufkante:

Methodisch wurde entsprechend Abschnitt 2 vorgegangen (Details → s. Anlage 1). Da sich die Niederschläge, die auf die PV-Paneels fallen, auf den Traufflächen konzentrieren, wurden alle Tagesniederschläge mit Faktoren > 1 beaufschlagt. Im Gegenzug wurden die Tagesniederschläge für die Flächen unter den PV-Paneels durch die Anwendung von Faktoren < 1 abgemindert.

Folgende Faktoren sind abgeleitet worden (vgl. auch Anlage 1):

Fall a (Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %):

- Niederschlag auf die Trauffläche: $1,667 \text{ l} / 1,000 \text{ m}^2 = 1,667 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 1,667 mm auf die Trauffläche → Faktor 1,667
- Niederschlag unter die PV-Paneels: $1,667 \text{ l} / 2,354 \text{ m}^2 = 0,708 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 0,708 mm unter die Paneels → Faktor 0,708

Fall b (Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %):

- Niederschlag auf die Trauffläche: $2,683 \text{ l} / 1,000 \text{ m}^2 = 2,683 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 2,683 mm auf die Trauffläche \rightarrow Faktor 2,683
- Niederschlag unter die PV-Paneels: $0,671 \text{ l} / 2,354 \text{ m}^2 = 0,285 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 0,285 mm unter die Paneels \rightarrow Faktor 0,285

3.4. Meteorologische Daten

Das Datenmaterial, das den Untersuchungen, das langjährige Mittel und den Starkregenfall betreffend, zugrunde liegt, ist identisch dem der vorausgegangenen Modellrechnungen (s. DUNGER, 2016).

4. Simulationsergebnisse, Ergebnisinterpretation

4.1. Modellergebnisse zum langjährigen wasserhaushaltlichen Verhalten

Die Tabelle 2 enthält eine Übersicht bezüglich der langjährigen Wasserbilanzen für die beiden betrachteten Zustände:

- Istzustand (ohne Solarpanelen) und
- Planungszustand (mit Solarpanelen, wobei Aufteilungsverhältnisse bezüglich des Niederschlages, der auf die Traufkante abfließt zu dem, der unter die Paneelen verfrachtet wird, von 50 % / 50 % bzw. 80 % / 20 % betrachtet wurden).

Aufgelistet sind die wesentlichen Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag P (messfehlerkorrigiert), reale Verdunstung ETR, Oberflächenabfluss RO (einschließlich Oberflächenvernässung) und Restdurchsickerung RU (Sickerwassermenge an der Basis der Oberflächenversickerung). Die in der Tabelle 2 aufgeführten Werte ergeben sich auf Grundlage der flächengewichteten Werte der Einzelhydrotone. Eine Zusammenstellung der Flächenanteile der einzelnen Hydrotone, die durch den AG bereitgestellt worden sind, enthält die Anlage 4. Eine Zusammenstellung der Detailergebnisse ist in den Anlagen 5 – 12 enthalten. Betrachtet wurden das langjährige Mittel sowie Nass- und Trockenjahre.

Tabelle 2: Wasserhaushaltsbilanzen im langjährigen Mittel sowie in Nass- und Trockenjahren als Jahresbilanzen (Modellierungszeitraum 1961 – 1990)

Klimatischer Zustand	P [mm/a]	ETR [mm/a]	RO [mm/a]	RU [mm/a]
Langjähriges Mittel	509	482 452 (375)	0 0 (0)	27 56 (134)
Nassestes Jahr	707	521 488 (399)	0 0 (0)	47 111 (233)
Sickerwasserreichstes Jahr	550 - 610	552 511 (414)	0 0 (0)	90 132 (254)
Trockenstes Jahr	294	317 305 (269)	0 0 (0)	0 10 (38)
Sickerwasserärmstes Jahr	294 - 418	385 321 (269)	0 0 (0)	0 8 (38)

grün: Istzustand (ohne Solarpaneels)

blau: Planungszustand (mit Solarpaneels, Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

braun: Planungszustand (mit Solarpaneels, Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %), Werte in Klammern gesetzt, weil unrealistisch \rightarrow vgl. hierzu Abschnitt 4.2)

Erklärung der Symbole \rightarrow s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Die modellierten Bilanzen (s. Tabelle 2) zeigen für den Istzustand folgendes Bild: Die vorhandene Gras-/Krautvegetation ist gegenwärtig in der Lage, im langjährigen Mittel von den ca. 510 mm/a auf die ehem. Aschedeponie fallenden Niederschlägen etwa 480 mm/a zu verdunsten. Die modellierten Oberflächenabflüsse liegen bei 0 mm/a und spielen damit im langjährigen Mittel keine Rolle. An der Basis der Rekultivierungsschicht kommen ca. 30 mm/a Sickerwasser an. Dies sind in etwa 5 % vom Niederschlag.

Für den Planungszustand sind gegenüber dem Istzustand folgende Veränderungen erkennbar:

- Auf Grund der getroffenen Annahmen, dass nur noch 50 bzw. 20 % des Niederschlages unter die PV-Module verfrachtet wird, steht dort weniger Wasser für die Verdunstung zur Verfügung. Infolgedessen sinkt die langjährig mittlere Verdunstung um etwa 30 mm/a (Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %) bis ca. 100 mm/a (Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %).
- Die im Abschnitt 2 postulierte These höherer Oberflächenabflüsse infolge des konzentrierten Auftreffens des von den Paneels auf die Trauffläche abtropfenden Niederschlages wird durch die Modellrechnungen im vorliegenden Anwendungsfall nicht bestätigt. Hierfür verantwortlich zeichnet der Umstand, dass der Oberboden mit einem k_F -Wert von $k_F = 7,8 \cdot 10^{-5}$ m/s ein gutes Infiltrationsvermögen aufweist.
- Die langjährig mittleren Restdurchsickerungsmengen erhöhen sich im Ergebnis der eingeschränkten Verdunstung unter den Paneels um die Beträge, um die die Verdunstung sinkt (30 – 100 mm/a, abhängig vom Aufteilungsverhältnis). In Nassjahren steigen die Restdurchsickerungsmengen auf Grund des Fehlens eines dichtenden Elements deutlich an. In Trockenjahren liegen die Werte deutlich unterhalb der langjährigen Mittel.

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

Methodisch ist analog DUNGER (2016) vorgegangen worden. Wegen der besonderen Brisanz in Bezug auf die Austrocknungsproblematik werden die Ergebnisse beispielhaft für das Hydrotop 1, d. h. für das Hydrotop mit der geringsten Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht, dargestellt.

Die Tabelle 3 enthält die über den betrachteten 30-jährigen Zeitraum modellierten minimalen Bodenfeuchtwerte sowie die Häufigkeiten bezüglich sehr kritischer Austrocknungsbeträge (Wassergehalte unter 10 % nutzbarer Feldkapazität nFK, d. h. hohes Stresspotenzial für die Pflanzen) und bezüglich beginnendem Trockenstress (Wassergehalte unter 30 % nFK), die sich für die Rekultivierungsschicht insgesamt ergeben.

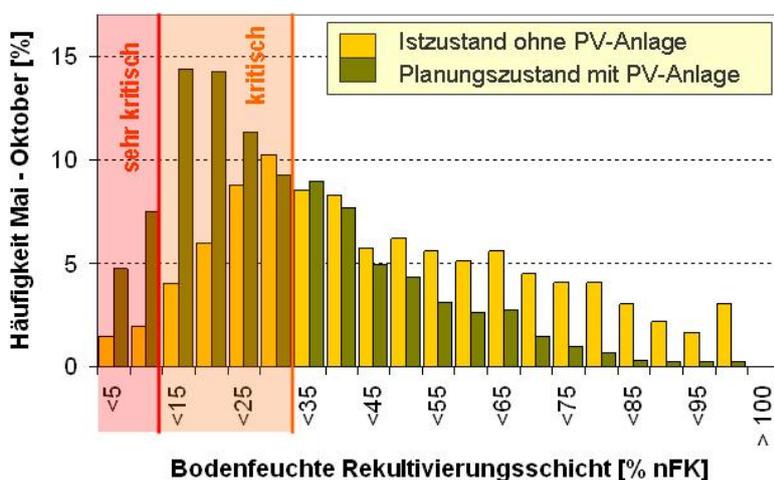
Die Austrocknungshäufigkeiten werden für das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) analysiert. Die Details enthält die Anlage 13. In der Abbildungen 1 sind die Bodenfeuchteverteilungen für die beiden Zustände gegenüber gestellt. Für den Zustand mit PV-Modulen wird die Austrocknung unter den Paneels betrachtet.

Tabelle 3: Minimale Wassergehalte sowie Häufigkeiten des Unterschreitens von Bodenfeuchtwerten unter 10 % nFK (hohes Stresspotenzial) und unter 30 % nFK (Stressbeginn) für die Rekultivierungsschicht des Hydrotops 1 im hydrologischen Sommerhalbjahr

Zustand	Minimale Bodenfeuchte [% nFK]	Austrocknungshäufigkeit [%] (Mai bis Oktober)	
		< 10 % nFK	< 30 % nFK
Istzustand	- 0,0	3,4	32,5
Planungszustand			
Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %	- 2,3	12,3	61,5
Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %	- 45,1	100,0	100,0

Hinweis: Ein nFK-Wert < 0 bedeutet, dass die Bodenfeuchte der Rekultivierungsschicht unterhalb des permanenten Welkepunktes liegt.

a) Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %:



a) Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %:

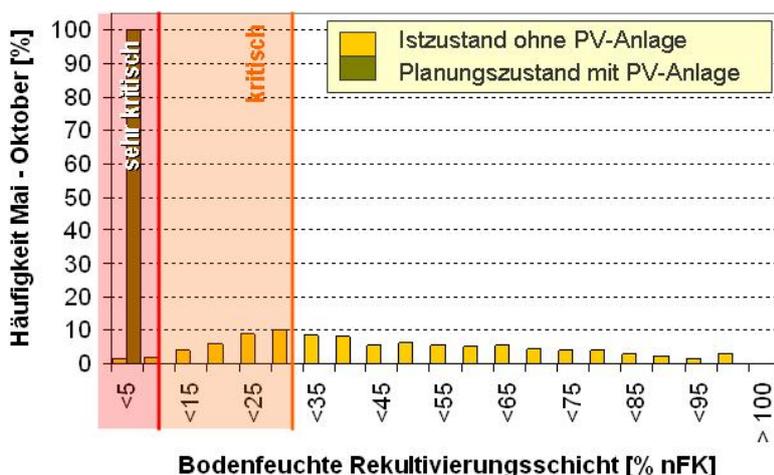


Abb. 1: Verteilung der Bodenfeuchtwerte in der Rekultivierungsschicht des Hydrotops 1 für die beiden Zustände ohne und mit PV-Anlage

Wie der Tabelle 3 und der Abbildung 1 entnehmbar ist, kommt es unter den PV-Modulen zu einer Zunahme trockenstressrelevanter Zustände. Zudem fällt auf, dass für das Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 % für alle Tage des hydrologischen Sommerhalbjahres Bodenfeuchtwerte im Bereich des permanenten Welkepunktes bzw.

darunter modelliert werden. Dies muss als unrealistisch angesehen werden, weil dies nicht den Beobachtungen entspricht. Aus den Beobachtungen lässt sich ableiten, dass sich verschiedene Gras- und Krautarten unter PV-Modulen ansiedeln und dort ähnlich gut gedeihen wie sonnenliebende Arten auf den Freiflächen.

Dies bedeutet, dass die Simulationsergebnisse, die für ein Aufteilungsverhältnis von 80 % / 20 % modelliert worden sind, verworfen werden müssen. Selbst ein Aufteilungsverhältnis von 50 % / 50 % scheint grenzwertig zu sein.

4.3. Verhalten bezüglich Oberflächenabfluss- und Sickerwasserbildung im Starkregenfall

Auch bezüglich der Ermittlung der Oberflächenabflussmengen im Starkregenfall ist methodisch analog DUNGER (2016) vorgegangen worden. Betrachtet wurde ausschließlich das Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %.

In der Tabelle 4 sind die Änderungen hinsichtlich der Durchflussscheitelwerte aufgeführt, die sich für die beiden Zustände Istzustand ohne PV-Anlage und Planungszustand mit PV-Anlage ergeben. Die Details enthalten die Anlagen 14 und 15.

Tabelle 4: Einfluss der Solarpanelen auf die Scheiteldurchflüsse für Starkregen mit verschiedenen Wiederkehrintervallen

Wiederkehrintervall [a]	Scheiteldurchfluss (Maximaldurchfluss) [l/s] am tiefsten Punkt der Altdeponie		
	Istzustand	Planungszustand	Änderung [%]
1	47	47	0
2	73	73	0
5	112	112	0
10	155	155	0
20	192	192	0
50	244	244	0
100	305	305	0

Infolge des hohen k_f -Wertes der Oberbodenschicht ist ohne Belang, dass sich die Infiltrationsfläche durch die PV-Module verringert. Die Rekultivierungsschicht ist auch nach der Bestückung mit PV-Modulen in der Lage, die Niederschlagswässer aufzunehmen. Folglich ändern sich die Oberflächenabflüsse im Starkregenfall nicht.

Abschließend sind die Auswirkungen der PV-Anlage auf die sich im Starkregenfall bildenden Sickerwassermengen untersucht worden. Betrachtet wurden die Verteilungen der täglichen Sickerwassermengen. Die Details enthält die Anlage 16. In der Abbildung 2 sind die Sickerwasserverteilungen für die beiden untersuchten Zustände (Istzustand ohne PV-Anlage und Planungszustand mit PV-Anlage) grafisch gegenüber gestellt. Betrachtet wurde ausschließlich das Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %.

Die höchsten Sickerwasserspitzen sind auf Grund der geringsten Mächtigkeit für das Hydrotop 1 zu erwarten. Folglich sind in der Anlage 16 und in der Abbildung 2 beispielhaft die Ergebnisse für das Hydrotop 1 dargestellt.

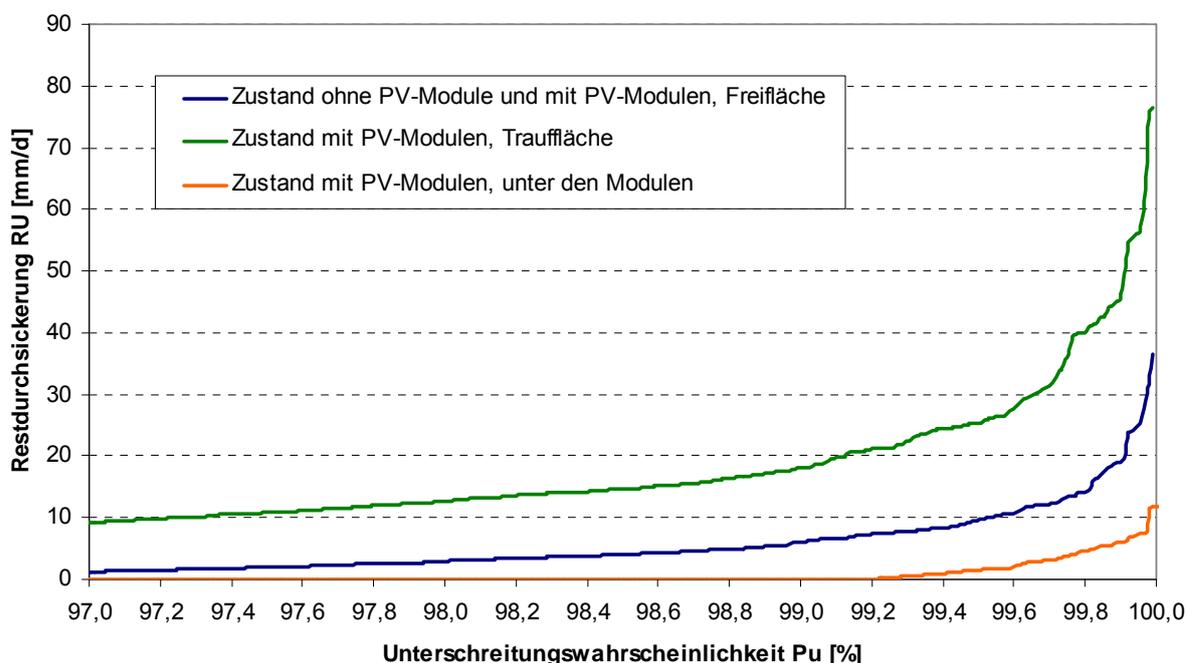


Abb. 2: Sickerwasserbildung für die Zustände ohne und mit PV-Anlage beispielhaft für das Hydrotop 1

Aus den Modellrechnungen geht hervor (vgl. Abbildung 2 sowie Anlage 16), dass sich die Sickerwasserwassermengen infolge der PV-Anlage verändern. Die Modellrechnungen stützen dabei die Erwartungen: Im Bereich der Trauffläche liegen sie über Werten der Freifläche, unter den PV-Modulen hingegen darunter.

5. Zusammenfassung

Die im Jahr 2015 durchgeführten Untersuchungen, die in DUNGER (2016) dokumentiert sind, galt es in dreierlei Hinsicht zu verfeinern:

- Da inzwischen in-situ- und Laborergebnisse zu den Wassertransport- und Wasserspeicherparameter (k_f -Wert, nutzbare Feldkapazität n_{FK} und Luftkapazität LK) vorliegen, ist eine qualifiziertere Wasserhaushaltsmodellierung möglich.
- Zudem können Kartierungsergebnisse bezüglich der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht (Ober- und Unterboden) genutzt werden. Es ist es somit möglich, die Rekultivierungsschichtmächtigkeit kleinräumig variabel festzulegen. Der Wasserhaushalt des Oberflächensicherungssystems wird dadurch differenzierter erfassbar.
- Der Bereich der Traufkante am tiefsten Punkt der PV-Module ist genauer betrachtet worden.

Für die Modellrechnungen ist das Modell BOWAHALD verwendet worden, weil bezüglich der Parametrisierung der Solarpanelen bereits Erfahrungen aus anderen Projekten vorliegen, die in DUNGER U. A. (2012, 2013, 2015) veröffentlicht sind. Die Modellparametrisierung basiert zu großen Teilen auf DUNGER (2016).

Bezüglich einer detaillierten Betrachtung der Prozesse, die im Bereich der Traufkante stattfinden, ist methodisch folgendermaßen vorgegangen worden:

- Es wird eine ca. 0,5 m breite Traufkantenfläche angenommen, auf der sich das Niederschlagswasser der Paneels konzentriert. Auf die Traufkante fällt zusätzlich auch der „normale“ (direkte) Niederschlag.
- Bezüglich des Anteils des Niederschlages, der infolge Windverfrachtung unter die Paneels verfrachtet wird sowie des Bodenwassers, das von den Freiflächen und den Traufkanten lateral unter die Paneels gelangt, werden zwei Fälle angenommen:
 - Fall a: ein Verhältnis von 50 % zu 50 %, d. h. 50 % des Niederschlages und der Bodenfeuchte gelangen unter die Solarpaneels und 50 % fließen der Trauffläche zu, versickern dort oder bilden Oberflächenabfluss
 - Fall b = worst case: Verhältnis von 80 % zu 20 %, d. h. nur 20 % des Niederschlages und der Bodenfeuchte gelangen unter die Solarpaneels und 80 % fließen der Trauffläche zu, versickern dort oder bilden Oberflächenabfluss
 - Im Ergebnis der Untersuchungen zum Austrocknungsverhalten der Rekultivierungsschicht unter den PV-Modulen konnte der Fall b als nicht plausibel erkannt werden.
- Der Traufniederschlag wird direkt an der Oberfläche der Rekultivierungsschicht in die beiden Komponenten Oberflächenabfluss und Infiltrationsmenge aufgesplittet. Dies ist mit den Modellansätzen des Modells BOWAHALD problemlos möglich. Einflussfaktoren sind der k_f -Wert der Oberfläche, das Gefälle und der Bewuchs.

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

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

- Ein Aufteilungsverhältnis von 50 % / 50 % vorausgesetzt sinkt die langjährig mittlere Verdunstung gegenüber dem Istzustand ohne PV-Module um etwa 30 mm/a.
- Im Gegenzug erhöht sich die langjährig mittlere Restdurchsickerungsmenge wegen der eingeschränkten Verdunstung unter den Paneels um den Betrag von ca. 30 mm/a. In Nassjahren steigen die Restdurchsickerungsmengen auf Grund des Fehlens eines dichtenden Elements deutlich an. In Trockenjahren liegen die Werte deutlich unterhalb des langjährigen Mittels.
- Die Oberflächenabflüsse erhöhen sich trotz des konzentrierten Auftreffens des von den Paneels auf die Trauffläche abtropfenden Niederschlages sowohl im langjährigen Mittel als auch für den Starkregenfall nicht. Hierfür verantwortlich zeichnet der Umstand, dass der Oberboden mit einem k_f -Wert von $k_f = 7,8 \cdot 10^{-5}$ m/s ein gutes Infiltrationsvermögen aufweist.

- Die Untersuchungsergebnisse zum Austrocknungsverhalten der Rekultivierungsschicht haben ergeben, dass es unter den PV-Modulen zu einer Zunahme trockenstressrelevanter Zustände kommt. Für das Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 % sind für alle Tage des hydrologischen Sommerhalbjahres Bodenfeuchtwerte im Bereich des permanenten Welkepunktes bzw. darunter modelliert werden. Dies muss als unrealistisch angesehen werden, weil dies nicht den Beobachtungen entspricht. Die Simulationsergebnisse für das Aufteilungsverhältnis von 80 % / 20 % sind folglich verworfen worden. Selbst das Aufteilungsverhältnis von 50 % / 50 % scheint, betrachtet man die Austrocknungsbeträge, grenzwertig zu sein.
- Aus den Modellrechnungen geht hervor, dass sich die Sickerwasserwassermengen infolge der PV-Anlage verändern. Die Modellrechnungen stützen die Erwartungen: Im Bereich der Traufläche liegen sie über Werten der Freifläche, unter den PV-Modulen hingegen darunter.

Bezüglich des weiteren Vorgehens wird vorgeschlagen, die auf Basis des Aufteilungsverhältnisses von 50 % / 50 % erhaltenen Ergebnisse insbesondere zur langjährig mittleren Sickerwasserbildung für die nachfolgenden Stofffrachtberechnungen zu verwenden und diese als Grenzfall (worst case) anzusehen.

Wenn mit der langjährig mittleren Restdurchsickerungsmenge von etwa 50 – 60 mm/a (= worst case) die Schutzziele erreichbar sind, so steht dem Bau der PV-Anlage aus Sicht der Wasser- und Stoffbilanz nichts entgegen. Anderenfalls sollten weitere Aufteilungsverhältnisse betrachtet werden, die eine Verfrachtung von mehr als 50 % des Niederschlages unter die PV-Module postulieren. Die konkret zu betrachtenden Aufteilungsverhältnisse sollten mit den entsprechenden Fachbehörden abgestimmt werden.

6. Literaturverzeichnis

Dunger, V. (2016): Geplante Errichtung einer Photovoltaikanlage auf der ehemaligen Aschedeponie Trotha – Quantifizierung der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Oberflächensicherung. Bericht für HPC AG Merseburg.

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

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

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

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

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

7. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung/Erklärung	Einheit
AG	Auftraggeber	-
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
EI	Interzeptionsverdunstung	mm
F	Infiltrationsmenge	mm
FEHL	Modellfehler (Bilanzungenauigkeit)	mm
k_f	k_f -Wert	m/s
LK	Luftkapazität	Vol.-%
MS	Muldenspeichermenge	mm
nFK	nutzbare Feldkapazität	Vol.-%
P	Niederschlag	mm
P_U	Unterschreitungswahrscheinlichkeit	%
PV	Photovoltaik	-
Q(t)	Gesamtabfluss	l/s
RH	hypodermischer (Drainage-) Abfluss	mm
RO	Oberflächenabfluss	mm
ROV	Oberflächenvernässung	mm
RU	Sickerwassermenge an der Modellbasis	mm
SB_{min}	minimaler Bodenfeuchtwert	Vol.-%
STW	Stauwasser	mm
WS	Äquivalentwassergehalt der Schneedecke	mm

9. Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Berechnung der Traufniederschläge für die Traufkanten
- Anlage 2: Wasserhaushaltliche Untersuchungsflächen
- Anlage 3: Hydrotopeninteilung in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht
- Anlage 4: Flächenanteile der Hydrotopen
- Anlage 5: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Istzustand (ohne Solarpanelen)
- Anlage 6: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Freiflächen

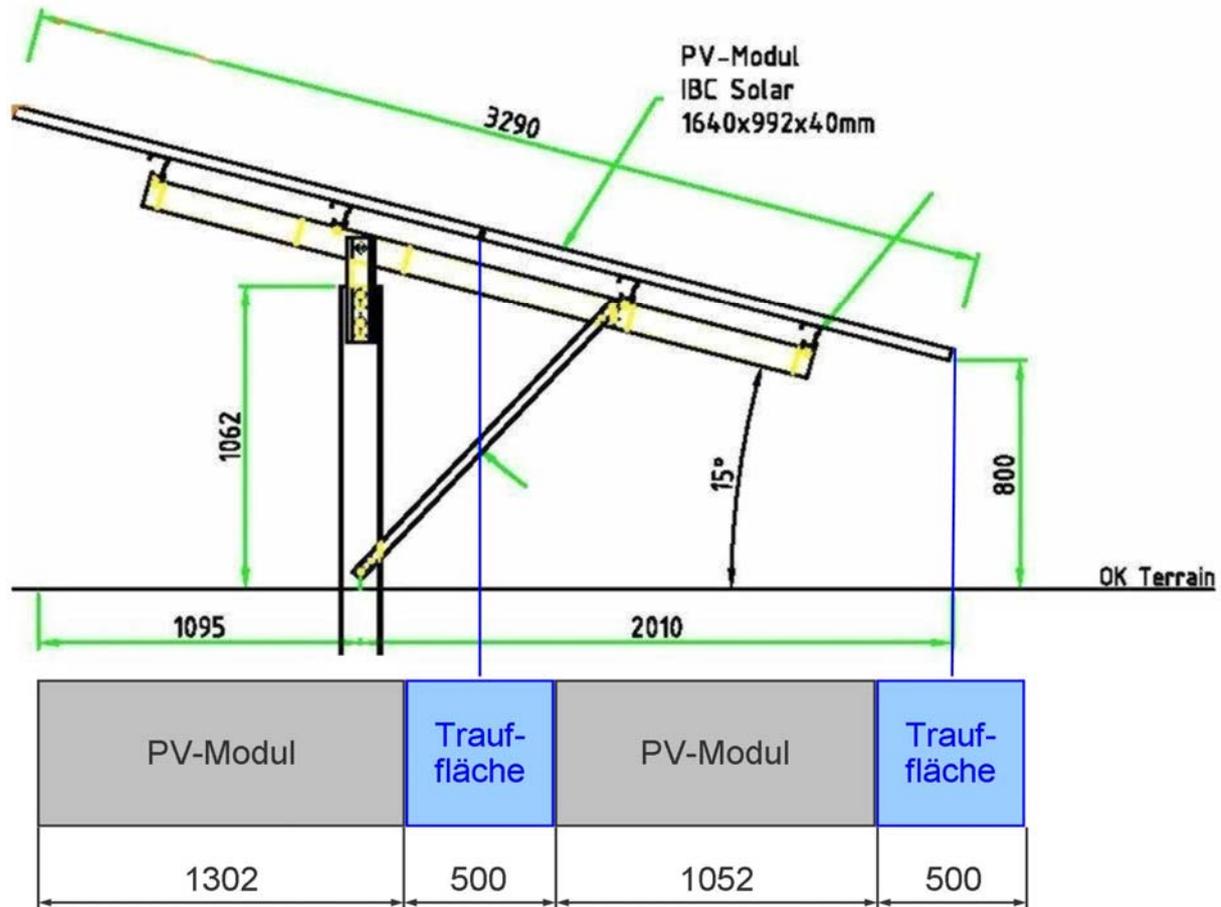
- Anlage 7: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)
- Anlage 8: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)
- Anlage 9: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)
- Anlage 10: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)
- Anlage 11: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)
- Anlage 12: Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)
- Anlage 13: Austrocknung der Rekultivierungsschicht für das Hydrotop 1
- Anlage 14: Starkregen-Oberflächenabflüsse für verschiedene Wiederkehrintervalle im Istzustand (ohne PV-Anlage)
- Anlage 15: Starkregen-Oberflächenabflüsse für verschiedene Wiederkehrintervalle im Planungszustand (mit PV-Anlage)
- Anlage 16: Sickerwassermengen im Starkregenfall

Anlagen

Anlage 1:

Berechnung der Traufniederschläge für die Traufkanten

a) Flächenverhältnis der Solaraneels zur Trauffläche:



Seitenansicht der Solarpaneels (Bildgrundlage: HPC AG Merseburg)

Aus der Seitenansicht lassen sich die folgenden Flächengrößen je laufenden Meter ableiten:

Gesamtfläche: $3,354 \text{ m}^2$
davon Traufkante: $1,000 \text{ m}^2$
davon PV-Modul: $2,354 \text{ m}^2$

Je $1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2$ Niederschlag befinden sich folglich $3,354 \text{ l}$ je laufenden Meter im System. Hiervon werden für den Fall a (Aufteilungsverhältnis 50 % Verwehung unter die Paneels und 50 % Auftreffen auf die Trauffläche, vgl. Abschnitt 2) $1,667 \text{ l}$ unter die Paneels verfrachtet und $1,667 \text{ l}$ gelangen auf die Trauffläche. Im Fall b sind es $0,671 \text{ l}$, die unter die Paneels verweht werden und $2,683 \text{ l}$, die zur Trauffläche gelangen.

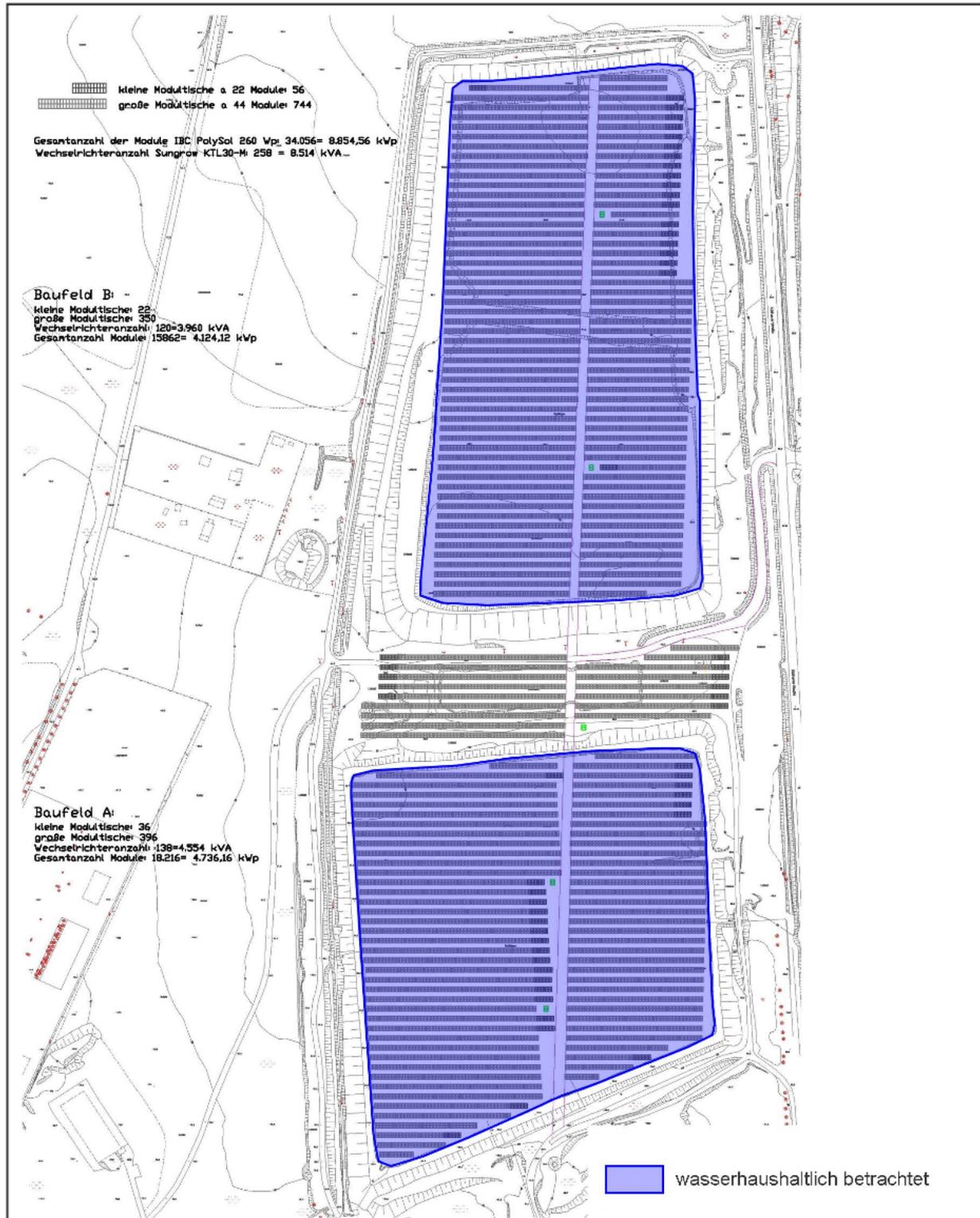
Die Niederschläge des meteorologischen Datenfiles sind folglich für die beiden Bereiche durch folgende Faktoren zu modifizieren:

Fall a (Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %):

- Niederschlag auf die Trauffläche: $1,667 \text{ l} / 1,000 \text{ m}^2 = 1,667 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 1,667 mm auf die Trauffläche \rightarrow Faktor 1,667
- Niederschlag unter die PV-Paneels: $1,667 \text{ l} / 2,354 \text{ m}^2 = 0,708 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 0,708 mm unter die Paneels \rightarrow Faktor 0,708

Fall b (Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %):

- Niederschlag auf die Trauffläche: $2,683 \text{ l} / 1,000 \text{ m}^2 = 2,683 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 2,683 mm auf die Trauffläche \rightarrow Faktor 2,683
- Niederschlag unter die PV-Paneels: $0,671 \text{ l} / 2,354 \text{ m}^2 = 0,285 \text{ mm} \rightarrow$ Von 1 mm Niederschlag gelangen 0,285 mm unter die Paneels \rightarrow Faktor 0,285



Anlage 2:

Wasserhaushaltliche Untersuchungsflächen

Kartengrundlage: HPC AG Merseburg



Anlage 3:

Hydrotopenteilung in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht

Kartengrundlage: HPC AG Merseburg

Anlage 4:

Flächenanteile der Hydrotöpfe

Hydrotopf	Fläche [m ²]	Flächenanteil gesamt [%]
1	1 644	1,6
2	5 873	5,8
3	26 899	26,4
4	47 279	46,4
5	20 240	19,8
Summe	149 643	100,0

Für den Planungszustand mit PV-Modulen sind die Flächenanteile Freifläche/Trauffläche/PV-Module einzurechnen. Ausgehend von den geplanten Abständen ergeben sich je laufenden Meter (vgl. auch Anlage 1):

- 3 020 mm Freifläche (47,4 %),
- 2 354 mm PV-Module (36,9 %) und
- 1 000 mm Trauffläche 15,7 %).

Anlage 5:

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

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	508.6	624.7	602.9	440.9	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	67.7	-0.0	0.0	-0.0
2	508.6	624.7	602.9	463.9	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	44.8	0.0	0.0	-0.0
3	508.6	624.7	602.9	474.3	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	34.3	-0.0	0.0	-0.0
4	508.6	624.7	602.9	485.5	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	23.2	0.0	0.0	-0.0
5	508.6	624.7	602.9	491.4	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	17.3	-0.0	0.0	-0.0
insgesamt:	508.6	624.7	602.9	481.7	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	26.9	0.0	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	706.8	579.1	558.9	476.7	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	170.0	60.0	0.0	0.0
2	706.8	579.1	558.9	499.3	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	109.7	97.8	0.0	0.0
3	706.8	579.1	558.9	511.1	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	75.4	120.3	0.0	0.0
4	706.8	579.1	558.9	525.4	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	34.2	147.2	0.0	0.0
5	706.8	579.1	558.9	532.3	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	11.4	163.1	0.0	0.0
insgesamt:	706.8	579.1	558.9	520.7	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	47.1	139.0	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 5:

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

c) sickерwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	706.8	579.1	558.9	476.7	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	170.0	60.0	0.0	0.0
2	621.8	568.7	548.8	511.6	130.8	0.0	0.0	486.7	0.0	0.0	0.0	118.8	-8.5	0.0	-0.0
3	621.8	568.7	548.8	520.4	130.8	0.0	0.0	486.7	0.0	0.0	0.0	101.7	-0.3	0.0	0.0
4	510.7	648.2	625.5	566.3	109.4	0.0	0.0	396.8	0.0	0.0	0.0	81.3	-137.0	0.0	0.0
5	510.7	648.2	625.5	577.3	109.4	0.0	0.0	396.8	0.0	0.0	0.0	81.3	-147.8	0.0	-0.0
insgesamt:	549.6	621.5	599.7	551.8	116.5	0.0	0.0	428.7	0.0	0.0	0.0	90.3	-92.4	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	293.5	665.3	642.0	286.1	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	3.5	3.8	0.0	0.0
2	293.5	665.3	642.0	296.3	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.8	0.0	-0.0
3	293.5	665.3	642.0	304.4	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.9	0.0	0.0
4	293.5	665.3	642.0	320.5	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-27.0	0.0	0.0
5	293.5	665.3	642.0	333.1	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-39.7	0.0	0.0
insgesamt:	293.5	665.3	642.0	316.8	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.1	-23.4	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 5:

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

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	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
1	418.0	608.4	587.1	382.6	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	35.4	0.0	-0.0
2	418.0	608.4	587.1	379.8	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	38.2	0.0	-0.0
3	418.0	608.4	587.1	380.5	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	0.0	-0.0
4	418.0	608.4	587.1	386.5	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	31.5	0.0	-0.0
5	418.0	608.4	587.1	390.3	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	27.7	0.0	-0.0
insgesamt:	418.0	608.4	587.1	385.2	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 6:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Freiflächen

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	508.6	624.7	602.9	440.9	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	67.7	-0.0	0.0	-0.0
2	508.6	624.7	602.9	463.9	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	44.8	0.0	0.0	-0.0
3	508.6	624.7	602.9	474.3	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	34.3	-0.0	0.0	-0.0
4	508.6	624.7	602.9	485.5	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	23.2	0.0	0.0	-0.0
5	508.6	624.7	602.9	491.4	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	17.3	-0.0	0.0	-0.0
insgesamt:	508.6	624.7	602.9	481.7	111.0	0.0	0.0	394.6	0.0	0.0	0.0	26.9	0.0	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	706.8	579.1	558.9	476.7	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	170.0	60.0	0.0	0.0
2	706.8	579.1	558.9	499.3	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	109.7	97.8	0.0	0.0
3	706.8	579.1	558.9	511.1	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	75.4	120.3	0.0	0.0
4	706.8	579.1	558.9	525.4	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	34.2	147.2	0.0	0.0
5	706.8	579.1	558.9	532.3	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	11.4	163.1	0.0	0.0
insgesamt:	706.8	579.1	558.9	520.7	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	47.1	139.0	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 6:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Freiflächen

c) sickerwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	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
1	706.8	579.1	558.9	476.7	120.8	0.0	0.0	578.5	0.0	0.0	0.0	170.0	60.0	0.0	0.0
2	621.8	568.7	548.8	511.6	130.8	0.0	0.0	486.7	0.0	0.0	0.0	118.8	-8.5	0.0	-0.0
3	621.8	568.7	548.8	520.4	130.8	0.0	0.0	486.7	0.0	0.0	0.0	101.7	-0.3	0.0	0.0
4	510.7	648.2	625.5	566.3	109.4	0.0	0.0	396.8	0.0	0.0	0.0	81.3	-137.0	0.0	0.0
5	510.7	648.2	625.5	577.3	109.4	0.0	0.0	396.8	0.0	0.0	0.0	81.3	-147.8	0.0	-0.0
insgesamt:	549.6	621.5	599.7	551.8	116.5	0.0	0.0	428.7	0.0	0.0	0.0	90.3	-92.4	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	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
1	293.5	665.3	642.0	286.1	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	3.5	3.8	0.0	0.0
2	293.5	665.3	642.0	296.3	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.8	0.0	-0.0
3	293.5	665.3	642.0	304.4	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.9	0.0	0.0
4	293.5	665.3	642.0	320.5	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-27.0	0.0	0.0
5	293.5	665.3	642.0	333.1	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-39.7	0.0	0.0
insgesamt:	293.5	665.3	642.0	316.8	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.1	-23.4	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 6:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Freiflächen

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	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
1	293.5	665.3	642.0	286.1	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	3.5	3.8	0.0	0.0
2	293.5	665.3	642.0	296.3	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.8	0.0	-0.0
3	293.5	665.3	642.0	304.4	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-10.9	0.0	0.0
4	293.5	665.3	642.0	320.5	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-27.0	0.0	0.0
5	293.5	665.3	642.0	333.1	73.7	0.0	0.0	217.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-39.7	0.0	0.0
insgesamt:	418.0	608.4	587.1	385.2	102.6	0.0	0.0	309.3	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 7:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	848.0	623.8	602.0	531.4	129.4	0.0	0.0	714.7	0.0	0.0	0.0	316.6	0.0	0.0	-0.0
2	848.0	623.8	602.0	554.1	129.4	0.0	0.0	714.7	0.0	0.0	0.0	293.9	0.0	0.0	-0.0
3	848.0	623.8	602.0	564.1	129.4	0.0	0.0	714.7	0.0	0.0	0.0	283.9	0.0	0.0	-0.0
4	848.0	623.8	602.0	574.7	129.4	0.0	0.0	714.8	0.0	0.0	0.0	273.3	-0.0	0.0	-0.0
5	848.0	623.8	602.0	579.8	129.4	0.0	0.0	714.8	0.0	0.0	0.0	268.2	0.0	0.0	-0.0
insgesamt:	848.0	623.8	602.0	571.0	129.4	0.0	0.0	714.8	0.0	0.0	0.0	277.0	0.0	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	1178.5	576.6	556.4	533.9	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	628.7	15.8	0.0	-0.0
2	1178.5	576.6	556.4	547.4	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	590.9	40.3	0.0	-0.0
3	1178.5	576.6	556.4	551.0	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	573.5	54.0	0.0	-0.0
4	1178.5	576.6	556.4	552.8	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	555.3	70.4	0.0	-0.0
5	1178.5	576.6	556.4	553.5	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	546.1	78.9	0.0	-0.0
insgesamt:	1178.5	576.6	556.4	551.8	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	561.5	65.1	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 7:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

c) sickerwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	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
1	1178.5	576.6	556.4	533.9	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	628.7	15.8	0.0	-0.0
2	1178.5	576.6	556.4	547.4	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	590.9	40.3	0.0	-0.0
3	1178.5	576.6	556.4	551.0	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	573.5	54.0	0.0	-0.0
4	1178.5	576.6	556.4	552.8	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	555.3	70.4	0.0	-0.0
5	1178.5	576.6	556.4	553.5	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	546.1	78.9	0.0	-0.0
insgesamt:	1178.5	576.6	556.4	551.8	139.1	0.0	0.0	1030.3	0.0	0.0	0.0	561.5	65.1	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	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
1	489.0	664.4	641.1	379.4	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	104.7	4.9	0.0	0.0
2	489.0	664.4	641.1	414.6	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	84.3	-10.0	0.0	0.0
3	489.0	664.4	641.1	438.3	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	73.5	-22.8	0.0	-0.0
4	489.0	664.4	641.1	469.8	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	61.4	-42.2	0.0	0.0
5	489.0	664.4	641.1	489.7	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	55.1	-55.8	0.0	0.0
insgesamt:	489.0	664.4	641.1	460.8	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	65.4	-37.1	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 7:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	489.0	664.4	641.1	379.4	84.8	0.0	0.0	400.4	0.0	0.0	0.0	104.7	4.9	0.0	0.0
2	697.0	608.0	586.7	554.7	119.8	0.0	0.0	571.0	0.0	0.0	0.0	82.2	60.1	0.0	0.0
3	697.0	608.0	586.7	563.6	119.8	0.0	0.0	571.0	0.0	0.0	0.0	64.0	69.4	0.0	0.0
4	697.0	608.0	586.7	571.9	119.8	0.0	0.0	571.0	0.0	0.0	0.0	44.9	80.1	0.0	0.0
5	697.0	608.0	586.7	575.8	119.8	0.0	0.0	571.0	0.0	0.0	0.0	36.5	84.7	0.0	0.0
insgesamt:	693.7	608.9	587.6	566.4	119.2	0.0	0.0	568.3	0.0	0.0	0.0	51.4	75.8	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 8:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	360.1	625.2	603.3	349.9	98.4	0.0	0.0	259.0	0.0	0.0	0.0	10.1	-0.0	0.0	-0.0
2	360.1	625.2	603.3	359.4	98.4	0.0	0.0	259.0	0.0	0.0	0.0	0.6	-0.0	0.0	-0.0
3	360.1	625.2	603.3	360.1	98.4	0.0	0.0	259.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0
4	360.1	625.2	603.3	360.1	98.4	0.0	0.0	259.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0
5	360.1	625.2	603.3	360.2	98.4	0.0	0.0	259.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0
insgesamt:	360.1	625.2	603.3	359.9	98.4	0.0	0.0	259.0	0.0	0.0	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	500.0	580.2	559.9	412.0	107.5	0.0	0.0	385.5	0.0	0.0	0.0	38.4	49.5	0.0	0.0
2	500.0	580.2	559.9	431.8	107.5	0.0	0.0	385.5	0.0	0.0	0.0	0.0	68.1	0.0	0.0
3	500.0	580.2	559.9	421.5	107.5	0.0	0.0	385.5	0.0	0.0	0.0	0.0	78.5	0.0	0.0
4	500.0	580.2	559.9	410.8	107.5	0.0	0.0	385.5	0.0	0.0	0.0	0.0	89.2	0.0	0.0
5	500.0	580.2	559.9	405.3	107.5	0.0	0.0	385.5	0.0	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.0
insgesamt:	500.0	580.2	559.9	413.8	107.5	0.0	0.0	385.5	0.0	0.0	0.0	0.6	85.6	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 8:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

c) sickerwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	440.0	570.2	550.3	404.4	115.5	0.0	0.0	321.6	0.0	0.0	0.0	56.4	-20.8	0.0	0.0
2	440.0	570.2	550.3	434.9	115.5	0.0	0.0	321.6	0.0	0.0	0.0	18.9	-13.8	0.0	0.0
3	440.0	570.2	550.3	444.9	115.5	0.0	0.0	321.6	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.9	0.0	0.0
4	440.0	570.2	550.3	435.8	115.5	0.0	0.0	321.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	-0.0
5	440.0	570.2	550.3	429.4	115.5	0.0	0.0	321.6	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0
insgesamt:	440.0	570.2	550.3	436.4	115.5	0.0	0.0	321.6	0.0	0.0	0.0	2.0	1.6	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	207.1	665.6	642.3	206.2	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	-0.0
2	207.1	665.6	642.3	210.3	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.2	0.0	0.0
3	207.1	665.6	642.3	214.1	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.0	0.0	0.0
4	207.1	665.6	642.3	222.1	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-14.9	0.0	-0.0
5	207.1	665.6	642.3	228.6	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.5	0.0	-0.0
insgesamt:	207.1	665.6	642.3	220.3	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13.2	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 8:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

e) sickewasserärmstes Jahr:

Hydrotop	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
1	207.1	665.6	642.3	206.2	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	-0.0
2	207.1	665.6	642.3	210.3	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.2	0.0	0.0
3	207.1	665.6	642.3	214.1	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7.0	0.0	0.0
4	207.1	665.6	642.3	222.1	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-14.9	0.0	-0.0
5	207.1	665.6	642.3	228.6	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-21.5	0.0	-0.0
insgesamt:	207.1	665.6	642.3	220.3	65.7	0.0	0.0	140.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13.2	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 9:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	508.6	626.6	604.7	422.9	109.6	0.0	0.0	396.0	0.0	0.0	0.0	85.7	0.0	0.0	0.0
2	508.6	626.6	604.7	440.9	109.6	0.0	0.0	396.0	0.0	0.0	0.0	67.7	0.0	0.0	0.0
3	508.6	626.6	604.7	447.7	109.6	0.0	0.0	396.0	0.0	0.0	0.0	60.9	0.0	0.0	0.0
4	508.6	626.6	604.7	454.7	109.6	0.0	0.0	396.0	0.0	0.0	0.0	54.0	-0.0	0.0	0.0
5	508.6	626.6	604.7	458.3	109.6	0.0	0.0	396.0	0.0	0.0	0.0	50.4	-0.0	0.0	0.0
insgesamt:	508.6	626.6	604.7	452.3	109.6	0.0	0.0	396.0	0.0	0.0	0.0	56.4	0.0	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	706.7	580.9	560.6	463.2	119.1	0.0	0.0	580.0	0.0	0.0	0.0	194.0	49.4	0.0	0.0
2	706.7	580.9	560.6	483.4	119.1	0.0	0.0	580.0	0.0	0.0	0.0	145.1	78.1	0.0	0.0
3	706.7	580.9	560.6	485.8	119.1	0.0	0.0	580.0	0.0	0.0	0.0	126.0	94.8	0.0	0.0
4	706.7	580.9	560.6	489.0	119.1	0.0	0.0	580.0	0.0	0.0	0.0	103.5	114.2	0.0	0.0
5	706.7	580.9	560.6	490.4	119.1	0.0	0.0	580.0	0.0	0.0	0.0	91.2	125.1	0.0	0.0
insgesamt:	706.7	580.9	560.6	487.7	119.1	0.0	0.0	580.0	0.0	0.0	0.0	110.9	108.1	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 9:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

c) sickerwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	684.5	577.2	557.0	460.4	122.1	0.0	0.0	556.4	0.0	0.0	0.0	200.6	23.4	0.0	0.0
2	644.0	572.2	552.2	490.5	126.8	0.0	0.0	512.6	0.0	0.0	0.0	156.4	-2.8	0.0	0.0
3	644.0	572.2	552.2	498.9	126.8	0.0	0.0	512.6	0.0	0.0	0.0	138.6	6.5	0.0	0.0
4	591.0	610.1	588.8	517.7	116.6	0.0	0.0	469.7	0.0	0.0	0.0	126.0	-52.7	0.0	0.0
5	591.0	610.1	588.8	520.7	116.6	0.0	0.0	469.7	0.0	0.0	0.0	124.5	-54.2	0.0	0.0
insgesamt:	609.6	597.4	576.5	510.8	120.0	0.0	0.0	484.9	0.0	0.0	0.0	132.0	-33.3	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	293.2	667.3	643.9	272.1	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	18.1	3.0	0.0	0.0
2	293.2	667.3	643.9	284.0	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	13.2	-4.1	0.0	0.0
3	293.2	667.3	643.9	293.0	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	11.5	-11.4	0.0	0.0
4	293.2	667.3	643.9	308.6	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	9.6	-25.0	0.0	0.0
5	293.2	667.3	643.9	320.1	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	8.7	-35.6	0.0	0.0
insgesamt:	293.2	667.3	643.9	304.7	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	10.3	-21.8	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 9:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %)

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	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
1	293.2	667.3	643.9	272.1	72.7	0.0	0.0	218.4	0.0	0.0	0.0	18.1	3.0	0.0	0.0
2	325.8	658.4	635.4	306.0	78.2	0.0	0.0	245.1	0.0	0.0	0.0	12.9	6.9	0.0	0.0
3	325.8	658.4	635.4	312.7	78.2	0.0	0.0	245.1	0.0	0.0	0.0	10.0	3.1	0.0	0.0
4	325.8	658.4	635.4	324.6	78.2	0.0	0.0	245.1	0.0	0.0	0.0	7.0	-5.8	0.0	0.0
5	325.8	658.4	635.4	333.6	78.2	0.0	0.0	245.1	0.0	0.0	0.0	5.7	-13.6	0.0	0.0
insgesamt:	325.3	658.5	635.5	321.3	78.1	0.0	0.0	244.7	0.0	0.0	0.0	8.1	-4.1	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 10:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	1364.7	623.1	601.3	569.0	144.6	0.0	0.0	1215.3	0.0	0.0	0.0	795.7	-0.0	0.0	0.0
2	1364.7	623.1	601.3	584.4	144.6	0.0	0.0	1215.3	0.0	0.0	0.0	780.3	0.0	0.0	0.0
3	1364.7	623.1	601.3	589.3	144.6	0.0	0.0	1215.4	0.0	0.0	0.0	775.4	0.0	0.0	0.0
4	1364.7	623.1	601.3	593.4	144.6	0.0	0.0	1215.4	0.0	0.0	0.0	771.3	0.0	0.0	0.0
5	1364.7	623.1	601.3	595.1	144.6	0.0	0.0	1215.4	0.0	0.0	0.0	769.6	0.0	0.0	0.0
insgesamt:	1364.7	623.1	601.3	591.7	144.6	0.0	0.0	1215.4	0.0	0.0	0.0	773.0	0.0	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	1896.0	574.6	554.5	542.6	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1353.4	0.0	0.0	0.0
2	1896.0	574.6	554.5	550.9	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1345.1	0.0	0.0	-0.0
3	1896.0	574.6	554.5	552.6	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1343.3	0.0	0.0	0.0
4	1896.0	574.6	554.5	553.3	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1342.7	0.0	0.0	0.0
5	1896.0	574.6	554.5	553.4	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1342.5	0.0	0.0	-0.0
insgesamt:	1896.0	574.6	554.5	552.8	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1343.1	0.0	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 10:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

c) sickerwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	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
1	1896.0	574.6	554.5	542.6	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1353.4	0.0	0.0	0.0
2	1896.0	574.6	554.5	550.9	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1345.1	0.0	0.0	-0.0
3	1896.0	574.6	554.5	552.6	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1343.3	0.0	0.0	0.0
4	1896.0	574.6	554.5	553.3	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1342.7	0.0	0.0	0.0
5	1896.0	574.6	554.5	553.4	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1342.5	0.0	0.0	-0.0
insgesamt:	1896.0	574.6	554.5	552.8	154.3	0.0	0.0	1728.7	0.0	0.0	0.0	1343.1	0.0	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	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
1	787.3	661.4	638.2	489.7	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	299.8	-2.2	0.0	-0.0
2	787.3	661.4	638.2	518.0	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	271.5	-2.3	0.0	-0.0
3	787.3	661.4	638.2	534.6	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	254.9	-2.3	0.0	-0.0
4	787.3	661.4	638.2	556.2	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	235.8	-4.7	0.0	0.0
5	787.3	661.4	638.2	567.5	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	235.8	-16.0	0.0	-0.0
insgesamt:	787.3	661.4	638.2	549.5	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	243.9	-6.1	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 10:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Traufflächen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	787.3	661.4	638.2	489.7	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	299.8	-2.2	0.0	-0.0
2	787.3	661.4	638.2	518.0	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	271.5	-2.3	0.0	-0.0
3	787.3	661.4	638.2	534.6	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	254.9	-2.3	0.0	-0.0
4	787.3	661.4	638.2	556.2	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	235.8	-4.7	0.0	0.0
5	787.3	661.4	638.2	567.5	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	235.8	-16.0	0.0	-0.0
insgesamt:	787.3	661.4	638.2	549.5	93.3	0.0	0.0	689.0	0.0	0.0	0.0	243.9	-6.1	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 11:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	145.1	626.4	604.5	145.1	65.8	0.0	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0
2	145.1	626.4	604.5	145.1	65.8	0.0	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0
3	145.1	626.4	604.5	145.1	65.8	0.0	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0
4	145.1	626.4	604.5	145.2	65.8	0.0	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0
5	145.1	626.4	604.5	145.2	65.8	0.0	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.0
insgesamt:	145.1	626.4	604.5	145.2	65.8	0.0	0.0	77.3	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	200.9	582.1	561.7	184.1	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8	0.0	-0.0
2	200.9	582.1	561.7	177.8	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	0.0	-0.0
3	200.9	582.1	561.7	180.3	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	0.0	-0.0
4	200.9	582.1	561.7	177.3	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6	0.0	-0.0
5	200.9	582.1	561.7	175.3	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5	0.0	-0.0
insgesamt:	200.9	582.1	561.7	177.8	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 11:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

c) sickerwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	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
1	200.9	582.1	561.7	184.1	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8	0.0	-0.0
2	200.9	582.1	561.7	177.8	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	0.0	-0.0
3	200.9	582.1	561.7	180.3	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	20.6	0.0	-0.0
4	200.9	582.1	561.7	177.3	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.6	0.0	-0.0
5	200.9	582.1	561.7	175.3	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5	0.0	-0.0
insgesamt:	200.9	582.1	561.7	177.8	74.6	0.0	0.0	120.6	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	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
1	83.6	666.0	642.7	85.3	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.7	0.0	-0.0
2	83.6	666.0	642.7	86.1	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.5	0.0	-0.0
3	83.6	666.0	642.7	87.3	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.7	0.0	-0.0
4	83.6	666.0	642.7	88.7	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	0.0	-0.0
5	83.6	666.0	642.7	89.6	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	0.0	-0.0
insgesamt:	83.6	666.0	642.7	88.3	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.7	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 11:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), Flächen unter den PV-Modulen (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	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
1	83.6	666.0	642.7	85.3	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.7	0.0	-0.0
2	83.6	666.0	642.7	86.1	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.5	0.0	-0.0
3	83.6	666.0	642.7	87.3	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.7	0.0	-0.0
4	83.6	666.0	642.7	88.7	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1	0.0	-0.0
5	83.6	666.0	642.7	89.6	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	0.0	-0.0
insgesamt:	83.6	666.0	642.7	88.3	44.3	0.0	0.0	38.9	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.7	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 12:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

a) langjähriges Mittel:

Hydrotop	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
1	508.9	625.1	603.2	351.9	99.6	0.0	0.0	406.4	0.0	0.0	0.0	157.0	0.0	0.0	0.0
2	508.9	625.1	603.2	365.2	99.6	0.0	0.0	406.4	0.0	0.0	0.0	143.7	-0.0	0.0	0.0
3	508.9	625.1	603.2	370.9	99.6	0.0	0.0	406.4	0.0	0.0	0.0	138.0	-0.0	0.0	0.0
4	508.9	625.1	603.2	376.9	99.6	0.0	0.0	406.4	0.0	0.0	0.0	132.1	-0.0	0.0	0.0
5	508.9	625.1	603.2	379.9	99.6	0.0	0.0	406.4	0.0	0.0	0.0	129.0	-0.0	0.0	0.0
insgesamt:	508.9	625.1	603.2	374.8	99.6	0.0	0.0	406.4	0.0	0.0	0.0	134.1	0.0	0.0	0.0

b) nassestes Jahr:

Hydrotop	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
1	706.8	579.5	559.2	379.1	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	293.1	34.6	0.0	0.0
2	706.8	579.5	559.2	388.8	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	263.2	54.9	0.0	0.0
3	706.8	579.5	559.2	395.6	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	246.6	64.6	0.0	0.0
4	706.8	579.5	559.2	401.3	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	227.0	78.5	0.0	0.0
5	706.8	579.5	559.2	403.9	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	216.2	86.7	0.0	0.0
insgesamt:	706.8	579.5	559.2	399.2	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	233.2	74.4	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 12:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

c) sickерwasserreichstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	706.8	579.5	559.2	379.1	109.0	0.0	0.0	590.1	0.0	0.0	0.0	293.1	34.6	0.0	0.0
2	666.5	574.6	554.5	394.6	113.8	0.0	0.0	546.6	0.0	0.0	0.0	267.5	4.5	0.0	0.0
3	666.5	574.6	554.5	400.0	113.8	0.0	0.0	546.6	0.0	0.0	0.0	259.1	7.5	0.0	0.0
4	613.9	612.3	590.8	420.7	103.6	0.0	0.0	504.0	0.0	0.0	0.0	249.3	-56.2	0.0	0.0
5	613.9	612.3	590.8	425.2	103.6	0.0	0.0	504.0	0.0	0.0	0.0	249.3	-60.6	0.0	0.0
insgesamt:	632.3	599.6	578.6	413.9	107.0	0.0	0.0	519.1	0.0	0.0	0.0	253.6	-35.3	0.0	0.0

d) trockenstes Jahr:

Hydrotop	P	ETPU	ETPK	ETR	EI	WS	MS	F	RO	ROV	RH	RU	DSB	STW	FEHL
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	293.6	664.9	641.7	244.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	48.7	0.8	0.0	0.0
2	293.6	664.9	641.7	253.5	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	42.6	-2.6	0.0	0.0
3	293.6	664.9	641.7	260.4	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	40.0	-6.9	0.0	0.0
4	293.6	664.9	641.7	272.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	37.0	-15.4	0.0	0.0
5	293.6	664.9	641.7	280.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	37.0	-23.5	0.0	0.0
insgesamt:	293.6	664.9	641.7	269.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	38.3	-13.8	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Fortsetzung Anlage 12:

Modellergebnisse zum langjährig wasserhaushaltlichen Verhalten (Reihe 1961 – 1990) für den Planungszustand (mit Solarpanelen), flächengewichtete Werte (Fall a: Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %)

e) sickерwasserärmstes Jahr:

Hydrotop	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
1	293.6	664.9	641.7	244.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	48.7	0.8	0.0	0.0
2	293.6	664.9	641.7	253.5	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	42.6	-2.6	0.0	0.0
3	293.6	664.9	641.7	260.4	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	40.0	-6.9	0.0	0.0
4	293.6	664.9	641.7	272.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	37.0	-15.4	0.0	0.0
5	293.6	664.9	641.7	280.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	37.0	-23.5	0.0	0.0
insgesamt:	293.6	664.9	641.7	269.0	65.9	0.0	0.0	225.7	0.0	0.0	0.0	38.3	-13.8	0.0	0.0

Erklärung der Symbole s. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Anlage 13:

Austrocknung der Rekultivierungsschicht für das Hydrotop 1

a) Istzustand ohne PV-Anlage:

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1961	30.4	6	10	7.5		105	70	47	13
1962	31.5	25	10	13.5		144	124	40	0
1963	31.0	6	8	10.9		91	62	21	0
1964	31.6	7	8	14.4		132	55	14	0
1965	32.5	15	7	19.8		65	41	1	0
1966	31.4	13	6	13.2		50	29	18	0
1967	32.3	24	5	18.1		25	16	3	0
1968	31.3	23	8	12.6		73	41	23	0
1969	29.8	11	8	3.7		121	85	27	12
1970	32.4	27	6	19.0		32	18	1	0
1971	31.3	20	8	12.4		91	37	12	0
1972	33.0	27	7	22.1		16	8	0	0
1973	31.1	6	7	11.5		101	62	13	0
1974	34.3	16	8	29.6		34	1	0	0
1975	30.0	14	8	5.2		114	72	31	12
1976	29.1	12	7	-0.0		178	152	120	51
1977	35.0	23	7	33.9		13	0	0	0
1978	31.0	6	8	10.9		72	47	14	0
1979	32.2	6	7	17.8		126	78	4	0
1980	32.4	9	6	19.0		86	20	2	0
1981	31.5	13	9	13.5		94	65	19	0
1982	29.1	4	10	0.0		175	152	92	68
1983	31.5	15	7	14.1		83	41	9	0
1984	34.9	5	9	33.3		10	0	0	0
1985	30.8	31	10	9.8		147	114	46	1
1986	30.9	9	8	10.3		93	48	21	0
1987	35.3	16	7	35.3		7	0	0	0
1988	30.5	21	8	8.3		177	147	47	4
1989	30.6	24	8	8.6		163	125	51	6
1990	30.1	9	8	6.0		104	81	60	21

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	169	3.06	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	90	1.63	96.94	
> 85 ... 90 % nFK:	122	2.21	95.31	
> 80 ... 85 % nFK:	167	3.03	93.10	
> 75 ... 80 % nFK:	225	4.08	90.07	
> 70 ... 75 % nFK:	223	4.04	86.00	
> 65 ... 70 % nFK:	247	4.47	81.96	
> 60 ... 65 % nFK:	309	5.60	77.48	
> 55 ... 60 % nFK:	283	5.13	71.88	
> 50 ... 55 % nFK:	307	5.56	66.76	
> 45 ... 50 % nFK:	342	6.20	61.20	
> 40 ... 45 % nFK:	314	5.69	55.00	
> 35 ... 40 % nFK:	458	8.30	49.31	
> 30 ... 35 % nFK:	473	8.57	41.01	
> 25 ... 30 % nFK:	568	10.29	32.45	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	487	8.82	22.16	
> 15 ... 20 % nFK:	328	5.94	13.33	
> 10 ... 15 % nFK:	220	3.99	7.39	
> 5 ... 10 % nFK:	107	1.94	3.41	Hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	81	1.47	1.47	

Fortsetzung Anlage 13:

Austrocknung der Rekultivierungsschicht für das Hydrotop 1

b) Planungszustand unter den PV-Modulen, Aufteilungsverhältnis 50 % / 50 %:

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1961	29.6	6	10	2.9		130	124	82	47
1962	30.3	24	10	6.9		164	151	135	28
1963	29.9	6	8	4.3		184	145	85	29
1964	30.1	30	7	6.0		169	147	127	19
1965	31.1	15	7	11.5		135	96	53	0
1966	30.5	18	6	8.0		119	55	36	9
1967	31.4	24	5	13.2		127	51	17	0
1968	30.2	23	8	6.3		128	85	52	17
1969	29.5	11	8	2.0		141	131	97	17
1970	31.1	27	6	11.5		56	39	24	0
1971	30.1	20	8	6.0		121	110	64	12
1972	30.9	27	7	10.1		146	75	14	0
1973	29.9	6	7	4.6		157	135	101	24
1974	31.5	16	8	13.8		157	81	18	0
1975	29.4	14	8	1.7		157	134	92	26
1976	28.7	12	7	-2.3		184	184	171	126
1977	32.2	23	7	17.5		74	35	6	0
1978	30.0	6	8	5.2		128	87	60	13
1979	30.8	30	10	10.1		150	134	100	0
1980	31.2	9	6	11.8		147	124	57	0
1981	30.1	13	9	5.7		160	127	77	26
1982	28.7	5	10	-2.3		184	178	149	84
1983	30.2	15	7	6.3		127	110	63	9
1984	31.8	5	9	15.8		152	55	10	0
1985	29.7	28	10	3.4		178	171	138	49
1986	30.4	9	8	7.5		117	105	42	8
1987	32.5	12	9	19.5		109	52	3	0
1988	29.7	21	8	3.2		182	175	145	28
1989	29.7	24	8	3.4		181	169	147	44
1990	29.3	4	8	1.4		153	130	93	61

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	14	0.25	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	14	0.25	99.75	
> 85 ... 90 % nFK:	13	0.24	99.49	
> 80 ... 85 % nFK:	16	0.29	99.26	
> 75 ... 80 % nFK:	38	0.69	98.97	
> 70 ... 75 % nFK:	53	0.96	98.28	
> 65 ... 70 % nFK:	79	1.43	97.32	
> 60 ... 65 % nFK:	151	2.74	95.89	
> 55 ... 60 % nFK:	146	2.64	93.15	
> 50 ... 55 % nFK:	170	3.08	90.51	
> 45 ... 50 % nFK:	239	4.33	87.43	
> 40 ... 45 % nFK:	270	4.89	83.10	
> 35 ... 40 % nFK:	425	7.70	78.21	
> 30 ... 35 % nFK:	497	9.00	70.51	
> 25 ... 30 % nFK:	511	9.26	61.50	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	626	11.34	52.25	
> 15 ... 20 % nFK:	789	14.29	40.91	
> 10 ... 15 % nFK:	793	14.37	26.61	
> 5 ... 10 % nFK:	414	7.50	12.25	Hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	262	4.75	4.75	

Fortsetzung Anlage 13:

Austrocknung der Rekultivierungsschicht für das Hydrotop 1

c) Planungszustand unter den PV-Modulen, Aufteilungsverhältnis 80 % / 20 %:

Jaehrliche minimale Wassergehalte der Rekultivierungsschicht:

Jahr	SBmin	Tag	Mon	% nFK	Mon.	<40 % nFK	<30 % nFK	<20 % nFK	<10 % nFK
1961	22.4	2	10	-38.5		184	184	184	184
1962	22.5	25	10	-38.2		184	184	184	184
1963	22.0	24	7	-40.5		184	184	184	184
1964	21.5	30	7	-43.4		184	184	184	184
1965	22.1	24	9	-40.2		184	184	184	184
1966	22.3	13	6	-38.8		184	184	184	184
1967	22.5	24	5	-38.2		184	184	184	184
1968	22.0	21	8	-40.8		184	184	184	184
1969	21.8	10	8	-42.0		184	184	184	184
1970	23.3	27	6	-33.6		184	184	184	184
1971	22.7	20	8	-37.1		184	184	184	184
1972	22.3	26	7	-39.4		184	184	184	184
1973	21.7	6	7	-42.8		184	184	184	184
1974	22.1	16	8	-40.2		184	184	184	184
1975	22.0	12	8	-40.8		184	184	184	184
1976	21.3	20	7	-45.1		184	184	184	184
1977	22.5	6	8	-38.2		184	184	184	184
1978	21.9	5	8	-41.7		184	184	184	184
1979	22.0	26	10	-40.5		184	184	184	184
1980	22.1	22	9	-40.2		184	184	184	184
1981	21.9	13	9	-41.4		184	184	184	184
1982	21.6	4	10	-43.1		184	184	184	184
1983	22.3	15	7	-39.4		184	184	184	184
1984	22.1	5	9	-39.9		184	184	184	184
1985	21.5	27	10	-43.4		184	184	184	184
1986	22.1	8	8	-39.9		184	184	184	184
1987	23.8	12	9	-30.5		184	184	184	184
1988	23.0	18	8	-34.8		184	184	184	184
1989	22.6	26	8	-37.1		184	184	184	184
1990	22.1	14	8	-40.2		184	184	184	184

Wassergehaltsverteilung der Rekultivierungsschicht:

nFK-Bereich	n []	%	Sum-%	
> 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 95 ... 100 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 90 ... 95 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 85 ... 90 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 80 ... 85 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 75 ... 80 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 70 ... 75 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 65 ... 70 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 60 ... 65 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 55 ... 60 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 50 ... 55 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 45 ... 50 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 40 ... 45 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 35 ... 40 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 30 ... 35 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 25 ... 30 % nFK:	0	0.00	100.00	Trockenstressbeginn
> 20 ... 25 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 15 ... 20 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 10 ... 15 % nFK:	0	0.00	100.00	
> 5 ... 10 % nFK:	0	0.00	100.00	Hohes Trockenstresspotenzial
> 0 ... 5 % nFK:	5520	100.00	100.00	

Anlage 14:

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

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

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

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

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

Objektbezeichnung : 001

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

Regendauer PD : unbekannt

Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

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

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaechen	:	10.19 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	180.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	185.00 m
* hoechster Punkt	:	91.70 m NN
* niedrigster Punkt	:	83.90 m NN
* mittleres Gefaelle der Halden-/Deponieflaechen	:	1.00 %

Bewuchs: Gras/Kraut-Bewuchs (durchschnittlich)

Vegetationsbedeckungsgrad : 90.00 %

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaechen..... : 7.80E-05 m/s

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

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

Name des Isochronenfiles: c:\trothapv\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 = 15.5 mm

* massgebende Regendauer: PD = 52 min

* Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 52

* Regenintensitaet: PI = 18.1 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 = 44.1 %

* Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %

* Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 0.0 %

* modellintern/nutzerkorrigierter Abflussbeiwert: PHIK = 15.0 %

* Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 2.3 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 = 2.5 km

- Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:

K1 = 25.8 min

K2 = 60.1 min

DELTA = 0.98

* Gleichung der Impulsantwortfunktion:

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

* 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:

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

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

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

----- Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 52 min) -----				
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s	

1	2.417	0.109	0.109	
2	4.650	0.320	0.320	
3	6.711	0.624	0.624	
4	8.608	1.014	1.014	
5	10.352	1.482	1.482	
6	11.952	2.024	2.024	
7	13.415	2.631	2.631	
8	14.750	3.299	3.299	
9	15.965	4.022	4.022	
10	17.066	4.795	4.795	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
44	20.210	39.062	39.062	
45	19.888	39.962	39.962	
46	19.561	40.848	40.848	
47	19.231	41.719	41.719	
48	18.898	42.574	42.574	
49	18.562	43.415	43.415	
50	18.225	44.240	44.240	
51	17.887	45.050	45.050	
52	17.549	45.845	45.845	
53	17.211	46.515	46.515	
54	16.873	47.068	47.068	
55	16.537	47.513	47.513	
56	16.202	47.857	47.857	
57	15.869	48.107	48.107	
58	15.538	48.269	48.269	
59	15.209	48.350	48.350	
60	14.883	48.356	48.356	
61	14.560	48.293	48.293	
62	14.241	48.165	48.165	
63	13.925	47.977	47.977	
64	13.612	47.735	47.735	
65	13.304	47.443	47.443	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
.	.	.	.	
633	0.000	0.001	0.001	
634	0.000	0.001	0.001	
635	0.000	0.000	0.000	

5. ZUSAMMENFASSUNG

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

- * Abflussmaximum: QMAX = 48.36 l/s
- * Anstiegszeit: TA = 60.00 min
- * Abflusssumme: QSUM = 237.69 m³

6. LITERATUR

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

b) Modellergebnisse für Wiederkehrintervalle von 1 bis 100 a:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	52	48
2	52	62
5	60	81
10	60	100
20	60	115
50	60	135
100	60	156

Anlage 15:

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

a) Modellausgabe beispielhaft für ein Wiederkehrintervall von 1 a:

HALDEN- UND DEPONIEABFLUSSPROGRAMM R O H A L D E

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

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

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

Objektbezeichnung : 001

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

Regendauer PD : unbekannt

Wiederkehrintervall des Regens : 1.00 a

KOSTRA-Regenmengen P (aus /1/):

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

Vorfeuchte des Standortes (= hydrologische Sicherheit) . : mittel

Hydrographisch-morphologische Flaechencharakteristik:

* Halden-/Deponieflaechen	:	10.19 ha
* mittlere Laenge der Flaechen (von oben nach unten) ..	:	180.00 m
* Breite der Flaechen am Halden-/Deponiefuss	:	185.00 m
* hoechster Punkt	:	91.70 m NN
* niedrigster Punkt	:	83.90 m NN
* mittleres Gefaelle der Halden-/Deponieflaechen	:	1.00 %

Bewuchs: Gras/Kraut-Bewuchs (durchschnittlich)

Vegetationsbedeckungsgrad : 90.00 %

Filtrationskoeffizient kf der Oberflaechen..... : 4.00E-05 m/s

Basisabfluss : 0.00 l/s

Art der Abflusskonzentration: ueberwiegend flaechenhaft

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

Name des Isochronenfiles: c:\trothapv\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 = 15.5 mm

* massgebende Regendauer: PD = 52 min
* Anzahl der Regenintervalle (i = 1 ... n): n = 52
* Regenintensitaet: PI = 18.1 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 = 51.5 %
* Groesse X fuer Anfangsverlust IA=X(1000/CNK-10): X = 5.0 %
* Abflussbeiwert nach CN-Verfahren PHICN: PHICN = 0.0 %
* modellintern/nutzerkorrigierter Abflussbeiwert: PHIK = 15.0 %
* Oberflaechenabfluss (Effektivniederschlag): RO = 2.3 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 = 2.5 km
- Speicherkonstanten fuer das Parallelkaskadenmodell nach /9/:
K1 = 25.8 min
K2 = 60.1 min
DELTA = 0.98

* 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:

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

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

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

Simulationsergebnisse (Regendauer PD = 52 min)			
t min	u(T,t) l/(s*mm)	QD(t) l/s	Q(t) l/s
1	2.417	0.109	0.109
2	4.650	0.320	0.320
3	6.711	0.624	0.624
4	8.608	1.014	1.014
5	10.352	1.482	1.482
6	11.952	2.024	2.024
7	13.415	2.631	2.631
8	14.750	3.299	3.299
9	15.965	4.022	4.022
10	17.066	4.795	4.795
.	.	.	.
.	.	.	.
44	20.210	39.062	39.062
45	19.888	39.962	39.962
46	19.561	40.848	40.848
47	19.231	41.719	41.719
48	18.898	42.574	42.574
49	18.562	43.415	43.415
50	18.225	44.240	44.240
51	17.887	45.050	45.050
52	17.549	45.845	45.845
53	17.211	46.515	46.515
54	16.873	47.068	47.068
55	16.537	47.513	47.513
56	16.202	47.857	47.857
57	15.869	48.107	48.107
58	15.538	48.269	48.269
59	15.209	48.350	48.350
60	14.883	48.356	48.356
61	14.560	48.293	48.293
62	14.241	48.165	48.165
63	13.925	47.977	47.977
64	13.612	47.735	47.735
65	13.304	47.443	47.443
.	.	.	.
.	.	.	.
633	0.000	0.001	0.001
634	0.000	0.001	0.001
635	0.000	0.000	0.000

5. ZUSAMMENFASSUNG

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

- * Abflussmaximum: QMAX = 48.36 l/s
- * Anstiegszeit: TA = 60.00 min
- * Abflusssumme: QSUM = 237.69 m³

6. LITERATUR

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

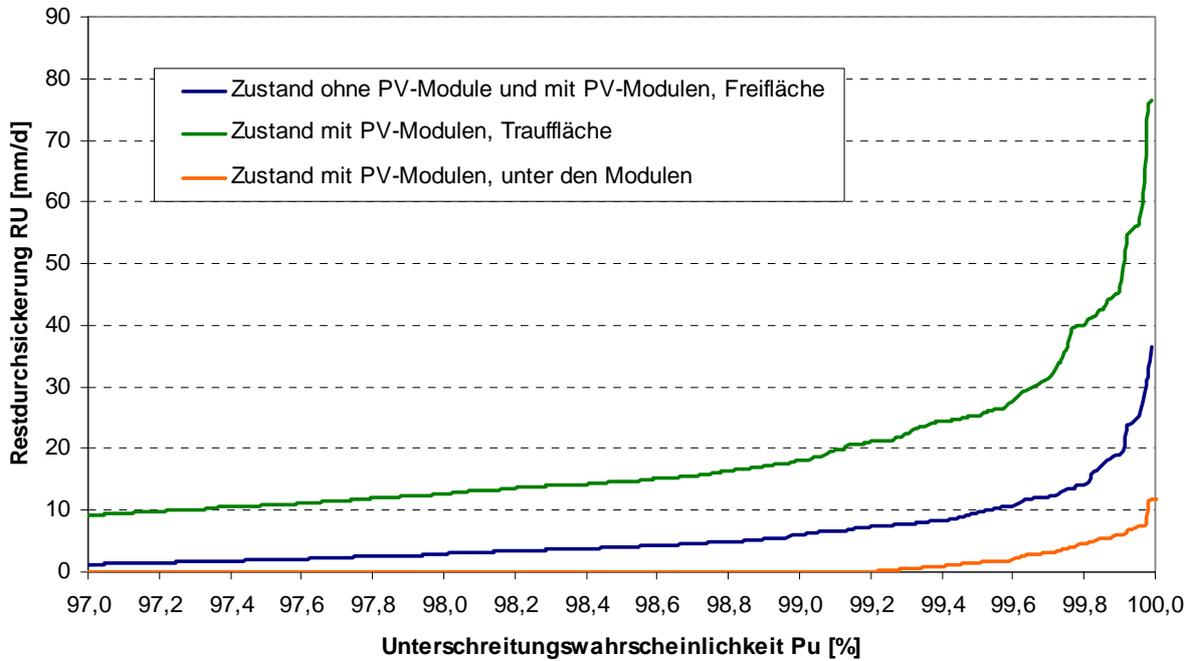
b) Modellergebnisse für Wiederkehrintervalle von 1 bis 100 a:

Wiederkehrintervall T [a]	Maßgebende Regendauer [min]	Maximaldurchfluss [l/s]
1	52	48
2	52	62
5	60	81
10	60	100
20	60	115
50	60	135
100	60	156

Anlage 16:

Sickerwassermengen im Starkregenfall

a) Verteilung der Sickerwassermengen:



Fortsetzung Anlage 16:

Sickerwassermengen im Starkregenfall

b) Sickerwassermengen mit den dazugehörigen Wiederkehrintervallen:

Tag	Monat	Jahr	P _U [%]	RU [mm/d] Istzustand bzw. Planungszustand Freifläche	RU [mm/d] Planungszustand Trauffläche	RU [mm/d] Planungszustand unter den Modulen
15	4	1975	99,67147	12,2	30,5	3,3
23	2	1966	99,68060	12,2	30,7	3,3
23	3	1969	99,68972	12,2	31,1	3,5
25	3	1988	99,69885	12,2	31,4	3,5
4	4	1979	99,70798	12,4	32,0	3,6
6	2	1987	99,71710	12,5	32,7	3,7
2	3	1987	99,72623	12,6	33,8	3,9
17	1	1971	99,73535	12,8	34,0	4,1
24	12	1966	99,74448	13,3	35,6	4,3
25	2	1988	99,75360	13,4	36,4	4,6
25	1	1987	99,76273	13,4	39,5	4,6
22	2	1968	99,77186	13,5	39,6	4,7
15	2	1987	99,78098	14,1	39,9	4,9
7	12	1974	99,79011	14,2	40,0	4,9
27	2	1987	99,79923	14,2	40,1	5,1
4	5	1969	99,80836	14,4	40,7	5,4
22	2	1966	99,81748	15,1	41,0	5,4
5	3	1968	99,82661	16,2	41,4	5,4
13	3	1969	99,83574	16,4	41,8	5,4
17	3	1970	99,84486	17,1	42,6	5,7
6	12	1974	99,85399	17,4	42,6	5,9
30	1	1982	99,86311	18,2	44,0	6,0
3	6	1986	99,87224	18,3	44,4	6,1
6	3	1968	99,88137	18,6	44,6	6,2
10	6	1961	99,89049	18,9	45,1	6,8
6	6	1986	99,89962	19,1	45,4	7,0
18	3	1970	99,90874	19,5	49,6	7,3
5	6	1986	99,91787	23,9	54,0	7,5
4	6	1986	99,92699	23,9	54,9	7,5
28	2	1987	99,93612	24,1	55,6	7,7
12	3	1981	99,94525	24,8	56,2	10,0
13	3	1981	99,95437	25,3	56,3	11,9
8	5	1969	99,96350	27,5	61,3	12,2
11	3	1981	99,97262	30,2	69,5	12,5
7	5	1969	99,98175	32,2	76,0	12,7
1	3	1987	99,99087	36,6	76,6	13,1

Wiederkehrintervall T:

	1 Jahr
	2 Jahre
	5 Jahre
	10 Jahre
	30 Jahre