

# Evaluierung des Potenzials qualifizierter Abdeckungen am Beispiel einer ehemaligen Betriebsdeponie

Dipl.-Ing. Björn Koop, Dr. Petra Kahle & Prof. Dr. Bernd Lennartz;  
Institut für Landnutzung, Universität Rostock

## Zusammenfassung

Zur Oberflächensicherung von Deponien und Altlasten ist der Einsatz vegetativer Oberflächenabdeckungen, so genannter „qualifizierter Abdeckungen“, eine kostengünstige Alternative zur Standardsicherung.

Ausgehend von der eingeschränkten Übertragbarkeit von Informationen aus anderen Regionen auf die Verhältnisse in Mecklenburg-Vorpommern war es das Ziel vorliegender Untersuchung, Machbarkeit und Erfolgsaussichten dieses Alternativverfahrens exemplarisch zu überprüfen.

Die für den Experimentalstandort Schönberg über 8 Jahre berechneten Sickerwasserraten erreichten 313 mm/a (Weide) bzw. 242 mm/a (Pappel) und übertreffen damit die Forderungen nach der TAsi (1993) erheblich. Am Standort Schönberg kommt somit eine qualifizierte Abdeckung als alleinige Sicherungsmaßnahme nicht in Betracht.

## 1 Einleitung

### 1.1 Problemstellung

Die Oberflächensicherung von Deponien und Altlasten ist eine entscheidende Voraussetzung, um die von diesen Standorten ausgehende Umweltbeeinträchtigung zu minimieren. Neben den in der Technischen Anleitung Siedlungsabfall (kurz: TAsi, 1993) definierten Deponieabdichtungssystemen wurden in den letzten Jahren mit der Zielstellung einer Kostenminimierung alternative Methoden entwickelt. METHLING (2003) weist auf die „nicht unerhebliche Kosteneinsparung“ für Mecklenburg-Vorpommern durch „innovative Ansätze einer umweltgerechten Oberflächenabdichtung in Abweichung der Regelabdichtungssysteme“ hin. Als eine Alternative ist die „qualifizierte Abdeckung“ zu betrachten, worunter der auf die jeweiligen Standortverhältnisse angepasste Aufbau von Abdeck- und Rekultivierungsschicht mit Vegetationsdecke verstanden wird, mit dem ein maximaler Rückhalt bzw. eine maximale Verdunstung des Niederschlags erreicht werden soll (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2003). Die schnellwachsenden Baumarten Weide (*Salix*) und Pappel (*Populus*) stellen eine viel versprechende Möglichkeit zur Sickerwasserminimierung durch Förderung der Verdunstung dar. Untersuchungen aus dem skandinavischen Raum bestätigen den hohen Wasserverbrauch der Bäume (PERSSON UND LINDROTH, 1994; ETTALA, 1988; ARONSSON UND PERTTU, 2001).

Es liegen jedoch sehr wenig praktische Erfahrungen über den zielgerichteten Einsatz geeigneter Pflanzenarten für qualifizierte Abdeckungen in der Literatur vor. Vor allem in den fehlenden Daten zu Auswahl der Vegetation, Verlauf des Blattflächenindex, Wurzeltiefe und Zusammenwirken von Vegetation und Boden sehen ALBRIGHT UND BENSON (2002) einen wissenschaftlichen Forschungsbedarf.

Eine effiziente und geeignete Möglichkeit zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit alternativer Abdeckungen stellen Wasserhaushaltsbetrachtungen dar. Zur Auswahl der

Bewuchsmaterialien fordert die TASI (1993) die Anwendung solcher Wasserhaushaltsbetrachtungen. Nach KÄMPF UND MONTENEGRO (1999) geht die Verdunstung als das mit Abstand größte Verlustglied in die Wasserhaushaltsbilanz einer Oberflächenabdeckung ein, weil es die zur Perkolation gelangenden Anteile des Niederschlages maßgeblich beeinflusst. Daraus ist abzuleiten, dass eine möglichst exakte Quantifizierung der Wasserhaushaltsgrößen als Voraussetzung für eine realitätsnahe Abbildung der jeweiligen Standortverhältnisse anzusehen ist. Ein wichtiger Parameter hierfür ist der Blattflächenindex (englisch: leaf area index, oder kurz: LAI), angegeben in  $\text{m}^2/\text{m}^2$ , der das Verhältnis der Blattfläche der gesamten Vegetation zur Bodenfläche kennzeichnet. Er nimmt sowohl Einfluss auf die Verdunstungsleistung des Bestandes als auch auf das Rückhaltevermögen der Blätter und Äste (Interzeption) sowie die aerodynamischen Verhältnisse, und damit auf den gesamten Bodenwasserhaushalt. Trotz seiner wichtigen Funktion existieren derzeit erst wenige Informationen über die Entwicklung des Blattflächenindexes von Weiden- und Pappelsorten bzw. -klonen. Zudem können Werte, wie beispielsweise die von PERSSON UND LINDROTH (1994) sowie LINDROTH (1993) im skandinavischen Raum aufgenommenen Verläufe des Blattflächenindexes von Weiden, nicht für hiesige Verhältnisse genutzt werden.

## 1.2 Zielstellung

Ausgehend von der hohen Bedeutung des Blattflächenindexes als potenzieller Indikator für den Wasserverbrauch, der unzureichenden Datenlage zum Einsatz von Weiden und Pappeln auf qualifizierten Abdeckungen für die Verhältnisse in Mecklenburg-Vorpommern und der eingeschränkten Übertragbarkeit von Informationen aus anderen Regionen auf hiesige Bedingungen ergaben sich folgende Ziele:

- Aufbau, Betrieb und Auswertung von Gefäßversuchen zur Quantifizierung der Transpirationsleistung von Weiden (*Salix*) auf unterschiedlichen Substraten
- Erfassung des Blattflächenindexes an in Mecklenburg-Vorpommern angebaute Weiden- und Pappelklonen im Praxistest
- Simulation des Bodenwasserhaushaltes zur Evaluierung des Potenzials qualifizierter Abdeckungen am Beispiel einer ehemaligen Betriebsdeponie

## 1.3 Vorgehensweise

Zur Realisierung der Ziele wurden Versuche sowie Untersuchungen an drei Standorten in Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt, die nachfolgend vorgestellt werden:

Zur Quantifizierung der Transpirationsleistung von Weiden wurden mit Weiden (*Salix dasyclados*) bepflanzte Gefäße installiert und die Verdunstungsleistung während der Vegetationsperiode 2004 aufgenommen. Die Versuche wurden mit einem natürlichen und einem anthropogenen Substrat durchgeführt, um die Auswirkungen unterschiedlicher Substratverhältnisse auf die Transpirationsleistung zu erfassen und dadurch Aussagen über den Einfluss des Rekultivierungssubstrates auf die Wirksamkeit einer qualifizierten Abdeckung zu treffen.

Zur Aufnahme der Entwicklung des Blattflächenindexes über die Dauer einer Vegetationsperiode wurden an mehrjährigen Weiden- und Pappelklonen LAI-Messungen durchgeführt. Die aufgezeichneten LAI-Verläufe dienen als Eingangsgröße für die Simulation des Bodenwasserhaushaltes am Standort Schönberg (s.u.).

Für die ehemalige Betriebsdeponie neben dem Gelände des Möbelwerkes Palmberg Büroeinrichtung und Service GmbH in Schönberg wurde der Bodenwasserhaushalt simuliert, um eine Beurteilung der Wirksamkeit sowie des Potenzials der qualifizierten

Abdeckung am Standort vorzunehmen sowie die Auswirkungen unterschiedlicher Blattflächenindex-Verläufe auf den Bodenwasserhaushalt aufzuzeigen.

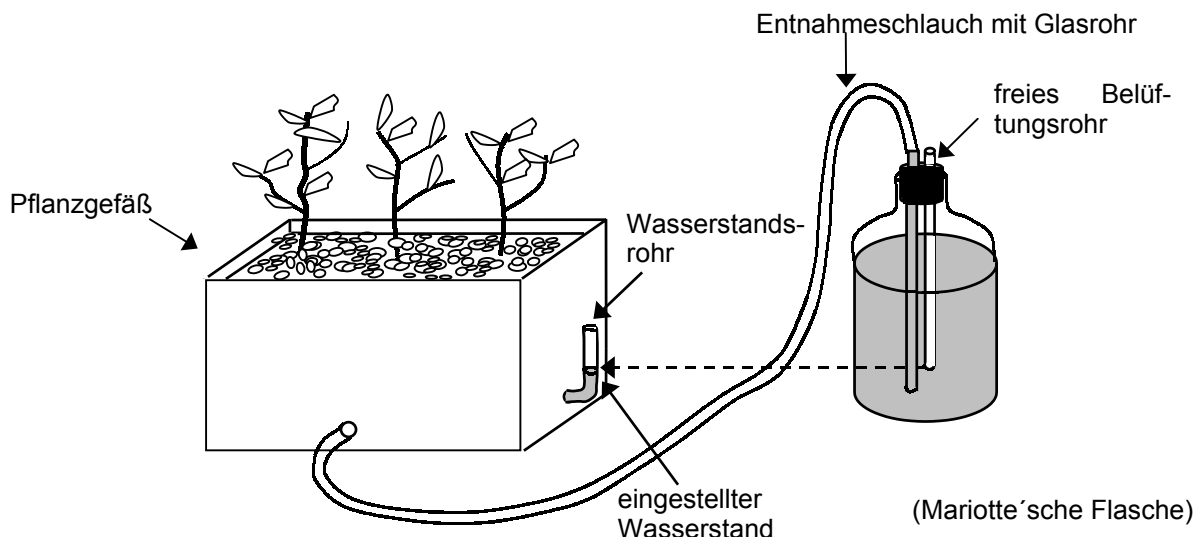
Als Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes kommt das Programm SIMPEL (HÖRMANN, 1998) zum Einsatz, welches die Implementierung des LAI-Verlaufes ermöglicht. Mithilfe der gemessenen Blattflächenindices wurden für zwei Varianten (Weide und Pappel) die Interzeption sowie die Verdunstung nach PENMAN-MONTEITH berechnet.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Gefäßversuche

Die Versuchsanordnung der Gefäßversuche ist in Abb. 1 exemplarisch dargestellt. Durch das Prinzip der Mariotte'schen Flasche ist es möglich, einen gewünschten Wasserstand in den Pflanzgefäßen dauerhaft einzustellen, so dass die Wasserversorgung der Weiden selbständig aus dem Wassergefäß erfolgte. Für die Versuchsdauer wurde der Wasserstand auf eine Höhe von 8 cm über Gefäßboden eingestellt. Um allein die Transpiration als wasserzehrenden Vorgang zu erfassen, wurden die Gefäße mit einer wasserundurchlässigen PVC-Folie abgedeckt.

Als Bodenmaterial diente ein Bauschutt-Boden-Gemisch als anthropogenes Substrat (Variante A, Gefäße 1-3) sowie ein natürliches sandiges Substrat (Variante B, Gefäße 4-6). Angaben zu wichtigen Eigenschaften dieser Substrate sind in Tab. 1 zusammengefasst. Das anthropogene Substrat stellt durch seine heterogene Zusammensetzung (Ziegel, Mörtel, Betonbruch, Glasbruch, Steine und Sand) typische Wuchsbedingungen einer Deponie oder Altlast dar. Als Pflanzmaterial wurden jeweils drei Weiden des Klones *Salix dasyclados* (Bandstockweide) als 30 cm lange Stecklinge in die Gefäße gepflanzt.



**Abb. 1** : Schematische Darstellung der Versuchsanordnung

**Tab. 1:** Korngrößenverteilung im Feinboden (%) und weitere relevante Eigenschaften der eingesetzten Substrate

	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS	Bodenart
anthropogenes Substrat (Variante A)	7,0	2,7	4,2	5,8	39,6	30,1	10,5	SI2
natürliches Substrat (Variante B)	7,9	3,1	6,2	13,2	44,3	20,8	4,5	SI2
	Herkunft			Karbonat %	pH	Glühverlust %		
anthropogenes Substrat (Variante A)	Bodenbörse Parkentin (EAK-Nr. 170101)			4,6	6,2	5,8		
natürliches Substrat (Variante B)	Versuchsfläche Uni Rostock, Satower Str.			0,1	6,1	2,3		

## 2.2 Aufnahme des Blattflächenindex

Zur Aufnahme der zeitlichen Entwicklung des Blattflächenindex unterschiedlicher Weiden- und Pappelsorten/ -klonen wurden Messungen mit dem tragbaren Messgerät LAI-2000 Plant Canopy Analyser (LI-COR, Lincoln, USA) durchgeführt. Die Messungen wurden auf der Versuchsanlage der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) in Gülzow durchgeführt.

BOELCKE UND KAHLE (2000) beschreiben die Bodenform am Standort Gülzow als Braunerde aus Moränensand und somit als typisch für die jungpleistozäne Landschaft Nordostdeutschlands. Das Binnenlandklima ist maritim beeinflusst und erreicht eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,2 °C sowie eine durchschnittliche Jahresniederschlagssumme von 544 mm. Im Ober- und Unterboden dominiert die Bodenart SI2.

Der Parzellenversuch umfasst verschiedene Weiden- und Pappelsorten/ -klone, aus denen eine Auswahl entsprechend Tab. 2 getroffen wurde. Die Bepflanzung der Parzellen ist durch drei 1,5 m breite und 15 m lange Reihen und einen Pflanzabstand innerhalb der Reihen von 0,5 m gekennzeichnet.

**Tab. 2:** Übersicht der ausgewählten Pappel- und Weidensorten bzw. -klone

Botanische Gruppen	Versuchs-Nr.	Sorte/ Klon
<b>Sektion Tacamahaca (Balsampappeln)</b>		
<i>P. trichocarpa</i>	P 1	Muhle Larsen
<b>Hybridpappeln</b>		
<i>P. maximowiczii</i> × <i>P. trichocarpa</i>	P 2	10/85 (49)
<i>P. nigra</i> × <i>P. maximowiczii</i>	P 3	Max 3
<b>Weiden</b>		
<i>Salix caprea</i> × <i>S. viminalis</i>	W 1	Weide 6
<i>Salix viminalis</i> var. <i>regalis</i>	W 2	Weide 10 (Königshanfweide)
<i>Salix viminalis</i> × <i>S. purpurea</i>	W 3	Weide 8 (Ulbrichweide)

Die Messung des Blattflächenindex geht auf die Bestimmung der Lichttransmission zurück, die von der Lichtmenge unterhalb und oberhalb der Blattfläche eines Pflanzenbestandes abhängig ist. Die Messmethode beruht auf folgender Theorie: Wenn die Sonnenstrahlung in den Pflanzenbestand eindringt, wird sie von den Blättern absorbiert. Die Möglichkeit der Lichtinterzeption ist proportional zur Weglänge, Blattdichte und Blatorientierung. Wenn die Blattstellung der Pflanzen senkrecht anstatt parallel zur Sonne ausgerichtet ist, wird die Lichtinterzeption größer (WANG, 2001). Eine ausführliche Beschreibung des Messgerätes ist LI-COR (1992), WELLES UND NORMAN (1991) und WELLES (1990) zu entnehmen.

Der Blattflächenindex wird auf Basis von fünf Ringsensoren aufgenommenen Messwerten der Transmission ermittelt. Erforderlich sind Messungen im Bestand sowie Referenzmessungen außerhalb des Bestandes. Für letzteres wurde ein Abstand entsprechend der dreifachen Bestandshöhe gewählt.

Zur Messung des Blattflächenindex wurden Transekte durch die ausgewählten Parzellen des Versuchs in Gülzow gelegt, die zur Minimierung der Beeinflussung durch benachbarte Parzellen jeweils die mittlere Pflanzreihe betrafen.

### **2.3 Simulation des Bodenwasserhaushaltes für die ehemalige Betriebsdeponie am Standort Schönberg**

Neben dem Betriebsgelände des Möbelwerkes Palmberg Büroeinrichtung und Service GmbH befindet sich eine früher genutzte Betriebsdeponie. Das Betriebsgelände sowie die angrenzende Deponie befinden sich am östlichen Ortsausgang von Schönberg unweit der Bundesstraße B 104 und etwa 16 km östlich von Lübeck. Die Deponie liegt nördlich des Bahndammes der Strecke Lübeck-Grevesmühlen und grenzt im Osten an das unter Naturschutz gestellte Feuchtgebiet Maurineniederung.

Zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes wird das Modell SIMPEL (HÖRMANN, 1998) genutzt, das mit dem Programm "Excel" erstellt und in mehrere Arbeitsblätter aufgeteilt ist. Durch diesen Aufbau ist es möglich die LAI-Zeitreihe zur Berechnung der Interzeption zu implementieren, und damit die Auswirkung unterschiedlicher LAI-Verläufe auf die Verdunstungsleistung darzustellen.

Es wird davon ausgegangen, dass die am Standort Gülzow gemessenen LAI-Werte für die Verhältnisse in Nordostdeutschland als weitgehend repräsentativ anzusehen sind und daher die Blattflächenindices in die Berechnungen am Standort Schönberg implementiert werden können. Die auf dieser Basis erfolgte Simulation des potenziellen Bodenwasserhaushalts betraf unterschiedliche Weiden- und Pappelklone und ermöglichte die Quantifizierung der Auswirkungen unterschiedlicher LAI-Verläufe auf den Bodenwasserhaushalt.

## **3 Ergebnisse und Diskussion**

### **3.1 Gefäßversuche**

Die Gefäßversuche ergaben deutliche Differenzen in Anwuchs- und Transpirationsleistung der Weide *Salix dasyclados* für die zwei unterschiedlichen Substrate. Wie die Aufnahme des Wasserverbrauches zwischen 12.04. und 04.07.04 zeigte, erreichten die Weiden der Variante A maximale tägliche Verbrauchswerte zwischen 3.900 und 4.500 ml/d. Umgerechnet entsprechen diese Werte einer Verdunstungshöhe zwischen 4,3 und 5,0 mm/d pro Einzelpflanze. Für Variante B wurden maximale Tagesverbrauchsraten zwischen 5.900 und 6.300 ml - was einer Verdunstungshöhe zwischen 6,6 und 7,0 mm/d pro Einzelpflanze entspricht – ge-

messen. An einzelnen Tagen traten maximale Unterschiede von über 2.500 ml/d (2,8 mm/d) auf, die den erheblichen Einfluss des Substrates auf die Wuchsleistung der Weiden aufzeigen. Deutliche Differenzen zeigten sich ebenso in der Anwuchsleistung und Wuchshöhe der Weiden, wobei letztere über die gesamte Versuchsdauer bei Variante B wesentlich höher als bei Variante A war. Beide Erscheinungen können mit dem unterschiedlichen Substratcharakter erklärt werden.

Obgleich der Feinboden beider Versuchssubstrate der Bodenart SI2 zuzuordnen ist, unterscheiden sich beide Materialien erheblich in der Heterogenität und den Skelettanteil. Der von LAGA (2000) angegebene Höchstwert von 30 Vol-% Skelettanteil scheint sehr hoch, um eine maximale Verdunstungsleistung der Vegetation zu erzielen und Unterschreitungen sollten angestrebt werden. Folglich sollte ein direktes Bepflanzen eines heterogen und ungleichkörnig zusammengesetzten Deponiekörpers möglichst unterbleiben und ein Rekultivierungssubstrat zur Beförderung der Vegetationsentwicklung aufgetragen werden.

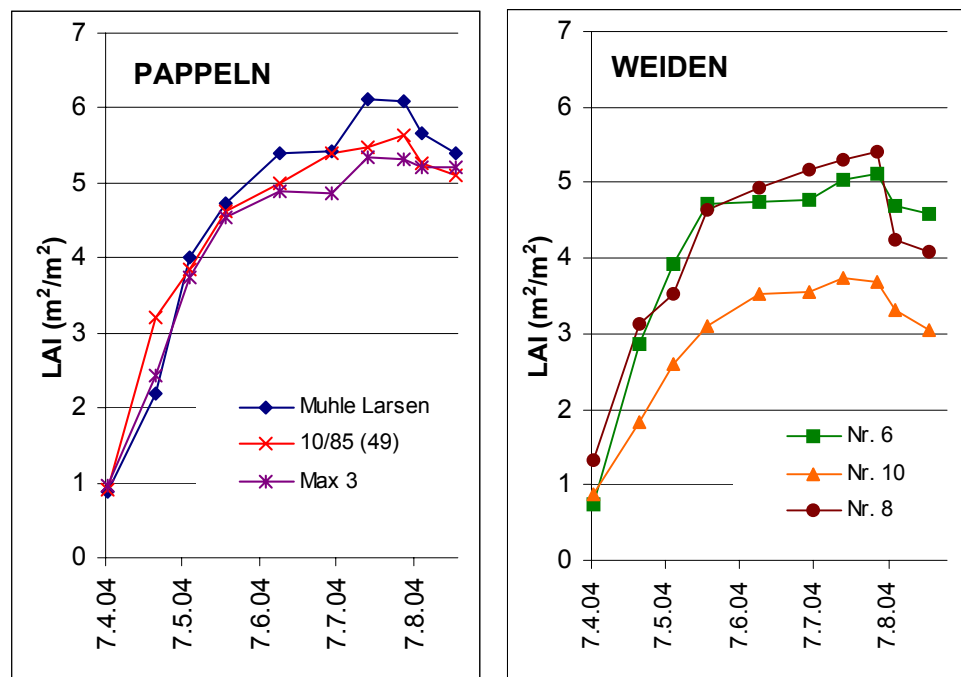
Die durchgeführten Versuche zeigen, dass durch eine geeignete Substratwahl und -aufbringung eine enorme Beeinflussung der Verdunstungsleistung erzielt werden kann. Im Umkehrschluss ergibt sich daraus, dass durch den Einsatz ungeeigneter Substrate die Entwicklung selbst wachstumsstarker Pflanzen gehemmt und damit die Wirksamkeit einer qualifizierten Abdeckung herabgesetzt werden kann.

### 3.2 Entwicklung des Blattflächenindexes

In der Vegetationsperiode wurden zwischen dem 07.04.2004 und 23.08.2004 insgesamt zehn Messungen zur Bestimmung des Blattflächenindexes durchgeführt.

Die Entwicklungsverläufe des Blattflächenindexes sind getrennt für Weiden und Pappeln (dreijährig) in Abb. 2 dargestellt. Daraus gehen Unterschiede zwischen den geprüften Weiden und Pappeln hervor. Die LAI-Messwerte zu Vegetationsbeginn der Weiden liegen zwischen 0,8 und 1,4. Die Verläufe der einzelnen Klone divergieren ab Mitte Mai deutlich früher als bei den Pappeln. Die LAI-Werte der Weide Nr.10 liegen dabei deutlich unterhalb derer der Weiden Nr.8 und Nr.6.

Weide Nr.10 erreicht einen maximalen Wert von 3,7, während die beiden anderen Vertreter 5,1 (Weide Nr.6) bzw. 5,4 (Weide Nr.8) aufweisen. Insgesamt sind die LAI-Werte der Weiden vergleichsweise geringer als die der Pappeln (LAI-Wert von 6,1 bei Muhle Larsen und 5,6 für 10/85(49)).



**Abb. 2:** Verlauf der LAI-Werte innerhalb der Vegetationsperiode 2004

### 3.3 Simulation des Bodenwasserhaushaltes für die ehemalige Betriebsdeponie am Standort Schönberg

#### 3.3.1 Reale Evapotranspiration

Die berechnete kumulative Verdunstungsleistung der beiden Varianten Weide und Pappel ist in Abb. 3 dargestellt. Bei einem Gesamtniederschlag innerhalb des angenommenen

Simulationszeitraumes (1993 bis 1999) von 5.477 mm wurde eine Gesamtverdunstung von 3.498 mm (Variante Weide) bzw. ein Wert von 4.006 mm (Variante Pappel) berechnet. Hieraus ergibt sich ein mittlerer jährlicher Niederschlag von 782 mm sowie eine durchschnittliche Verdunstungsrate von 500 mm/a bei Variante Weide bzw. 572 mm/a bei Variante Pappel.

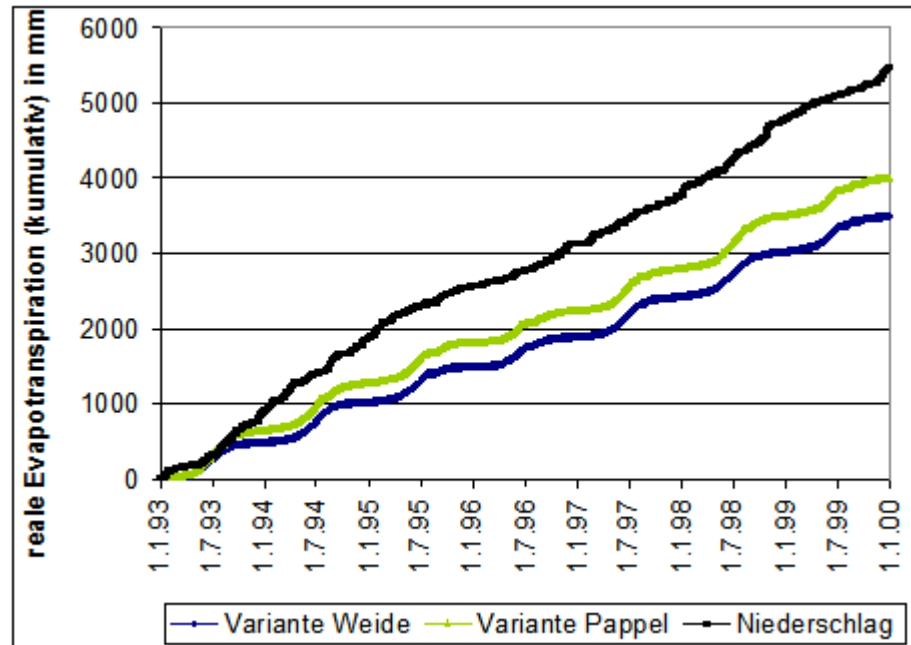


Abb. 3: Kumulative Verdunstung der Varianten Weide und Pappel

#### 3.3.2 Sickerwasser

Zum Direktvergleich einzelner Jahre des Simulationszeitraumes 1993 bis 1999 sind die Jahreswerte der Sickerwasserbildung in Tab. 3 aufgeführt. Die Werte der Variante Weide liegen zwischen 30 und 117 mm/a über den simulierten Sickerwasserraten der Variante Pappel. Die geringste Sickerwassermenge wurde in beiden Varianten im Jahr 1996 bei einem Jahresniederschlag von 555 mm erreicht: Bei Variante Weide versickern 117 mm und damit 21,0 % des Niederschlages, im Vergleich dazu bei Variante Pappel 78 mm (14,0 % des Niederschlages).

Für den gesamten Simulationszeitraum ergibt sich für Variante Weide eine mittlere Sickerwasserbildung von 313 mm pro Jahr, entsprechend 35,7 % des Niederschlages. Die mittlere Sickerwassermenge der Variante Pappel fällt mit 242 mm/a und 31,0 % des gefallenen Niederschlages deutlich geringer aus.

Die Einteilung der Jahresniederschläge in trockene (Niederschlag < 650 mm/a) und feuchte Jahre (Niederschlag > 650 mm/a) sowie die dazu gehörigen berechneten Sickerwassermengen, ausgedrückt als Anteile des Niederschlages, sind in Tab. 4 für den Standort Schönberg dargestellt. Die Höchstwerte von bis zu 47,8 % (Variante Pappel) bzw. 60,5 % (Variante Weide) in niederschlagsreichen Jahren belegen den Schwachpunkt der qualifizierten Abdeckung.

Die für den Experimentalstandort in Schönberg über 8 Jahre berechneten Sickerwasserraten übertreffen damit die Forderungen der TAsi (1993) erheblich. Folglich kommt am Standort Schönberg eine qualifizierte Abdeckung als alleinige Sicherungsmaßnahme nicht in Betracht.

**Tab. 3:** Sickerwasserbildung der Varianten Weide und Pappel zwischen 1993 und 1999

	Variante Weide		Variante Pappel	
	SiWa in mm	% von N	SiWa in mm	% von N
<b>1993</b>	559	60,5	442	47,8
<b>1994</b>	484	50,0	376	38,9
<b>1995</b>	322	46,7	258	37,4
<b>1996</b>	117	21,0	78	14,0
<b>1997</b>	157	24,5	127	19,9
<b>1998</b>	324	31,8	228	22,4
<b>1999</b>	229	33,3	187	27,3
$\Sigma$	<b>2192</b>	–	<b>1696</b>	–
$\emptyset$	<b>313 mm/a</b>	<b>35,7</b>	<b>242 mm/a</b>	<b>31,0</b>

**Tab. 4:** Minimale und maximale Sickerwasserraten am Standort Schönberg in niederschlagsarmen (mit Niederschlag N<650 mm) und -reichen Jahren (N>650 mm)

	Minimale und maximale Sickerwasserraten in % N	
	N<650 mm	N>650 mm
	1996, 1997	1993-1995; 1998-1999
<b>Jahre</b>	<b>1996, 1997</b>	<b>1993-1995; 1998-1999</b>
<b>Variante Pappel</b>	14,0 – 19,9	22,4 – 47,8
<b>Variante Weide</b>	21,0 – 24,5	31,8 – 60,5

## Literatur

- ALBRIGHT, W. UND BENSON, C. H., 2002: Alternative Cover Assessment Program - 2002 Annual Report. Publication No. 41182, Internetveröffentlichung, 0103.2005: [http://www.acap.dri.edu/2002\\_Annual\\_Report.pdf](http://www.acap.dri.edu/2002_Annual_Report.pdf)
- ARONSSON, P. UND PERTTU, K., 2001: Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. The Forestry Chronicle, Vol. 77, No. 2, S. 293-299
- BOELCKE, B. UND KAHLE, P., 2000: Leistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Nordosten Deutschlands und erste Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften. Die Holzzucht, 53, S. 5-10
- ETTALA, M., 1988: Evaporation from a *Salix aquatica* plantation at a sanitary landfill. Aqua Finnica 18/1, S. 3-14
- HÖRMANN, G., 1998: SIMPEL – Speichermodelle zum Bodenwasserhaushalt. Internetveröffentlichung 01.07.2004: <http://www.pz-oekosys.uni-kiel.de>
- KÄMPF, M. & MONTENEGRO, H., 1999: Numerische Untersuchungen zum Aufbau von Oberflächenabdichtungssystemen, Schlussbericht F+E Vorhaben, Darmstadt



- LAGA, 2000: Infiltration von Wasser in den Deponiekörper und Oberflächenabdichtungen und – abdeckungen – Themenbereich Rekultivierung. Hannover
- LI-COR, 1992: LAI-2000 Plant Canopy Analyser, Instruction Manual, Lincoln, Nebraska, USA
- LINDROTH, A., 1993: Aerodynamic and canopy resistance of short-rotation forest in relation to leaf area index and climate. *Boundary-Layer Meteorology*, 66, S. 265-279
- METHLING, W., 2003: Entwicklung der Abfallwirtschaft in Mecklenburg-Vorpommern. In: Vorträge zum 6. Dialog „Abfallwirtschaft M-V“, S. 9-16
- PERSSON, G. & LINDROTH, A., 1994: Simulating evaporation from short-rotation forest: variation within and between seasons. *Journal of Hydrology*, 156, S. 21-45
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, 2003: Empfehlungen für die Auswahl und Bewertung von Schutz- und Rekultivierungsmaßnahmen bei der Stilllegung von Alt-Deponien im Freistaat Sachsen, Dresden
- TECHNISCHE ANLEITUNG SIEDLUNGSABFALL (TASi), 1993: Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - „Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall)“ vom 14. Mai 1993
- WANG, SZU-HSIEN, 2001: Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaisorten verschiedenen Wuchstyps. Dissertation, Berlin
- WELLES, J.M., 1990: Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote Sensing Reviews*, 5, S. 31-43
- WELLES, J.M. & NORMAN, J.M., 1991: Instrument for indirect measurement of canopy architecture. *Agronomy Journal*, 83, S. 818-825

