



Europäische Union. Europäischer  
Fonds für regionale Entwicklung.  
Evropská unie. Evropský fond pro  
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.  
Interreg V A / 2014 – 2020

# Deponieworkshop Zittau-Liberec 2017

## Deponiebau - EU-Wasserrahmenrichtlinie - Stoffströme und Deponierückbau

09.-10. November 2017



# Skládkový workshop Žitava-Liberec 2017

Výstavba skládek - Směrnice EU, kterou  
se stanoví rámec pro činnost Společenství  
v oblasti vodní politiky -  
látkové proudy a odtěžování skládek

9.-10. listopadu 2017



# Der Einsatz von Umweltmesstechnik zur Deponie-Überwachung

## Využití ekologických technik pro monitoring skládek

Anne Hartmann<sup>1</sup>

### Kurzfassung

Deponiebetreiber von Deponien der Klasse 0, I, II oder III sind laut Deponieverordnung dazu verpflichtet bis zum Ende der Nachsorgephase Messungen und Kontrollen sowie die Auswertung der erhobenen Daten gemäß Anhang 5 der Deponieverordnung durchzuführen. Dazu gehört die Erfassung der Menge und Qualität von Sickerwasser der Entwässerungsschicht und des oberflächlich abfließenden Wassers sowie meteorologische Parameter. Eine Nachrüstung der Deponien mit Messtechnik zur Erfassung der verschiedenen Abflüsse erforderte häufig den Einsatz von standortangepassten Messsystemen. Die hier dargestellten Lösungen zeigen spezielle und kostengünstige Lösungen, die in der Vergangenheit auf verschiedenen Deponien erfolgreich angewendet wurden, sowie einfache und wartungsarme Systeme zur Erfassung und Weiterverarbeitung der geforderten meteorologischen Parameter. Weitere Beispiele zeigen den Einsatz von bodenhydrologischer Umweltmesstechnik zur Überwachung der Transportprozesse/Vorgänge in der Abdeckschicht für die Eignungsbewertung verschiedener Materialien zur Oberflächenabdeckung oder zur Abschätzung der Einflüsse der Flächennutzung auf die Abdeckschicht.

### Abstrakt

Provozovatelé skládek tříd 0, I, II nebo III jsou v souladu s Nařízením o skládkách a trvalých úložištích (Deponieverordnung) povinni provádět až do konce fáze následné péče měření a kontroly a získaná data vyhodnocovat v souladu s přílohou 5 uvedeného nařízení. Sem patří záznam množství a kvality průsaku v odvodňovací vrstvě, povrchově odtékající vody a meteorologické parametry. Vybavení skládek technikou pro měření různých odtoků si často vyžádalo využití systémů měření, adaptovaných na místní podmínky. Zde popsaná řešení představují specifická a cenově příznivá řešení, úspěšně v minulosti aplikovaná na různých skládkách a jednoduché systémy s nízkými nároky na údržbu pro záznam a další zpracování požadovaných meteorologických parametrů. Na dalších příkladech bude představeno využití půdně-hydrologické měřicí techniky pro monitoring transportních procesů v zakrývací vrstvě za účelem vyhodnocení vhodnosti různých materiálů pro zakrývání povrchu nebo pro vyhodnocení vlivů využití dané plochy na zakrývací vrstvu.

### 1 Motivation

Deponiebetreiber der Klasse 0, I, II und III sind laut Deponieverordnung dazu angehalten während der Ablagerungs-, Stilllegung- und in der langjährigen Nachsorgephase verschiedene Parameter wie meteorologische Daten, Abflussdaten von Oberflächen- und Sickerwasser, Emissionsdaten und Grundwasserdaten zu erfassen. Die geforderten Parameter und zeitliche Auflösung

<sup>1</sup>Umwelt-Geräte-Technik GmbH, Eberwalder Straße 58, D-15374 Müncheberg,  
E-Mail: anne.hartmann@ugt-online.de

der Daten ist vom gegenwärtigen Bewirtschaftungszeitraum der Deponie abhängig. Ein Auszug aus dem im Anhang 5 der Deponieverordnung [1] festgelegten Mess- und Kontrollprogramm für Deponien ist in Tabelle 1 gelistet.

Im Folgenden werden bewährte, wartungsarme Mess-Systeme vorgestellt, die eine direkte Umsetzung der Vorgaben der Deponieverordnung ermöglichen und gleichzeitig effizient sind. Der Fokus liegt dabei vorrangig auf der Erfassung der meteorologischen Parameter sowie der Abflüsse des Oberflächen- und Sickerwassers.

Tabelle 1: Auszug aus der Deponieverordnung Anhang 5 (Information, Dokumentation, Kontrollen, Betrieb), Punkt 3.2 Mess- und Kontrollprogramm [1].

Messung/Kontrolle	Häufigkeit/Darstellung	
	Ablagerungs- und Stilllegungsphase	Nachsorgephase
<b>Meteorologische Daten</b>		
Niederschlagsmenge	täglich, als Tagessummenwert	täglich, summiert zu Monatswerten
Temperatur (min., max., um 14:00 MEZ 15:00 MESZ)	täglich	Monatsdurchschnittswert
Windrichtung und – geschwindigkeit des vorherrschenden Windes	täglich	nicht erforderlich
Verdunstung	täglich	täglich, summiert zu Monatswerten
<b>Emissionsdaten</b>		
Sickerwassermenge	täglich, als Tagessummenwert	halbjährlich
Zusammensetzung des Sickerwassers	vierteljährlich	halbjährlich
Menge und Zusammensetzung des Oberflächenwassers	vierteljährlich	halbjährlich
<b>Grundwasserdaten</b>		
Grundwasserstände	halbjährlich	halbjährlich

## 2 Gängige Technologien für die Deponie-Überwachung gemäß DepV

### 2.1 Erfassung meteorologischer Parameter

Die Erfassung der meteorologischen Parameter gehört mittlerweile zu den routiniertesten Mess-Systemen. Wetterstationen werden schon seit Jahrzehnten erfolgreich auch auf Deponien angewendet und ermöglichen die hochaufgelöste Erfassung des Niederschlages, Strahlung, Temperatur, Windrichtung- und geschwindigkeit sowie der Luftfeuchte. Durch die Kombination mit einem Datenlogger können die Daten über einen längeren Zeitraum vor Ort gespeichert oder auch über eine Datenfernübertragung bequem und zeitsparend jederzeit abgegriffen werden. Eine entsprechende Auswertesoftware ermöglicht zudem die Überführung der Datensätze in die geforderte Häufigkeit und vereinfacht die Datenaufbereitung und Darstellung. Durch das Solarmodul arbeitet die Wetterstation autark, was den Wartungsaufwand extrem gering hält. Der Aufbau einer klassischen Wetterstation zur Anwendung auf Deponien ist in der Abbildung 1 dargestellt.

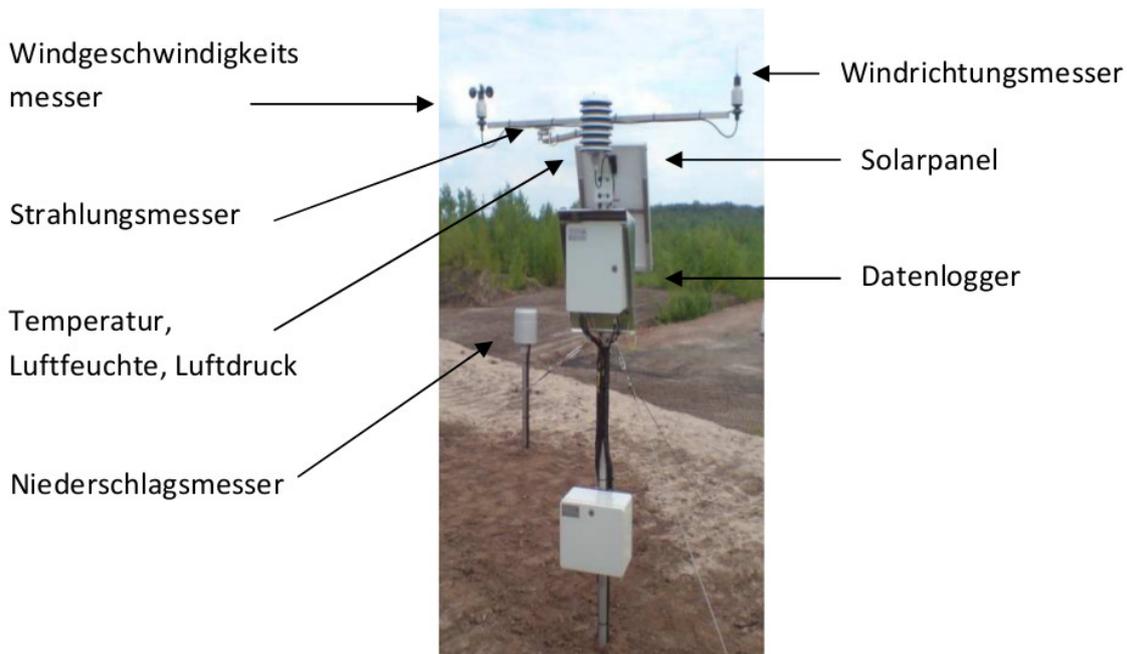


Abbildung 1: Aufbau einer typischen Wetterstation am Beispiel der Wetterstation auf der Deponie Gunsleben.

## 2.2 Erfassung der Abflussmengen aus Sickerwasser und Oberflächenabfluss

Die Erfassung der Abflusshöhe von Oberflächenabfluss und Sickerwasser auf Deponien ist im Vergleich zu den meteorologischen Parametern anspruchsvoller und Bedarf gegebenenfalls eine deponie-spezifische Anpassung des Mess-Systems. Herausforderungen im Hinblick auf die Abflussmessung des unterirdisch abfließenden Wassers sind hohe Abflussraten mit stark korrosiv wirkendem Wasser. Langjährige Erfahrungen mit dem Einsatz von Kippzählern zur Erfassung der sehr hohen Abflussraten des gesamten Sickerwasser-Abflusses und der Drain-Abflüsse zeigten teilweise eine hohe Beanspruchung des Materials und somit einen erhöhten Wartungsaufwand (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Beanspruchung der Kippzähler durch belastetes Wasser und hohe Abflussraten.

Eine neue und effizientere Lösung mit weniger Wartungsaufwand und Materialbeanspruchung ist der Einsatz von Messwehren, die speziell an die vorhandenen Gegebenheiten der Deponie angepasst werden (siehe Abbildung 3). Das Messwehr besitzt einen definierten Querschnitt, für den die Beziehung zwischen der Überfallhöhe und des Durchflusses bekannt ist. Der Wasserstand vor dem Wehr wird über einen Drucksensor am Boden der Messwehreinarbeitung ermittelt. Die Ermittlung der Überfallhöhe und somit des Durchflusses aus dem gemessenen Wasserstand erfolgt direkt im Logger, der diese Daten ebenso über einen längeren Zeitraum

aufzeichnet. Dieses System ist robuster gegenüber der Krafteinwirkung hoher Abflussraten und belasteter Wässer.



Abbildung 3: Aufbau eines spezifisch angepassten Messwehrs zur Messung der Abflusshöhen.

Für die Erfassung der Abflüsse des Oberflächenwassers hat sich der Einsatz des sogenannten Flumes bewährt (siehe Abbildung 4 und 5). Mit diesem System können kleine sowie große Abflussraten unabhängig von Laubeinfall oder sonstigen Schwemmgut gemessen werden. Das Mess-System besteht wie das Messwehr zur Messung des unterirdischen Abflusses aus einem definierten Fließquerschnitt, für den die Beziehung zwischen Überfallhöhe und Durchfluss bekannt ist. Dem eigentlichen Messbereich ist ein Beruhigungsbecken vorgeschaltet, um Turbulenzen zu vermeiden und eine genaue Wasserstandsmessung zu ermöglichen. Die Ermittlung der Überfallhöhe (Wasserstand) erfolgt hierbei anhand eines Ultraschallsensors, welcher den Abstand zwischen seiner Position und der Wasseroberfläche am Flume-Auslass misst. Ein zweiter Ultraschallsensor misst den horizontalen Abstand zwischen seiner eigenen Position und der Verkleidung des Flumes. Da dieser Abstand immer konstant ist, wird dieser Sensor zur Fehlereliminierung in der Wasserstandsmessung verwendet, da die Ultraschallmessung durch verschiedene Umwelteinflüsse beeinflusst werden kann. Durch diese Fehlerkompensation und der berührungslosen Messung ist dieses System sehr robust im Einsatz zur Durchflussmessung in offenem Gerinne.



Abbildung 4: Flume zur berührungslosen Abflussmessung über Ultraschallsensoren (Deponie Langenlonsheim).

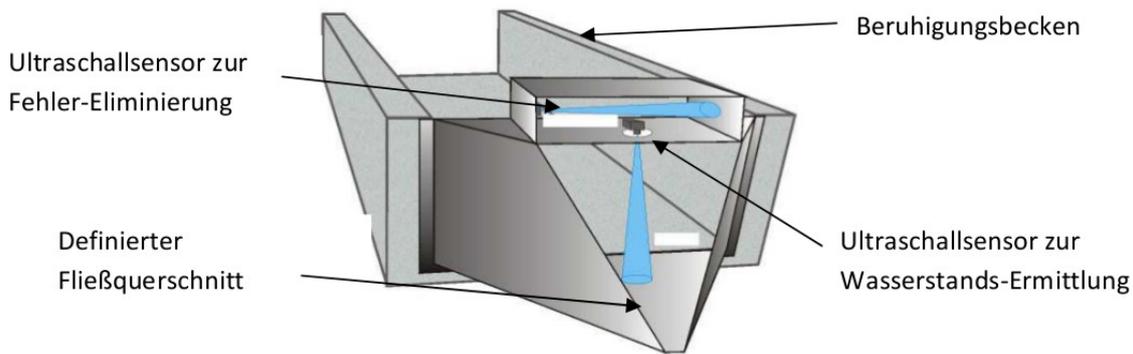


Abbildung 5: Aufbau eines Flumes zur berührungslosen Messung des Oberflächenabflusses.

### 2.3 Erfassung der realen Verdunstung

Ein weiterer wesentlicher (meteorologischer) Parameter, den es laut Deponieverordnung in einer täglichen Auflösung zu erfassen gilt, ist die Verdunstungshöhe. Wenn der Wassereintrag durch Niederschlag und der Austrag in Form der Verdunstungshöhe sowie oberirdischer und unterirdischer Abflüsse bekannt ist, kann ermittelt werden wie viel Wasser im Deponiekörper/Abdeckschicht verbleibt. Die korrekte Ermittlung der Verdunstungshöhe ist somit ein maßgeblicher Faktor, um die Funktion der Deponieabdeckung zu bewerten und zu überprüfen. Die einzige Möglichkeit die Menge des durch Evapotranspiration (Verdunstung von der Bodenoberfläche und durch Pflanzen) abgegebenen Wasser an die Atmosphäre direkt zu bestimmen besteht in wägbaren Lysimetern. Andere gängige Verfahren sind, neben den sehr aufwendigen Eddy-Kovarianz-Messungen, Schätzungen über Vergleichsmessungen aus Verdunstungskesseln oder empirischen Formeln. In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen und der Vegetation können diese Methoden die tatsächliche Evapotranspiration deutlich über- oder unterschätzen.

Beispielsweise zeigt in Abbildung 6 der grüne Flächengraph die tatsächliche Verdunstungshöhe an einem endabgedeckten Deponiestandort im Vergleich mit den Ergebnissen empirischer Methoden zur Verdunstungsbestimmung.

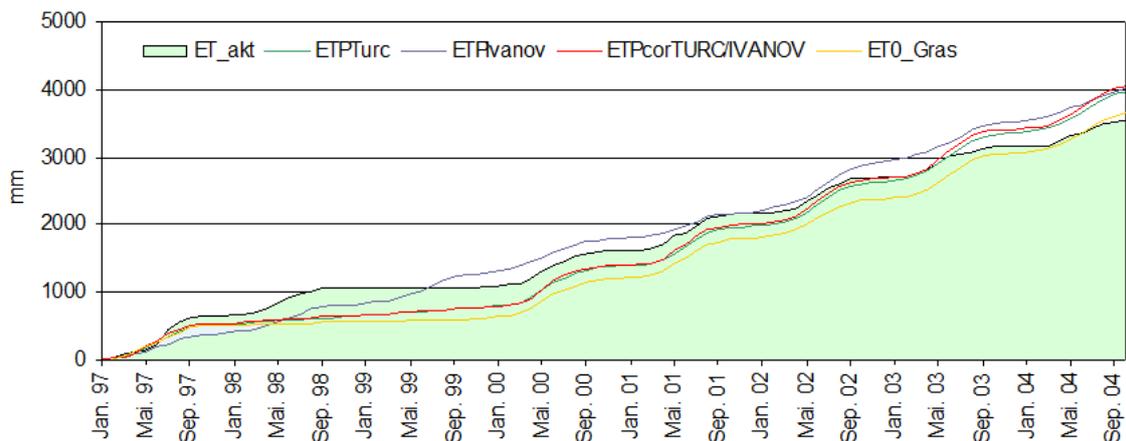


Abbildung 6: Vergleich der tatsächlichen Evapotranspiration (ET\_akt) mit anerkannten empirischen Verfahren auf einem endabgedeckten Deponiestandort.

Zu beachten ist, dass die empirischen Methoden eigentlich die potentielle Verdunstung ermitteln. Also jene, die maximal unter den gegebenen Randbedingungen möglich wäre, würde der Wasservorrat nicht limitierend wirken. Daher sollte dieser Wert entweder gleich oder größer

als die tatsächliche Verdunstung am Standort sein. Die Grafik zeigt aber, dass die kumulierten Werte der ermittelten Verdunstung teilweise unterhalb der gemessenen tatsächlichen Verdunstung liegen. Daher wird über diese Methoden die Verdunstungshöhe am Deponie-Standort falsch eingeschätzt.

Das wägbare Lysimeter ist somit die genaueste Methode um die tatsächliche Verdunstung an einem Standort zu bestimmen. Es besteht aus einem ungestörten Bodenkörper, der ebenerdig in den Boden eingelassen ist. Der Bodenmonolith steht auf Wägezellen, so dass die Gewichtsänderung erfasst werden kann. Durch die Erfassung von Sickerwasser am unteren Ende des Monolithen, sowie der Erfassung von Oberflächenabfluss und der Niederschlagsmessung kann anhand der Gewichtsänderung zuverlässig die aktuelle Verdunstung bestimmt werden. Da große Lysimeteranlagen teilweise für die Deponieüberwachung überdimensioniert und mit einem erheblichen Aufwand verbunden sind, wurde in Anlehnung an die Erfordernisse dieser Anwendung ein vereinfachtes Miniatur-Lysimeter, das Deponie-Lysimeter, entwickelt.

Bei diesem Lysimeter wird nur ein kleiner Bodenmonolith gezogen, der ohne begehbaren Lysimeterkeller inklusive Wägevorrückung im Boden versenkt ist. Für geneigte Standorte können die Lysimeter mit angepasster Oberflächenneigung gefertigt werden. Weiterhin ist der Einbau von Sensoren in den Monolithen möglich. Ein wägbares Lysimeter in Kombination einer Wetterstation bietet zusätzlich den Vorteil weitere Wassehaushaltsparameter, wie die Niederschlagsmenge, den Oberflächenabfluss und die Sickerwassermenge direkt erfassen zu können (siehe Abbildung 7). Zusätzlich besteht die Möglichkeit Sickerwasser für die Beprobung abzuleiten. Durch die Erfassung des Sickerwassers ist es möglich den Zufluss zur Dränschicht zu überwachen und die Rückhaltefunktion des Wurzelraums zu bewerten. Weiterhin ist es auch möglich die hydrologischen Kennwerte als effektive Parameter im Feld zu bestimmen. Denn am Ende macht es einen Unterschied, ob dieses Parameter auf Basis von kleinen Bodenproben und statischen Labormethoden bestimmt werden oder auf einer größeren Skala unter realen Randbedingungen sowie unter Berücksichtigung der Heterogenität des Bodens.

Das Deponie-Lysimeter stellt die Technologie von Groß-Lysimetern mit einem deutlich reduzierten Aufwand zur Verfügung. Mit dieser Technologie ist es möglich die erforderlichen meteorologischen Größen wie Niederschlag, Temperatur und Verdunstung mit hoher Genauigkeit am Standort direkt und automatisiert in der erforderlichen Auflösung zu messen und in der erforderlichen statistischen Auswertung automatisiert ausgeben zu lassen. Zusätzlich bietet das Deponie-Lysimeter die Möglichkeit die Langzeitfunktion der Rekultivierungsschicht als Langzeitbarriere zu überprüfen.

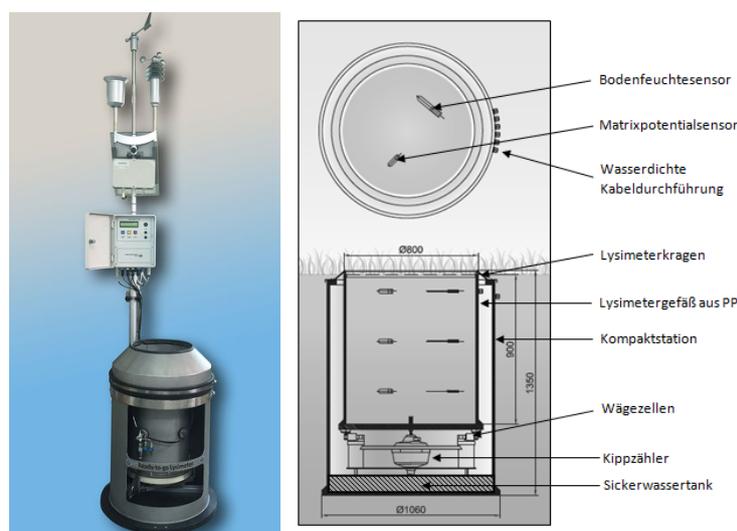


Abbildung 7: Aufbau des Deponie-Lysimeters zur Verdunstungsbestimmung und Überprüfung der Funktion der Abdeckschicht.

### 3 Anwendung von Umweltmesstechnik auf Deponien für spezifische Fragestellungen

#### 3.1 Anwendung von Lysimeter-Technik zur Überwachung/Bewertung der Langzeitfunktion der Rekultivierungsschicht

Die Bewertung oder Überprüfung der Langzeitfunktion der Rekultivierungsschicht anhand von Lysimetern ist eine häufig verwendete Methode. Hierbei wird auf unterschiedliche Ausstattungen des Lysimeters zurückgegriffen. Diese reichen von einer kompletten Ausstattung mit Wägung, Sickerwasserfassung und bodenhydrologischen Messgeräten wie Wassergehaltssonden und Tensiometern (zur Erfassung der Bodenwasserspannung) bis zu einfachen Anlagen mit einer reinen Sickerwasserfassung. Der Einsatz von komplett ausgestatteten Lysimetern (plus Wetterstation) ermöglicht neben der Ermittlung aller geforderten meteorologischen Parameter eine genaue Beobachtung des Bodenwasserhaushaltes der Abdeckschicht und somit eine Bewertung ihrer Funktionalität in Hinblick darauf so wenig Wasser wie möglich zum Deponekörper durch zulassen. Anhand dieser Installation können sowohl verschiedene Materialien der Abdeckschicht als auch Vegetationsarten getestet werden. Die Verwendung eines vollausgestatteten Lysimeters zur Verdunstungsmessung und Bodenwasserhaushaltsbetrachtung ist in Abbildung 8 zu sehen.



Abbildung 8: Wägbares Lysimeter ausgestattet mit bodenhydrologischer Messtechnik zur Wasserhaushaltsüberwachung (Deponie Kassel-Baunatal).

Eine häufige Variante ist die Verwendung von nichtwägbaren Lysimetern mit einer Sickerwasserfassung zur Beurteilung der Wirksamkeit der Abdeck- und Rekultivierungsschicht oder zur Eignungsbewertung verschiedener Materialien. Zu diesem Zweck werden Bodenkörper ungestört aus der Abdeckschicht entnommen, mit einer Sickerwasserfassung ausgestattet und wieder in die Abdeckschicht integriert (siehe Abbildung 9). Dieser Aufbau wird besonders an Deponien ohne Kunststoffdichtungsbahn eingesetzt, um die Wirksamkeit der Abdeckschicht nachzuweisen und zu überwachen.



Abbildung 9: Entnahme eines ungestörten Bodenkörpers zur Überwachung der Funktionalität der Abdeckschicht (links) mit Installation Sickerwasserfassung und Kippzähler (Mitte) (Deponie Emden).

Neben der Überprüfung der bereits vorhandenen Abdeckschicht eignet sich dieses Messsystem auch zur Eignungsbewertung verschiedener Materialien der Abdeckung. Zu diesem Zweck werden die verschiedenen Materialien in separate nichtwägbare Lysimeterkörper auf der Deponie eingebracht und ebenfalls eine Sickerwasserfassung installiert (siehe Abbildung 10).



Abbildung 10: Nichtwägbare Lysimeter zur Eignungsbewertung unterschiedlicher Materialien für die Abdeck- und Rekultivierungsschicht (links) mit Sickerwasserschacht (Deponie Gunsleben).

Neben der Betrachtung des Sickerwasseranfalls unterhalb der gesamten Schichtdicke können die Sickerwasserfassungen auch schichtweise eingebracht werden, um somit in einem geschichteten Aufbau der Abdeck- und Rekultivierungsschicht die Funktionalität einzelner Schichten bewerten zu können (siehe Abbildung 11).



Abbildung 11: Einsatz von Sickerwasserfassungen in verschiedenen Schichten innerhalb der Abdeckschicht (links) mit Sickerwasserschacht (rechts) (Deponie Profen).

### 3.2 Verwendung von bodenhydrologischer Messplätze

Neben der Anwendung von Lysimeter-Techniken kann auch der einfache Einsatz von bodenhydrologischen Messplätzen für die Überwachung der Deponie und Funktionsbewertung der Abdeckschicht verwendet werden (siehe Abbildung 12). Zum bodenhydrologischen Messplatz gehören in der Regel eine Wetterstation zur Erfassung der meteorologischen Parameter/Randbedingungen und die Installation von Tensiometern zur Erfassung der Bodenwasserspannung sowie Bodenfeuchte-Sensoren, die neben der Erfassung der Bodenfeuchte auch in der Lage sind die Bodentemperatur und die elektrische Leitfähigkeit des Bodenwassers zu messen. Letzteres gibt auch einen Hinweis auf die (Nähr-)Stoffbelastung des Porenwassers. Durch die Beobachtung der Bodenwasserspannung und der Bodenfeuchte lassen sich Rückschlüsse auf den Wassertransport und die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens ziehen und erlauben somit eine Bewertung der Funktionalität der Abdeckschicht. Gegebenenfalls lässt sich aus den Messdaten die effektive Größe der nutzbaren Feldkapazität des vorhandenen Materials ableiten.



Abbildung 12: Bodenhydrologischer Messplatz mit Wetterstation zur Deponie-Überwachung (links: Deponie Rheinberg, rechts: Deponie Rastorf).

Während die Tensionsmessung alleine Aussagen über die Wassertransportrichtung ermöglicht, kann aus der Feuchtemessung abgeleitet werden wie viel Wasser saisonal im Boden gespeichert wird. Je nach Bedarf können mit diesem Mess-System auch andere teilweise deponie-spezifische Fragestellungen oder Anforderungen an die Überwachung bewältigt werden. Ein Beispiel stellt die Deponie Gröbern dar, auf der anhand der eingesetzten Umweltmesstechnik überwacht wird, wie weit während der Wintermonate Frost in die Abdeckschicht eindringt (siehe Abbildung 13). Dafür wurden an verschiedenen Stellen auf der Deponie vereinfachte bodenhydrologische Messplätze eingerichtet, an denen die Temperaturmessung in mehreren Tiefen (bis zur Kunststoffdichtungsbahn) erfolgt.



Abbildung 13: Errichtung eines bodenhydrologischen Messplatzes zur Überwachung der Frostschutzwirkung der oberen Abdeckschicht (links) und Zustand des Messplatzes heute (rechts) (Deponie Gröbern).

Der Einsatz von bodenhydrologischen Messplätzen für die Deponie-Überwachung ist vielfältig und eine kostengünstige Alternative zur Anwendung von Lysimeter-Techniken. Sie eignen sich aber dennoch um spezielle Überwachungs-Vorgaben von Behörden effizient und mit wenig Aufwand umzusetzen.

#### **4 Fazit**

Der Einsatz von Umweltmesstechnik auf Deponien hat sich schon viele Jahrzehnte als geeignet für die Deponie-Überwachung erwiesen. Während dieser Zeit zeigte sich, dass die umfangreichen und ausgiebig erprobten Umweltmesstechniken eine direkte Umsetzung der Vorgaben der Deponieverordnung ermöglichen. Dabei wird in der Zusammenstellung der Mess-Systeme darauf geachtet, dass diese möglichst effizient aufgebaut sind und gegebenenfalls möglichst viele Parameter mit wenig Aufwand in Anschaffung und Betrieb der Messsysteme erfasst werden können. Die vorgestellten Mess-Systeme ermöglichen eine weitgehende Automatisierung des Messbetriebes und der Datenauswertung. Da viele Deponien teilweise individuelle Ansprüche an Mess-Systeme stellen, können diese individuell an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden.

# Literaturverzeichnis

- [1] *Deponieverordnung vom 27. April 2009 (BGBl. I S. 900), die durch Artikel 2 Absatz 23 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808) geändert worden ist*