

# **Erfahrungen bei der Dimensionierung und Umsetzung von Wasserhaushaltsschichten**

**Walter Lükewille**

IUP Ingenieure GmbH, Braunschweig

## **Experience in designing and building water balance liners for landfills**

### **Abstract**

At the securing of dumps and residual wastes a special significance comes besides the liner systems of mineral or geotechnical materials to the water balance layer. These layers, also have to be put in order as a building, are subject after her completion of a ground development whose course is influenced by the climatic situation, the development of the vegetation and the "revival" of the ground by microorganisms and other little living being (e.g. earthworms) decisively decisively, though. Aim is the attainment of a balance adapted nature spatially which gets close to natural ground conditions.

For the optimal interpretation of water balance layers the dimensioning recommends in the context of the planning by water balance models. Followingly experiences in the application of water balance models are demonstrated including the application limits as well as further substantial boundary conditions represented for the production, quality safeguarding and after-care to this.

### **Inhaltsangabe**

Bei der Sicherung von Deponien und Altlasten kommt neben den eigentlichen Dichtungssystemen aus mineralischen oder maschinellen Baustoffen der Wasserhaushaltsschicht eine besondere Bedeutung zu. Diese ist ebenfalls als Bauwerk einzuordnen, sie unterliegen allerdings nach ihrer Fertigstellung einer Bodenentwicklung, deren Verlauf entscheidend von der klimatischen Situation, der Entwicklung der Vegetation und der „Belebung“ des Bodens durch Mikroorganismen und Kleinlebewesen (z. B. Regenwürmer) entscheidend beeinflusst wird. Ziel ist die Erreichung eines naturräumlich angepassten Gleichgewichtes, das natürlichen Bodenverhältnissen nahe kommt.

Zur optimalen Auslegung von Wasserhaushaltsschichten empfiehlt sich im Rahmen der Planung die Dimensionierung mittels Wasserhaushaltsmodellen. Nachfolgend werden hierzu Erfahrungen in der Anwendung von Wasserhaushaltsmodellen einschließlich deren Anwendungsgrenzen demonstriert sowie weitere maßgebliche Randbedingungen für deren Herstellung, Qualitätssicherung und Nachsorge dargestellt.

### **Keywords**

Wasserhaushaltsmodelle, nutzbare Feldkapazität, „Bodenkundliche Kartieranleitung“, Niederschläge, Durchsickerung

Water balance models, utilizable field capacity, precipitation, leakage

# 1 Einführung

Die Sicherung von Deponien nach Abschluss ihres Betriebes ist in der Deponieverordnung (DepV) eindeutig geregelt. Entsprechende Regelabdichtungssysteme für die Deponieklassen I und II sind hierfür in der TA Siedlungsabfall (TASi) als mineralisches Oberflächenabdichtungssystem und als Kombinationsabdichtungssystem festgelegt, darüber hinaus wurde für zahlreiche Alternativsysteme die Gleichwertigkeit nachgewiesen (LAGA 2000).

Im Rahmen der Sicherung von Altdeponien oder Altablagerungen kann weiterhin fallbezogen das Aufbringen einer Oberflächenabdeckung als Wasserhaushaltsschicht als sinnvolle Alternative berücksichtigt werden. Diese besteht in der Regel aus einer Rekultivierungsschicht und dem sich hierauf entwickelten Bewuchs. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die langfristige Minimierung der Sickerwasserneubildung, um somit ebenfalls den Austrag von Schadstoffen aus den unterlagernden Abfällen zu minimieren. Die Rekultivierungsschicht kann diese ihr hierbei zugewiesene Aufgabe als Wasserhaushaltsschicht hinreichend erfüllen, wenn sie über eine geeignete Boden- und Vegetationsstruktur in Verbindung mit einem möglichst ausgeglichenen Wasserhaushalt, d. h. einem aufgrund der hydraulischen Bodeneigenschaften vorhandenen natürlichen Gleichgewicht zwischen Niederschlag, Wasserspeicherung, Evapotranspiration und (minimierter) Sickerwasserneubildung, verfügt. Als maßgebliches Ziel im Rahmen des Entwurfes von Wasserhaushaltsschichten ist daher neben der Verhinderung des direkten Kontaktes von Menschen, Tieren und Pflanzen mit den eingelagerten Abfällen die Maximierung der Evapotranspiration durch optimierte Speicherung des pflanzenverfügbaren Wassers im effektiven Wurzelraum zu benennen.

Um die genannten Funktionen erfüllen zu können, sind folgende generelle Anforderungen an die Eigenschaften der Wasserhaushaltsschicht zu stellen:

- Ausreichende Mächtigkeit,
- Gute Durchwurzelbarkeit
- Hohe nutzbare Feldkapazität und ausreichende Luftkapazität
- Ausreichendes Infiltrationsvermögen und Unempfindlichkeit gegenüber Verschlammungen
- Ausreichende Durchlässigkeit zur Verhinderung von Stauwasserbildung
- Standsicherheit
- Beständigkeit gegen alle Formen der Erosion  
(Wind, Wasser, innere und äußere Erosion, Suffosion, Kontakterosion)
- Stabiles Korngerüst und Bodengefüge  
(nicht sackungs- und lösungsgefährdet, kein Makroporenggefüge)
- Geringes Lösungs- und Austragspotenzial von Stoffen

- Ausreichende pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte, günstige Bodenreaktion und Pufferung

Die Wasserbilanz einer Wasserhaushaltsschicht lässt sich hierbei wie folgt beschreiben:

$$N = A + ETP + S + dB$$

mit:

- N: Niederschlag,
- A: Abfluss an der Oberfläche,
- ETP: Evapotranspiration,
- S: Durchsickerung der Abdeckung,
- dB: Änderung der Bodenwasserspeicherung

Zur Optimierung des Wasserhaushaltes einer Wasserhaushaltsschicht stehen hierfür speziell entwickelte numerische Simulationsmodelle zur Verfügung. Maßgeblich zu benennen sind hierbei die Programmsysteme HELP (Hydrologic Evaluation Landfill Performance) und BOWAHALD (Bodenwasserhaushalt von Halden).

## 2 Erfahrungen in der Anwendung des Modells HELP

Erste Aufmerksamkeit erregte das HELP-Modell ca. 1990 durch Veröffentlichungen in der Fachpresse (MARKWARDT 1990). Die zum damaligen Zeitpunkt angewendete Version 1 wurde hierbei zunächst im Rahmen von Gefährdungsabschätzungen zur Darstellung der Wasserhaushaltssituation in Altablagerungen eingesetzt. Dabei wurde eine vollständige Wasserbilanz von der Oberfläche bis zur Basis der Altablagerung, das heißt unter Einbezug der abgelagerten Abfälle, berechnet. Die Problematik der Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch Abbauprozesse innerhalb des Abfalls sowie möglicher seitlicher Wasserzufluss bei Grubenablagerungen konnten hierbei nicht berücksichtigt werden, so dass die berechneten Wasserbilanzen oftmals nur Annäherungen darstellen konnten.

In der Zeit von 1992 bis 1994 wurde das HELP-Modell erstmals im Rahmen der Vorplanung von Abfalldéponien in Parameterstudien zur Optimierung der abschließend aufzubringenden Oberflächenabdichtung eingesetzt. Die Berechnungen beschränkten sich nunmehr auf die Elemente der geplanten Oberflächenabdichtung, eine Berücksichtigung des einzulagernden Abfalls oder der Basisabdichtung erfolgte nicht mehr. Ziel dieser Berechnungen war, eine hydraulische Gleichwertigkeit von mineralischen Abdichtungen zu Kombinationsabdichtungen nach TA Siedlungsabfall zu belegen und diese zur genehmigungsrechtlichen Akzeptanz zu führen. Möglichkeiten der Austrocknung mineralischer Dichtungsschichten wurden zum damaligen Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt.

Die in der Zwischenzeit auch in Deutschland bekannt gewordene Version 2 des HELP-Modells wurde nicht verwendet, da die hierin verwendeten Wettergeneratoren nicht übertragbar waren. Vielmehr wurden auf Basis von (MARKWARDT, 1990) in der Version 1 die Faktoren zur Berechnung der Evapotranspiration angepasst. Als Klimadaten dienten in der Regel standortnahe Wetteraufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes. Die für die Berechnung erforderlichen bodenkundlichen Parameter lagen meist nicht vor, es wurde daher auf Vorgaben des HELP-Modells zurückgegriffen.

Seit 1995 wurde das HELP-Modell zunehmend im Rahmen der Abschlussplanung von Altdeponien eingesetzt, um hier standortgerechte Lösungen entwickeln zu können. Wesentlicher Punkt wurde hierbei die Berechnung des Ist-Zustandes der Altdeponien, auf denen sich zum Teil bereits eine intensive Begrünung eingestellt hatte. Zur optimaleren Erfassung der erforderlichen bodenkundlichen Parameter wurde nicht mehr allein auf Vorgaben des HELP-Modells zurückgegriffen, sondern im Vorfeld der Berechnungen intensive Bewuchskartierungen sowie Beprobungen durch Bohrstockkartierungen oder Schürfe durchgeführt. Aus den hieraus gewonnenen Ergebnissen wurden z. B. mit Hilfe der bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN, 1994) die standorttypischen Parameter Schichtdicke, Nutzbare Feldkapazität und Durchlässigkeit der vorhandenen Abdeckungen abgeleitet. Im Rahmen der nachfolgenden Berechnungen konnte somit der Ist-Zustand der jeweiligen Altdeponie im Vergleich zu möglichen geplanten Abdeckungs- bzw. Abdichtungssystemen bewertet werden. Bei zahlreichen Altdeponien wurde hierbei in Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden eine standortgerechte Sonderlösung erarbeitet und zur Genehmigungsreife geführt.

Seit 1996 wird das HELP-Modell in der Version 3 angewendet. Grund hierfür waren die optimierten Berechnungsverfahren sowie die benutzerfreundlichere und somit sicherere Anwendung. Zeitgleich begannen intensive Fachdiskussionen zur Anwendung des HELP-Modells in der UAG 7 des AK 6.1 der DGGT. Ergebnisse der Arbeitsgruppe, insbesondere zur Validierung und Anpassung des HELP-Modells für deutsche Verhältnisse (BERGER 1998), wurden in die laufende Arbeit unmittelbar berücksichtigt.

Die Erfahrungen in der Anwendung des HELP-Modells flossen in die GDA-Empfehlung E-2-30 „Modellierung des Wasserhaushaltes der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien“ ein, die im Herbst 1998 als Entwurf in der Bautechnik und 1999 in ihrer abschließenden Ausführung veröffentlicht wurden (GDA 1999).

### 3 Durchführung von Berechnungen

#### 3.1 Zur Verfügung stehende Klimadaten

Nach den Anforderungen der Deponieverordnung und den nachgeschalteten Regelwerken betriebene Deponien verfügen in der Regel über Wetteraufzeichnungen am Standort. Bei den nunmehr zu schließenden Altdeponien ist dieses nur sehr selten der Fall.

Als Alternative sind hier öffentliche Wetterstationen z. B. des Deutschen Wetterdienstes bzw. der Fa. Meteomedia (Kachelmann) zu nennen, die flächendeckend im gesamten Bundesgebiet an exponierten Standorten aufgestellt wurden.

Wetterdaten können hierbei in der Regel als Ascii-Dateien im für das Programmsystem HELP lesbaren Format rr90 bestellt werden.

#### 3.2 Einfluss des Umfangs der Klimadaten

Das Programmsystem HELP kann Klimadaten aus einer Zeitreihe von bis zu 30 Jahren berücksichtigen.

Nachfolgend werden für einen Standort in der Nähe von Berlin die Auswirkungen unterschiedlich langer Zeitreihen auf den Parameter Niederschlag und das Berechnungsergebnis der Durchsickerung dargestellt. Als Oberflächenabdeckungssystem wurde eine Wasserhaushaltsschicht mit mittlerer nutzbarer Feldkapazität berücksichtigt, die Berechnungen erfolgten jeweils für einen Zeitraum von 5, 10, 15, 20, 25 und 30 Jahren.

**Tabelle 1** Berechnungsergebnisse in Abhängigkeit des Umfangs der Klimadaten

Jahre	Niederschlag					Durchsickerung					dB
	Mittlw.	Standartabw.		Min	Max	Mittlw.	Standartabw.		Min	Max	
	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]	[mm]
<b>5</b>	494	104	21,05%	382	663	121	85	70,25%	66	272	0,03
<b>10</b>	509	100	19,65%	331	663	135	65	48,15%	66	272	0,06
<b>15</b>	496	98	19,76%	331	663	130	65	50,00%	66	272	0,06
<b>20</b>	501	99	19,76%	331	663	135	62	45,93%	66	272	0,10
<b>15</b>	514	101	19,65%	382	727	144	69	47,92%	66	332	0,06
<b>30</b>	510	100	19,61%	382	727	139	65	46,76%	66	332	0,07

Bei einer Zeitreihe von 5 Jahren liegen die Standardabweichungen des berechneten mittleren Niederschlages noch bei ca. 21 % und für die Durchsickerung bei über 70 %. Bereits die Berücksichtigung einer Datenreihe von 10 Jahren führt insbesondere bei der Durchsickerung zu deutlich niedrigeren Standardabweichungen. Die Berücksichtigung weiterer Datenreihen führt allerdings zu keinen nennenswerten Verbesserungen. Die Verwendung einer klimatischen Datenreihe von maximal 10 Jahren erscheint daher als ausreichend zur Ermittlung repräsentativer Berechnungsergebnisse.

Zu berücksichtigen ist allerdings auch die mögliche unterschiedliche Entwicklung einzelner klimatischer Parameter innerhalb der Jahre des Betrachtungszeitraumes.

Tabelle 2 stellt die Korrelation der Monatssummen des Niederschlages über einen Zeitraum von 10 Jahren den mittleren Monatssummen des Betrachtungszeitraumes und des vom DWD herausgegebenen langjährigen Mittelwertes über 30 Jahre gegenüber.

Tabelle 3 bezieht sich auf die jeweiligen Monatsmittel der Temperatur.

Bei den Niederschlägen ergeben sich im Gegensatz zu den Temperaturen zunächst sehr geringe Korrelationen der einzelnen Monatssummen zum Mittelwert des Betrachtungszeitraumes.

Der Mittelwert über den Betrachtungszeitraum von 10 Jahren zeigt allerdings sehr gute Übereinstimmungen mit den offiziellen langjährigen Mittelwerten des DWD.

Die Ergebnisse belegen wiederum, dass eine klimatische Zeitreihe von 10 Jahren als ausreichend repräsentativ für die Wasserhaushaltsberechnungen zu bewerten ist.

**Tabelle 2** Korrelationen der Monatssummen des Niederschlages

Monat/ Jahr	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Mittel 1992 - 2001	DWD 1961 - 1990
Jan	32	49	40	6	18	30	28	30	34	19	29	33
Feb	15	19	46	21	41	3	36	41	32	50	30	31
Mär	19	70	36	7	28	37	43	55	67	24	39	38
Apr	11	64	31	21	18	56	22	28	33	30	31	40
Mai	85	100	38	69	42	27	43	41	27	63	53	47
Jun	57	24	73	23	25	60	67	34	56	82	50	62
Jul	68	28	40	78	81	38	17	26	95	94	56	48
Aug	42	90	21	57	29	36	59	60	36	102	53	51
Sep	50	67	77	38	10	49	30	32	60	14	43	36
Okt	17	33	10	48	27	91	13	34	29	58	36	29
Nov	23	25	28	53	28	33	24	23	22	92	35	38
Dez	73	36	26	22	82	20	45	35	60	66	47	41
Jahres- summe	491	605	464	443	428	480	428	438	552	694	502	494
Abw. 1 [%]	-2,28	20,48	-7,61	-11,85	-14,72	-4,49	-14,84	-12,83	9,91	38,22	0,00	-1,67
Abw. 2 [%]	-0,65	22,49	-6,07	-10,38	-13,30	-2,89	-13,42	-11,38	11,74	40,53	1,67	0,00
Korrel. 1	0,83	0,29	0,13	0,66	0,50	0,00	0,44	0,24	0,51	0,62	1,00	0,77
Korrel. 2	0,58	0,15	0,32	0,29	0,19	0,04	0,69	0,15	0,33	0,58	0,77	1,00

Abw. 1: Abweichung der jeweiligen Jahressumme vom Mittel 1992 - 2001 (Mittel des Betrachtungszeitraumes)

Abw. 2: Abweichung der jeweiligen Jahressumme vom Mittel 1961 - 1990 (langjähriges Mittel des DWD)

Korrel. 1: Korrelation des jeweiligen Jahresverlaufes zum Mittel 1992 - 2001 (Mittel des Betrachtungszeitraumes)

Korrel. 2: Korrelation des jeweiligen Jahresverlaufes zum Mittel 1961 - 1990 (langjähriges Mittel des DWD)

**Tabelle 3** Korrelationen der Monatsmittel der Temperatur

Monat/ Jahr	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	Mittel 1993 - 2002	DWD 1961 - 1990
Jan	2,7	3,7	0,9	-4,0	-2,8	3,2	3,3	1,6	0,9	2,1	1,2	-0,4
Feb	0,0	-0,7	5,2	-2,7	4,5	5,7	1,1	4,5	2,1	5,5	2,5	0,5
Mär	4,2	6,4	3,7	1,0	5,5	5,3	5,7	5,8	3,5	5,5	4,7	3,9
Apr	11,4	9,4	9,1	9,5	6,7	10,0	9,9	11,2	8,0	8,1	9,3	8,0
Mai	15,7	13,5	12,6	11,7	13,4	15,0	14,4	15,5	14,8	14,9	14,2	13,0
Jun	15,8	16,3	15,0	15,6	17,1	17,2	15,9	17,4	14,6	17,1	16,2	16,2
Jul	16,7	22,5	20,9	16,0	18,1	16,8	20,1	16,2	19,3	18,2	18,5	17,5
Aug	16,0	18,5	19,2	18,0	21,0	17,1	17,6	18,1	19,3	20,2	18,5	17,3
Sep	12,5	13,7	13,7	11,1	14,0	14,0	17,7	14,2	12,8	14,1	13,8	13,8
Okt	8,4	7,6	12,2	9,3	8,1	8,6	9,7	11,6	12,6	8,3	9,6	9,5
Nov	0,1	7,2	3,4	4,8	3,7	1,6	4,1	6,4	4,8	4,7	4,1	4,5
Dez	3,3	3,9	-2,1	-2,9	2,1	1,2	3,0	3,2	0,1	-1,8	1,0	1,2
Jahres- mittel	8,9	10,2	9,5	7,3	9,3	9,6	10,2	10,5	9,4	9,7	9,5	8,8
Abw. 1 [%]	-5,90	7,49	0,26	-23,00	-1,85	1,94	7,93	10,75	-0,62	3,00	0,00	-8,10
Abw. 2 [%]	1,71	16,19	8,38	-16,76	6,10	10,19	16,67	19,71	7,43	11,33	8,10	0,00
Korrel. 1	0,95	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00	0,99
Korrel. 2	0,94	0,95	0,95	0,98	0,97	0,95	0,98	0,99	0,98	0,96	0,99	1,00

Abw. 1: Abweichung des jeweiligen Jahresmittel vom Mittel 1992 - 2001 (Mittel des Betrachtungszeitraumes)

Abw. 2: Abweichung des jeweiligen Jahresmittel vom Mittel 1961 - 1990 (langjähriges Mittel des DWD)

Korrel. 1: Korrelation des jeweiligen Jahresverlaufes zum Mittel 1992 - 2001 (Mittel des Betrachtungszeitraumes)

Korrel. 2: Korrelation des jeweiligen Jahresverlaufes zum Mittel 1961 - 1990 (langjähriges Mittel des DWD)



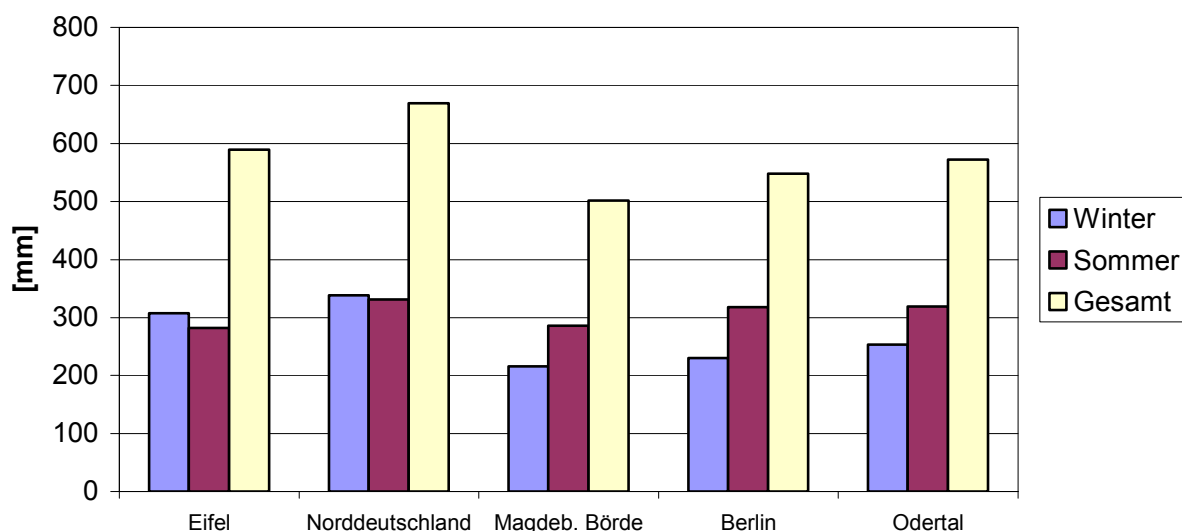
### 3.3 Regionale und vegetationskundliche Einflüsse

Für die nachfolgend beschriebenen Wasserhaushaltsberechnungen werden zwei Wasserhaushaltsschichten mit einer Mächtigkeit von jeweils 1 m und einfachem Grasbewuchs zu Grunde gelegt. Unterschiede ergeben sich aus der gewählten Bodenart (Lehmboden mit hoher nutzbarer Feldkapazität, Sandboden mit niedriger nutzbarer Feldkapazität). Maßgeblich für die klimatischen Einflüsse innerhalb der Bundesrepublik Deutschland ist die Höhe und jährliche Verteilung des Niederschlages: Folgende Standorte wurden berücksichtigt:

- Eifel: 589 mm Niederschlag im Mittel (1987 bis 2006)
- Norddeutschland: 669 mm Niederschlag im Mittel (1986 bis 2005)
- Magdeburger Börde: 502 mm Niederschlag im Mittel (1993 bis 2002)
- Großraum Berlin: 546 mm Niederschlag im Mittel (1992 bis 2001)
- Oderbruch: 560 mm Niederschlag im Mittel (1992 bis 2001)

Mit Ausnahme des norddeutschen Standortes liegen alle gewählten Standorte mit durchschnittlich weniger als 600 mm Jahresniederschlag deutlich unter dem bundesweiten durchschnittlichen Jahresniederschlag von ca. 650 mm und sind daher zunächst als trockenere Standorte einzuordnen, auf denen die Aufbringung einer Wasserhaushaltsschicht als Oberflächenabdeckung günstig zu beurteilen wäre.

Die jahreszeitliche zeitliche Differenzierung der Niederschlagsverteilung ist in Bild 5 dargestellt. Deutlich wird hierbei, dass auf den Standorten mit deutlich höheren Jahresniederschlagssummen diese sich maßgeblich auf das Winterhalbjahr verteilen.



**Abbildung 1** Jahreszeitliche Aufteilung der Niederschläge

Die jährlichen Wasserbilanzen der einzelnen betrachteten Standorte sind in der Anlage de-tailliert dargestellt und in Tabelle 4 als jeweils mittlere Wasserbilanz über den gewählten Betrachtungszeitraum von 10 Jahren dargestellt.

**Tabelle 4** Ergebnisse der Wasserhaushaltsberechnungen (10-jährige Zeitreihe)

<b>Standort</b>	<b>Boden</b>	<b>N</b> [mm]	<b>A</b> [mm]	<b>ETP</b> [mm]	<b>D</b> [mm]	<b>W</b> [%]	<b>dB</b> [mm]
<b>Eifel</b>	Lehm	589	6	475	108	17	0
	Sand	589	1	362	226	38	0
<b>Norddeutschland</b>	Lehm	669	8	529	140	20	-2
	Sand	669	1	447	223	33	-2
<b>Magdeburger Börde</b>	Lehm	502	2	496	4	1	1
	Sand	502	0	429	71	14	2
<b>Großraum Berlin</b>	Lehm	546	7	498	39	7	2
	Sand	546	1	403	142	26	0
<b>Oderbruch</b>	Lehm	560	11	475	81	14	-2
	Sand	560	1	372	187	33	0

N: Niederschlag

A: Oberflächenabfluss

ETP: Evapotranspiration

D: Durchlässigkeit

W: Hydraulischer Wirkungsgrad

dB: Änderung des Bodenwasserspeichers

In allen berechneten Einzelvarianten ergeben sich über den Betrachtungszeitraum Differenzen in gespeichertem Bodenwasser von maximal 2 mm, die berechneten Wasserbilanzen können daher als ausgeglichen bewertet werden.

Bei einer Wasserhaushaltsschicht mit hoher nutzbarer Feldkapazität ist lediglich auf dem im bundesdeutschen Vergleich sehr günstigen Standort in der Magdeburger Börde eine nahezu vollständige Speicherung des auftreffenden Niederschlages in der Wasserhaushaltsschicht und die damit verbundene nahezu vollständige Vermeidung von Sickerwasser erreichbar. In lediglich zwei Jahren innerhalb des Betrachtungszeitraumes kommt es zu Durchsickerungen. Ca. 40 mm mehr Jahresniederschlag im Großraum Berlin führen bereits zu einer Erhöhung der Durchsickerung um ebenfalls ca. 40 mm. In der Betrachtung der Wasserhaushaltsbilanzen der einzelnen Jahre ergeben sich hier bereits einzelne Abschnitte (1995 und 1996) mit einer jährlichen Durchsickerung von mehr als 100 mm, dies ist im wesentlichen begründet in insgesamt hohen Jahresnie-

derschlägen im Jahr 1995 und einzelnen Starkregenereignissen im Mai 1996. Dieser Trend setzt sich am Standort Odertal fort. An den Standorten Eifel und Norddeutschland wurden im Mittel deutlich über 100 m Durchsickerung berechnet. Einzeljahre liegen hierbei über 200mm. Grundsätzlich kann der auftreffende Niederschlag in einer 1-m mächtigen Wasserhaushaltsschicht trotz hoher nutzbarer Feldkapazität des gewählten Bodenmaterials der Wasserhaushaltsschicht nicht mehr vollständig gespeichert werden. Den Einfluss einer Erhöhung der Schichtstärke und ggf. hiermit verbundenen Intensivierung der Vegetation verdeutlicht Tabelle 5.

**Tabelle 5** Ergebnisse der optimierten Wasserhaushaltsberechnungen (10-jährige Zeitreihe)

Standort	Boden	N [mm]	A [mm]	ETP [mm]	D [mm]	W [%]	dB [mm]
<b>Nord- deutschland</b>	Lehm, 1,0 m, Gras	669	8	529	140	20	-2
	Lehm, 1,5 m Gras	669	8	529	140	20	-2
	Lehm, 1,5 m Busch	669	7	568	103	15	-4

Verbesserungen sind hier erst durch Intensivierung der Vegetation zu erwarten.

Auf allen betrachteten Standorten stellt sich die Wasserhaushaltsschicht mit einer niedrigen nutzbaren Feldkapazität erwartungsgemäß als das System mit den vergleichbar deutlich schlechteren Wasserhaushaltseigenschaften heraus. Eine mittlere Restdurchsickerung von unter 100 mm wird nur auf dem Standort in der Magdeburger Börde mit 71 mm erreicht. Aufgrund der günstigen klimatischen Verhältnisse liegt dieser Wert allerdings sogar noch unterhalb der Durchsickerung einer Wasserhaushaltsschicht mit hoher nutzbarer Feldkapazität im Oderbruch. Bereits geringfügig höhere jährliche Niederschlagssummen von ca. 40 mm im Großraum Berlin führen bereits zu einem mehr als doppelt so hohen Sickerwasseranfall. Selbst im Sommerhalbjahr kann somit das auftreffende Niederschlagswasser schon nicht mehr vollständig gespeichert werden und der Vegetation zur Verfügung gestellt werden. Die maximalen Durchsickerungsraten ergeben sich in der Eifel und in Norddeutschland. Trotz einer Differenz in der jährlichen Niederschlagshöhe von ca. 80 mm liegt die Durchsickerung mit 223 bzw. 226 mm auf nahezu gleichem Niveau. Begründet ist dieses in der maßgeblichen Verteilung der Mehrmengen an Niederschlag auf die vegetationsintensiven Sommermonate.

### 3.4 Einfluss der bodenkundlichen Kennwerte

Als bodenkundliche Eingangsparameter werden vom Programmsystem HELP folgende Daten benötigt:

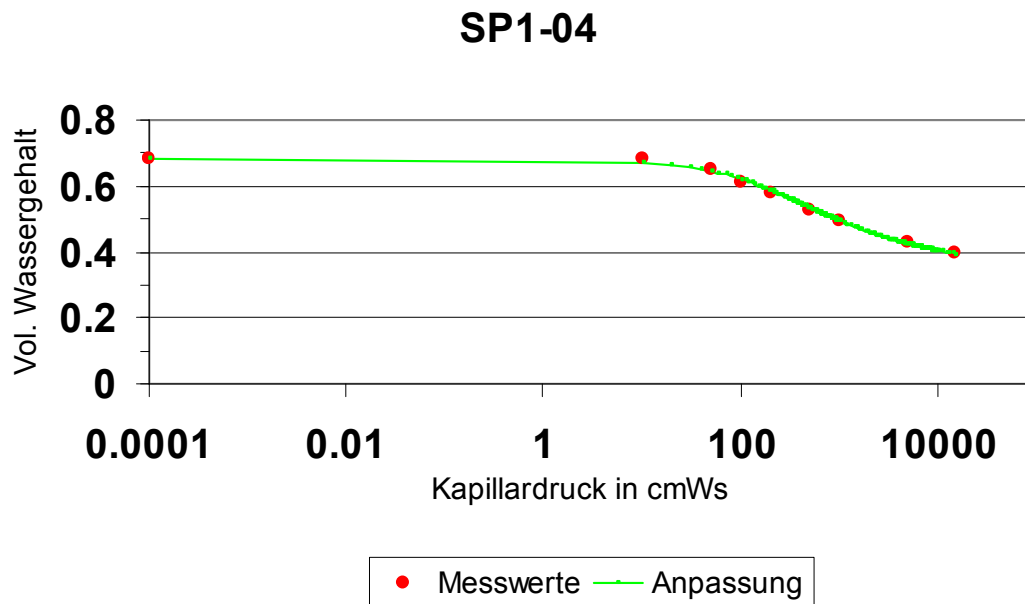
- Porenvolumen in Vol.-%,
- Feldkapazität in Vol.-%,
- permanenter Welkepunkt in Vol.-%,
- K-Wert in cm/s.

Das Porenvolumen stellt den maximalen Anteil des Bodens dar, der infiltrierendes Wasser aufnehmen kann. Bei vollständiger Wassersättigung wird weiteres Wasser an der Oberfläche abgeführt. Die Feldkapazität beschreibt den Wassergehalt eines Bodens bei einer Wasserspannung im Boden von ca. 101,8 cm Wassersäule (pF 1,8) bis ca. 102,5 cm Wassersäule (pF 2,5). Wassergehalte oberhalb der Feldkapazität durchsickern den Boden infolge der auf sie wirkenden Gravitationskraft und stehen dem Bewuchs nicht zur Verfügung. Der permanente Welkepunkt beschreibt den Wassergehalt eines Bodens bei einer Wasserspannung im Boden von ca. 104,2 cm Wassersäule (pF 4,2). Gespeichertes Bodenwasser unterhalb dieser Wasserspannung kann von Pflanzen nicht mehr dem Boden entzogen werden (sog. Totwasser). Von besonderer Bedeutung für den Wasserhaushalt einer Abdeckungsschicht ist folglich die Wassermenge, die im Boden innerhalb der Wasserspannungen der Feldkapazität und des permanenten Welkepunktes gespeichert wird. Dieses Wasser kann von Pflanzen aufgenommen werden und wird als **nutzbare Feldkapazität** bezeichnet. Der K-Wert beschreibt die Durchlässigkeit des Bodens und stellt somit ein Maß für die Geschwindigkeit der Aufnahme von Niederschlagswasser und der Abgabe von Sickerwasser dar.

Zur Festlegung der bodenkundlichen Parameter für die Wasserhaushaltsberechnung werden vom Programmsystem HELP Vorschläge für standardisierte Bodenarten zur Verfügung gestellt. Die Einbeziehung der Situation vor Ort z. B. bei Berechnungen des Wasserhaushaltes einer bestehenden Oberflächenabdeckung oder bei Bewertung von für die Abdeckung vorgesehenen Böden kann über einfache Feldversuche in Form von Korngrößenverteilungen unter Berücksichtigung der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 1994) sowie der GDA-Empfehlungen E 2-30 erfolgen. Bei Abdeckungsschichten, die nicht mit standardisierten bodenkundlichen Parametern beschrieben werden können, z. B. Schlammablagerungen ergibt sich zusätzlich die Feststellung der tatsächlichen pF-Kurve über entsprechende bodenkundliche Versuche.

Nachfolgend werden Vergleichsrechnungen für den Standort Magdeburger Börde an einer Abdeckschicht aus Kalkschlamm und aus schluffigem Boden unter Annahme unterschiedlicher bodenkundlicher Parameter dargestellt. Für das betrachtete Abdeckmaterial wurden zum einen die erforderlichen bodenkundlichen Eigenschaften auf Basis

ermittelter Kornverteilungen und abschließender Ableitung über standardisierte Parameter aus der Literatur und zum anderen die im Laborversuch tatsächlich ermittelten Daten verwendet (vgl. Bild 2).



**Abbildung 2** Beispiel einer pf-Kurve an Kalkschlämmen

Die den Vergleichsrechnungen zugrunde gelegten Daten werden in Tabelle 6 gegenübergestellt.

**Tabelle 6** Bodenkundliche Vergleichsdaten

	Datensatz 1	Datensatz 2	Datensatz 3	Datensatz 4
<b>Art der Abdeckung</b>	Kalkschlamm		Boden	
<b>Korngrößenverteilung</b>	2 % Ton, 98 % Schluff		65 % Schluff, 35 % Sand	
<b>Ableitung</b>	Nach AG Boden (1994)	Bestimmung im Labor (vgl. Bild 7)	Nach AG Boden (1994)	Bestimmung im Labor
<b>Ermittelte Bodenart</b>	reiner Schluff (Uu)	-	sandiger Schluff (Us)	-
<b>Porenvolumen</b>	44,00 Vol-%	68,00 Vol.-%,	44,50 Vol-%	46,00 Vol.-%,
<b>Feldkapazität (pF 2,5)</b>	36,5 Vol-%	46,70 Vol.-%,	32,00 Vol-%	37,20 Vol.-%,
<b>Perm. Welkep. (pF 4,2)</b>	11,0 Vol-%	39,30 Vol.-%,	12,0 Vol-%	18,70 Vol.-%,
<b>Durchlässigkeit</b>	$1,50 \cdot 10^{-4}$ cm/s	$2,42 \cdot 10^{-5}$ cm/s	$1,85 \cdot 10^{-4}$ cm/s	$4,3 \cdot 10^{-4}$ cm/s

Die abgeleiteten Bodenparameter weisen demnach für den Kalkschlamm gegenüber den Laborwerten zum einen eine um eine Zehnerpotenz höhere Durchlässigkeit und

eine ca. dreifache nutzbare Feldkapazität auf. Für den schluffigen Boden zeigen sich gute Übereinstimmungen.

Tabelle 7 stellt die hieraus berechneten Wasserhaushaltsgrößen gegenüber.

**Tabelle 7** Ergebnisse der bodenkundlich optimierten Wasserhaushaltsberechnungen (10-jährige Zeitreihe)

Standort	Boden	N [mm]	A [mm]	ETP [mm]	D [mm]	W [%]	dB [mm]
<b>Magdeburger Börde</b>	Kalkschlamm AG Boden, 1,0 m, Gras	502	2	458	40	8	0
	Kalkschlamm Laborwerte, 1,0 m, Gras	502	10	409	84	17	1
	Boden AG Boden, 1,0 m, Gras	502	2	483	16	3	1
	Boden Laborwerte, 1,0 m, Gras	502	2	480	19	4	1

Die Ergebnisse belegen wiederum eine ausgeglichene Wasserbilanz über den gewählten Betrachtungszeitraum.

Die im Laborversuch festgestellten deutlich schlechteren bodenkundlichen Eigenschaften für den Kalkschlamm führen erwartungsgemäß zu einer höheren Durchsickerung der betrachteten Abdeckschicht. Auf Basis standardisierter Werte aus der Literatur führen Wasserhaushaltsberechnungen somit zu einem deutlich zu positiven Berechnungsergebnis für die Durchsickerung.

Die vergleichenden Berechnungen für einen schluffigen Boden belegen vergleichsweise gute Übereinstimmungen. Hier führt die Ableitung bodenkundlicher Eigenschaften aus der Literatur auf der Basis einfacher Feldversuche zu einem realistischeren Berechnungsergebnis.

## **4 Empfehlungen für die Umsetzung in der Planung**

### **4.1 Festlegung von Schichtmächtigkeiten**

Die Festlegung der Schichtmächtigkeit hängt maßgeblich von der langfristig erwarteten Vegetation ab.

Untersuchungen an mitteleuropäischen Grünlandpflanzen ergaben, dass viele Arten, die auch auf Deponien vorkommen und oberirdisch wenig Biomasse aufweisen, umfangreiche und tief reichende Wurzelsysteme bis ca. 2 m unter GOK ausbilden können (KUTSCHERA 1992). Gleiches gilt für die meisten strauchartigen Gehölze (vgl. hierzu auch GDA Empfehlung 2-31).

Altdeponien und Altablagerungen wurden in der Vergangenheit häufig zur Vermeidung von Verwehungen und zur Vorprofilierung bereits mit Boden überdeckt. Diese Abdeckungen sollten zur Wahrung einer wirtschaftlichen Sicherung der Standorte in das qualifizierte Oberflächenabdeckungssystem durch Wasserhaushaltsschicht einbezogen werden. Eine qualitative Bestimmung des Wasserspeichervermögens zur Einbeziehung in Wasserhaushaltsberechnungen ist hierbei durch einfache Feldversuche (siehe Kapitel 3) möglich.

Die neu aufzubringende abschließende Rekultivierungsschicht kann daher in den meisten Fällen mit maximal 1 m ausgelegt werden.

### **4.2 Festlegung von Bodenarten**

Als maßgebliches Kriterium der Auswahl von Böden für eine Wasserhaushaltsschicht ergibt sich im Ergebnis der Wasserhaushaltsberechnungen somit die (möglichst hohe) nutzbare Feldkapazität.

In entsprechenden Ausschreibungen werden hierzu teilweise Mindestwerte von 300 mm festgelegt. Dieses würde bei einer 1 m mächtigen Wasserhaushaltsschicht ein Porenvolumen zwischen Feldkapazität und Permanentem Welkepunkt von 30 Vol.-% bedeuten, bei einer 1,5 m mächtigen Schicht wären noch 20 Vol.-%, bei einer 2,0 m mächtigen Schicht 15 Vol.-% zu erreichen.

Tabelle 8 stellt Böden mit entsprechenden Eigenschaften und deren Kornverteilung zusammen.

**Tabelle 8** Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität (mittlere Verdichtung, nach AG Boden)

<b>NFK [%]</b>	<b>Bodenart</b>	<b>Ton [%]</b>	<b>Schluff [%]</b>	<b>Sand [%]</b>
<b>30</b>	-			
<b>26</b>	Reiner Schluff (Uu)	0 – 8	80 – 100	0 - 20
<b>25,5</b>	Sandiger Schluff (Us)	0 – 8	50 – 80	12 - 50
<b>25</b>	Schwach toniger Schluff (Ut2)	8 – 12	65 – 92	0 – 27
<b>23,5</b>	Mittel toniger Schluff (Ut3)	12 – 17	65 – 88	0 - 23
<b>22</b>	Stark schluffiger Sand (Su4)	0 – 8	40 – 50	42 - 60
<b>21</b>	Schluffig lehmiger Sand (Slu)	8 – 17	40 – 50	33 - 52
<b>18</b>	Mittel lehmiger Sand (Sl3)	8 – 12	10 – 40	48 - 82
<b>17</b>	Stark lehmiger Sand (Sl4)	12 – 17	10 – 40	43 - 78
<b>17</b>	Schluffiger Lehm (Lu)	17 – 30	50 – 65	5 - 33
<b>16</b>	Stark sandiger Lehm (Ls4)	17 – 25	15 – 30	45 – 68
<b>15</b>	Mittel sandiger Lehm (Ls3)	17 – 25	30 – 40	35 - 53
<b>14</b>	Mittel toniger Lehm (Lt3)	35 – 45	30 – 50	5 - 35

Die Höhe der nutzbaren Feldkapazität zeigt eindeutige Zusammenhänge mit den jeweiligen Hauptkornfraktionen. Werte über 20 Vol-% ergeben sich nur bei hohen Schluffanteilen.

Schluffreiche Böden sind im Land Sachsen-Anhalt flächendeckend verfügbar. Schluffanteile von mehr als 40 % führen allerdings im Rahmen des Einbaus häufig zu unerwünschten Verdichtungen im Bereich der Fahrspuren und erfüllen bei steileren Neigungen oftmals nicht die Anforderungen an die Standfestigkeit des Oberflächenabdichtungssystems.

Empfohlen werden können daher eher die lehmigen Sande, die mit nutzbaren Feldkapazitäten von ca. 18 % noch ein ausreichendes Wasserspeichervermögen aufweisen und vergleichbar unproblematisch eingebaut werden können.

### 4.3 Qualitätssicherung

Die Funktionalität einer Wasserhaushaltsschicht setzt einen hohen Anspruch an die Einhaltung der gemäß Planung ermittelten und in der Ausschreibung geforderten Einbauparameter voraus. Der Einbau ist daher durch einen unabhängigen Fremdprüfer zu überwachen.



Das durch die Bauausführung vorgesehene Material ist zunächst im Vorfeld auf seine Eignung zu prüfen. Die vollständige Prüfung des Materials vor Ausbau aus der entsprechenden Lagerstätte ist nur bedingt geeignet, da durch die Aufnahme des Materials massive Eingriffe in das Gefüge des Bodens vorgenommen werden, die bei Wiedereinbau auf der Deponie nicht unbedingt wieder hergestellt werden können.

Die Eignungsprüfung sollte daher an einem Prüffeld an eingebautem Material erfolgen. Hierbei sollten neben der Bestimmung der Bodenart und Kornfraktion auch direkte laborative Untersuchungen des Porenvolumens, der Feldkapazität und des permanenten Welkepunktes sowie der Durchlässigkeit erfolgen. Aufgrund der Dauer der Versuche sind die Feldprüfungen mit einer Vorlaufzeit von mindestens vier Wochen vor geplanter Aufbringung der Wasserhaushaltsschicht abzuschließen. Sollten zwischenzeitlich Profilierungsarbeiten durchgeführt werden, ist das Probefeld außerhalb des Sanierungsbereiches aufzubauen oder im Rahmen der Profilierung rückzubauen. Materialien unterschiedlicher Herkunft sind gesondert zu prüfen.

Im Rahmen der Herstellung der Wasserhaushaltsschicht sollte sich die Prüfung maßgeblich auf aus den Ergebnissen des Versuchsfeldes abgeleitete zeitnah umzusetzende bodenmechanische Versuche beschränken.

Es wird folgender Prüfumfang empfohlen:

Versuchsfeld:	Porenvolumen, Feldkapazität, permanenter Welkepunkt:	mind. 2 x
(je Material)	Lagerungsdichte:	mind. 2 x
	Korngefüge:	mind. 4 x
	Sauberkeit (keine Fremdstoffe)	visuell
	Scherfestigkeit	
	Humusgehalt	
Einbau	Porenvolumen, Feldkapazität, permanenter Welkepunkt:	je 5.000 m <sup>2</sup>
	Lagerungsdichte:	je 5.000 m <sup>2</sup>
	Korngefüge:	je 1.000 m <sup>2</sup>
	Sauberkeit (keine Fremdstoffe):	visuell
	Scherfestigkeit:	je 1.000 m <sup>2</sup>
	Humusgehalt:	je 1.000 m <sup>2</sup>
	Schichtdicke:	30 m x 30 m

#### 4.4 Langzeitüberwachung

Die zu errichtende Wasserhaushaltsschicht mit ihren technischen Nebeneinrichtungen (Entwässerung, Umfahrung, Einzäunung) ist analog eines Oberflächenabdichtungssys-

tems gemäß TA Siedlungsabfall ein Bauwerk, dessen Funktionstüchtigkeit im Rahmen einer Nachsorgephase zu dokumentieren und ggf. bei Beschädigung wieder herzustellen ist.

Zu überprüfen sind insbesondere:

- Zustand der Wasserhaushaltsschicht  
Beschädigungen an Oberfläche und Vegetation durch Tiere oder Erosion sind in Abhängigkeit des Fortschrittes der Sukzession auszubessern.
- Zustand des Entwässerungssystems  
Das Entwässerungssystem ist von darin wurzelnden Pflanzen zu befreien. Erosionserscheinungen sind zu beseitigen.
- Grundwasserbeschaffenheit  
Bei der Sicherung von Altdeponien durch Wasserhaushaltsschichten ist im Gegensatz zu einer Oberflächenabdichtung zumindest temporär von Durchsickerung in die abgelagerten Abfälle auszugehen, dass zum einen im Rahmen mikrobieller Prozesse im Abfallkörper verbraucht wird, zum anderen allerdings als Sickerwasser in den Untergrund gelangt.

Wasserhaushaltsschichten stellen zwar ein Bauwerk dar, sie unterliegen allerdings nach ihrer Fertigstellung einer Bodenentwicklung, deren Verlauf entscheidend von der klimatischen Situation, der Entwicklung der Vegetation und der „Belebung“ des Bodens durch Mikroorganismen und Kleinlebewesen (z. B. Regenwürmer) entscheidend beeinflusst wird. Ziel ist die Erreichung eines naturräumlich angepassten Gleichgewichtes, das natürlichen Bodenverhältnissen nahe kommt und keiner maßgeblichen Nachsorge mehr bedarf.

Der Zeitpunkt des Eintritts dieses Gleichgewichtes ist nicht eindeutig festlegbar. Es empfiehlt sich daher, zunächst ca. 5 bis 10 Jahre nach Abschluss der Sicherungsmaßnahme die Wirkung der Wasserhaushaltsschicht zu überprüfen.

Hierzu sind zum einen der Stand der Vegetationsentwicklung aufzunehmen und zum anderen in repräsentativen Schürfen folgende Parameter zu überprüfen:

- Schichtmächtigkeit
- Korngefüge
- Lagerungsdichte
- Durchlässigkeit
- Porenvolumen, Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt, Durchlässigkeit
- Wurzeltiefe und –verteilung

Auf Basis der gewonnenen boden- und vegetationskundlichen Daten sowie entsprechender Klimareihen können somit für die erste Phase nach Abschluss der Sicherung die Wasserhaushaltsberechnungen wiederholt und mit den in der Planung der Wasserhaushaltsschicht festgelegten Zielen abgeglichen werden.

Ergeben sich Übereinstimmungen bzw. sogar Verbesserungen, können die Berechnungen in Verbindung mit der zeitgleich festgestellten Entwicklungen der Grundwassersituation als Grundlage für die Entscheidung einer Entlassung aus der Nachsorge dienen.

## 5 Zusammenfassung

Die Möglichkeit der Sicherung von Altdeponien durch eine Wasserhaushaltsschicht lässt sich aus planerischer Sicht wie folgt zusammenfassen:

- Zur standortbezogenen Optimierung einzelner Parameter stehen edv-gestützte numerische Modelle mit ausreichender Genauigkeit zur Verfügung.

Als klimatische Eingangsgrößen in die Wasserhaushaltsberechnungen stehen hierbei ausreichende Daten des Deutschen Wetterdienstes oder sonstiger Anbieter zu Verfügung. Eine Zeitreihe von 10 Jahren kann als ausreichend bewertet werden.

Eine detaillierte Untersuchung der bodenkundlichen Eigenschaften ist in der Regel bei klassischen Bodenarten nicht erforderlich. Hier können Daten auf Basis einfacher Feldversuche aus der entsprechenden Literatur abgeleitet werden. Für Abdeckschichten mit nicht bodentypischen Eigenschaften sind entsprechende aufwendige Verfahren allerdings erforderlich

- Trotz Verwendung von Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität ist bei bereits mittleren jährlichen Niederschlagssummen von deutlich unter 600 mm von der Bildung von Sickerwasser auszugehen. Dieser liegt mit Größenordnungen um maximal ca. 100 mm noch im ggf. tolerablen Bereich und ist im wesentlichen auf in humiden Klimazonen übliche extrem nasse Einzeljahre oder einzelne Starkniederschläge zurückzuführen.

Erhöhungen der Mächtigkeiten der Wasserhaushaltsschicht führen bei unveränderter Vegetation in der Regel noch nicht zu Minimierungen der Durchsickerungen. Erst eine Intensivierung der Vegetation in Verbindung mit einer tieferen Durchwurzelung führt hier zu Vorteilen.

- Edv-gestützte Wasserhaushaltsberechnungen sind allerdings nur als eine Grundlage der Planung von Wasserhaushaltsschichten zu bewerten.

Für rechnerisch optimierte Wasserhaushaltsschichten sind daher als weitere Anforderungen u. a. zu beachten:

- Die Wahl der Schichtmächtigkeit hat sich an der erwarteten Vegetation zu orientieren, bereits vorhanden Schichten sollten hierbei berücksichtigt werden.
  - Bei der Wahl der Bodenart sind die Verfügbarkeit entsprechender Materialien sowie deren bodenmechanisch Eignung für den Standort zu berücksichtigen.
- Für Wasserhaushaltsschichten ist ein Qualitätssicherungsprogramm aufzustellen, das zum einen deren Funktionalität in hohem Umfang sicherstellt, zum anderen allerdings im Rahmen der Umsetzung auf zeitnah ermittelbare Parameter abstellt, die aus den Ergebnissen von Versuchsfeldern abgeleitet wurden.
  - Wasserhaushaltsschichten sind analog einer Oberflächenabdichtung als Bauwerk einzuordnen und erfordern somit eine Nachsorge zur Erhaltung ihrer Funktion. Gleichzeitig sind Überwachungen der Grundwassersituation zur Überwachung des Sanierungserfolges durchzuführen.
  - Als Grundlage der Entscheidung zur Entlassung aus der Nachsorge kann eine aktualisierte Wasserhaushaltsberechnung auf Basis aktueller boden- und vegetationskundlicher Eigenschaften sowie Klimadaten in Zusammenhang mit der Entwicklung der Grundwasserverhältnisse dienen. Dieses ist ein Kapitel, das häufig keine weiteren Gliederungsebenen enthält.

## 6 Literatur

- |               |      |   |
|---------------|------|---|
| Markwart, N.  | 1990 | Der Bodenwasserhaushalt in Deponieabdeckschichten, Dissertation, TU Berlin  |
| AG Boden      | 1994 | Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart  |
| Berger, K.    | 1998 | Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Wasserhaushaltsberechnung von Deponien für deutsche Verhältnisse, Hamburger Bodenkundliche Arbeiten. Institut für Bodenkunde. Universität Hamburg |
| LAGA          | 2000 | Arbeitspapiere zum Themenbereich "Oberflächenabdichtungen und Oberflächenabdeckungen"   |
| Kutschera, A. | 1992 | Wurzelatlas mitteleuropäischer Grünlandpflanzen, Verlag Gustav Fischer, Stuttgart   |

**Anschrift des Verfassers**

Dipl.-Ing. Walter Lükewille

IUP Ingenieure GmbH

Heinrich-Büssing-Ring 25

38102 Braunschweig

Tel.: 0531 – 2710 250 / Fax: 0531 – 2710 251

Email [walter.luekewille@iup-net.de](mailto:walter.luekewille@iup-net.de)

Website: [www.iup-net.de](http://www.iup-net.de)