Mimořádné výzvy při dohledu nad skládkami a využívání moderní monitorovací techniky

Besondere Herausforderungen bei der Überwachung von Deponien und Nutzung moderner Monitoring-Technik

Moritz Mährlein, Katja Felsmann¹

Abstrakt

Lokalita skládky přináší při sledování vodního režimu další výzvy, jako je například rozdílná expozice terénu a z toho vyplývající meteorologické vlivy, prudké svahy, kontaminovaná média, stavební zadání a omezení.

Provozovatelé skládek třídy 0, I, II a III jsou povinni během fáze plnění skládky, uzavírání jejího provozu a během dlouholeté fáze následné péče sledovat různé parametry, jako jsou meteorologická data, údaje k odtokům z povrchu a průsaku, emisní data a údaje k podzemní vodě. Nařízení o skládkách a trvalých úložištích navíc stanovuje jasné zadání ohledně období, po které je nutno skládku sledovat a to v délce od 10 až po v některých případech 30 let.

Přednáška představuje na specifických příkladech z Německa možnosti řešení obecných a specifických výzev a poskytuje přehled o inovativních monitorovacích technikách a jejich přednostech a nedostatcích.

Kurzfassung

Der Standort Deponie bringt in der Überwachung einige besondere Herausforderungen mit sich, wie zum Beispiel die unterschiedlichen Geländeexpositionen und die daraus resultierende meteorologische Beeinflussung, steile Hangneigungen, kontaminierte Medien und bautechnische Vorgaben und Beschränkungen.

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. Zusätzlich definiert die Deponieverordnung klare Vorgaben zum Überwachungszeitraum von Deponien von 10 bis teilweise über 30 Jahren.

Der Vortrag zeigt an spezifischen Beispielen aus dem Raum Deutschland Möglichkeiten für Lösungen genereller und deponiespezifischer Herausforderungen und bietet einen Überblick über innovative Monitoring Technik und deren Vor- und Nachteile.

¹Umwelt-Geräte-Technik GmbH Müncheberg, Eberswalder Str. 58, D-15374 Müncheberg; moritz.maehrlein@ugt-online.de, katja.felsmann@ugt-online.de

1 Motivation

Deponien der Klassen 0,I,II und III müssen laut Deponieverordnung Anhang 5, Abschnitt 3.1 durch den jeweiligen Betreiber hinsichtlich ihres Einflusses auf die Umwelt überwacht werden. Tabelle 1 zeigt einen Auszug aus der Deponieverordnung, der die durchzuführenden Messungen und deren Häufigkeit aufführt. In der Tabelle und im Folgenden wird besonders auf Messtechniken für meteorologische und hydrologische Parameter eingegangen, da diese Messgeräte bereits seit Jahren durch die Umwelt-Geräte-Technik GmbH installiert und betreut werden.

Tabelle 1: Vorgaben zu Messungen und Kontrolle von Deponien.

Nr.	Parameter	Häufigkeit/Darstellung während:	
		Ablagerungs- und Stilllegungsphase	Nachsorgephase
1	Meteorologische Daten		
1.1	Niederschlagsmenge	täglich, als Tagessummenwert	täglich/summiert zu Monatswerten
1.2	Temperatur (min., max., um 14:00 Uhr MEZ/15.00 Uhr MESZ)	täglich	Monatsdurchschnittswert
1.3	Windrichtung und - geschwindigkeit des vorherrschenden Windes	täglich	nicht erforderlich
1.4	Verdunstung	täglich	täglich/summiert zu Monatswerten
2	Emissionsdaten		
2.1	Sickerwassermenge	täglich, als Tagessummenwert	halbjährlich
2.2	Zusammensetzung des Sickerwassers	vierteljährlich	halbjährlich
2.3	Menge und Zusammensetzung des Oberflächenwassers	vierteljährlich	halbjährlich
3	Grundwasserdaten		
3.1	Grundwasserstände	halbjährlich	halbjährlich

Mit den in der Tabelle aufgeführten Messungen werden ausgehenden Emissionen und eigehenden Umwelt- und Klimafaktoren erfasst, welche in ihrer Gesamtheit die geforderte Überwachung des Einflusses auf die Umwelt erfüllen. Es werden Parameter im Zusammenhang mit Niederschlag, Abfluss und Verdunstung gemessen um diesen Einfluss der Deponie auf Grund- und Oberflächenwasser zu quantifizieren. Um die den Einfluss so klein wie möglich zu halten, ist der Deponiebetreiber neben der Überwachung von Ein- und Ausgangs-

daten vor allem zu Abdichtung der Deponie verpflichtet. Unterhalb der Rekultivierungsschicht, die als oberste Ebene einer Deponie das Einfügen derer in die Landschaft sicherstellen soll, wird dazu eine Abdichtschicht verbaut. Dies ist grundsätzlich eine minimal durchlässige mineralische Schicht, die den Deponiekörper gegen das Eindringen von Sickerwasser aus der Rekultivierungsschicht sichert. Unterhalb des Deponiekörpers befindet sich üblicherweise erneut eine gering durchlässige mineralische Schicht mit aufliegendem Drainagesystem. Durch diese Schichten wird eventuell belastetes Sickerwasser aus dem Deponiekörper abgeführt.

Die gemessenen meteorologischen Faktoren und die davon abhängenden hydrologischen Bedingungen sind hoch variabel. Deshalb sollten sie vor Ort erfasst werden und nicht durch Messungen auf anderen Versuchsflächen oder im Labor ersetzt werden. Die Variabilität zeigt sich nicht nur in kurzzeitigen Schwankungen, sondern sie unterliegt auch den Folgen des Klimawandels. Da diese schwer vorhersagbar sind, ist es umso wichtiger Deponien über lange Zeiträume hin zu überwachen.

2 Eingesetzte Messtechnik

2.1 Meteorologische Messtechnik

Grundlegend für die Auswertung des Einflusses der Deponie auf die Umwelt sind Informationen über meteorologischen Input in die Deponie. Hierfür wird üblicherweise eine meteorologische Messstation verwendet, wie sie in Abbildung 1 zu sehen ist. Solche Wetterstationen werden seit Jahrzehnten eingesetzt und gehören mittlerweile zu den routiniertesten Umweltmesssystemen. Der Aufbau einer Deponiewetterstation entspricht üblicherweise der DWD-Norm, wodurch eine gute Vergleichbarkeit zu anderen Wetterstationen gegeben ist.



Abbildung 1: Aufbau einer üblicherweise eingesetzten Wetterstation.

Eine standardisierte Station erfasst Daten zu Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Strahlung, Temperatur, Luftfeuchte und Luftdruck. Sind für den Standort weitere Messwerte erforderlich, so kann die Messstation um weitere Sensoren erweitert werden. Mittels Datenlogger werden die gemessen Daten vor Ort gespeichert und können entweder am Logger

ausgelesen werden oder optional per Fernübertragung direkt an die zuständige Stelle versendet werden. Durch die Stromversorgung über Solarpanel arbeitet die Station autark.

2.2 Abflussmessungen

Neben der Bestimmung des Niederschlagsschlags, also dem Eintrag in das System Deponie wird üblicherweise auch der Abfluss aus der Deponie gemessen. Hierbei wird sowohl der Oberflächenabfluss oberhalb der Deckschicht als auch der Sickerwasserabfluss aus dem Deponiekörper bestimmt. Üblicherweise werden zu diesem Zweck die Abflüsse von der Deponie abgeführt und in Messschächte geleitet. Hier sind Kippzähler verbaut, die das Volumen des gesammelten Abflusswassers pro Zeiteinheit bestimmen. Die chemische Zusammensetzung des Wassers kann zusätzlich bestimmt werden. Hierfür werden Wasserproben in den Schächten entnommen. Abbildung 2 zeigt einen solchen Aufbau. Unsere Erfahrungen haben gezeigt, dass Kippzähler aufgrund von hohen Abflussmengen und oft stark korrosiven Eigenschaften des Deponieabwassers besonders beansprucht werden. Eine spezifische Anpassung der Messeinrichtung an den jeweiligen Standort ist durch individuelle Lösungen möglich und für eine sichere und genaue Beprobung unerlässlich.



Abbildung 2: Beispiel für einen Abflussmessschacht, hier für verschiedene Tiefen.

Besonders Standorte, die eine große Variabilität in der Abflussmenge zeigen, müssen mit speziellen Vorrichtungen versehen werden, um eine durchgängige Messung zu gewährleisten. Abbildung 3 zeigt als Beispiel ein Messrinne, welches die Oberflächenabflussmessungen von sehr hohen als auch sehr niedrigen Wassermengen am gleichen Standort zulässt. Bei solch einem Aufbau wird der Pegelstand gemessen und dann die abfließende Wassermenge über eine Pegel-Abfluss-Beziehung bestimmt. Ein Ultraschallpegel ermöglicht eine kontaktlose Messung, welche ohne bewegliche Teile auskommt. Eine Korrosion der Mechanik ist damit ausgeschlossen und die Messung wird nicht beeinträchtigt. Bei der Messung von Sickerwassermengen stellten sich Messwehre, die speziell für den Einsatz in Deponieschächten angepasst wurden als robust und effektiv heraus. Analog zu den Messgerinnen wird hier die Messung des Abflusses durchgeführt ohne dass die Messeinrichtung oder bewegliche Teile in Berührung mit dem Abwasser kommen. Durch den definierten Querschnitt des Messwehres ist die Beziehung zwi-

schen Durchfluss und Überfallhöhe bekannt. Ein Drucksensor am Boden des Wehres ermittelt hierfür den Wasserstand respektive die Überfallhöhe.



Abbildung 3: Gerinne zur Bestimmung von stark schwankenden Abflüssen.

2.3 Bodenwasserhaushalt: Reale Verdunstung & Infiltration

Ein weiterer meteorologischer Parameter der laut Deponieverordnung täglich erfasst werden muss, ist die Verdunstung. Sie ist nach Niederschlag und Abfluss die letzte zu bestimmende Größe um den Wasserhaushalt der Deponie zu ermitteln. Mittels der Wasserhaushaltsgleichung (1) kann die Speicheränderung innerhalb der Deponie und der Deckschicht bestimmt werden.

$$\Delta S = P - Q - ET \tag{1}$$

mit

 ΔS : Änderung des Wasserspeichers

P: Niederschlag

Q: Abfluss aus dem System

ET: Evapotranspiration

Die korrekte Ermittlung der Verdunstungshöhe ist somit ein maßgeblicher Faktor, um die Funktion der Deponieabdeckung zu bewerten und zu überprüfen. Eine direkte Messung der Evapotranspiration, also der Verdunstung von Wasser aus Pflanzen und Boden in die Atmosphäre, ist mittels Lysimeter möglich. Indirekte Messmethoden wie die Messung der potentiellen Verdunstung in Verdunstungspfannen oder empirische Formeln können abhängig von den klimatischen Bedingungen stark von der tatsächlichen Verdunstung abweichen. Durch diese abweichende Verdunstungsmessung kann die Aussage über die Dichtheit der Deckschicht verfälscht werden.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft den Aufbau eines Lysimeters. Es besteht aus einem ungestört entnommenen Bodenmonolithen, der nach der Entnahme in ein in den Boden eingelassenes

Gefäß gebracht wird. Dieses Gefäß steht auf Wägezellen und verfügt über einen Ablauf, an dem die Evapotranspiration ermittelt werden. Um genauere Informationen über den Wasserfluss innerhalb des Bodenmonolithen zu erhalten, sind die Lysimeter zusätzlich mit Bodenfeuchtesonden und Tensiometer in verschiedenen Tiefen bestückt. Mittels dieser Geräte werden Bodenfeuchte und Saugspannung des Bodens bestimmt. Durch die Größe des entnommenen Bodenmonolithen werden Heterogenitäten im Boden weitaus besser berücksichtigt als bei Untersuchungen von Bodenproben mit kleinem Volumen im Labor. Ein weiterer Vorteil sind die realen, vor Ort vorherrschenden Randbedingungen die sich direkt auf die Messung auswirken und nicht über Modelle oder mittels Hilfsparameter bestimmt werden können. Somit können strukturelle Fehler und Ungenauigkeiten beim Übertragen von Parametern vermieden werden.

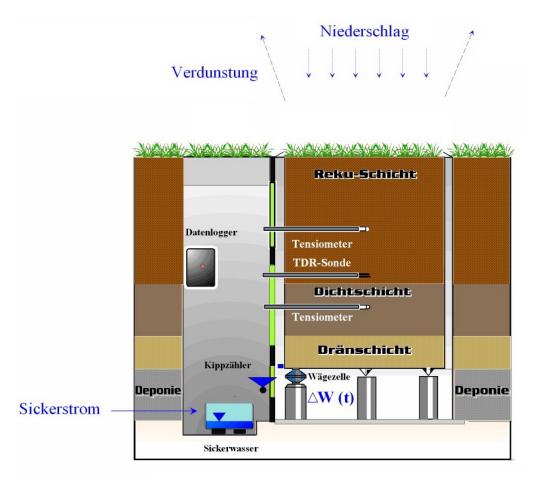


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Deponielysimeters.

Lysimeter werden für unterschiedlichste Fragestellungen eingesetzt. Deshalb werden sowohl Multi-Lysimeteranlagen, die mit großen Bodenvolumina, Lysimeterkellern und einer hochaufgelösten Messsystemen als auch kleinere Lösungen mit kostengünstigeren Messsystemen in Abhängigkeit des Standorts und der Fragestellung verbaut. Ein speziell für Deponien entwickeltes Lysimeter zählt zu letzterer Kategorie und kann als kostengünstigere Alternative für die Bestimmung der Verdunstung auf Deponien eingesetzt werden. Für geneigte Standorte können Hanglysimeter mit angepasster Oberächenneigung gefertigt werden.

Neben der Bestimmung der realen Verdunstung können Lysimeter auch genutzt werden um eine Langzeitüberwachung der Rekultivierungs- und Deckschicht durchzuführen.

Eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung der Funktionen der Deckschicht auf einer Deponie sind Bodenhydrologische Messplätze. Neben einer Wetterstation zur Erfassung der Randbedingungen werden hier auf einem abgestecktem Raum Bodenfeuchtesensoren und Tensiometer verbaut. Mittels dieser Sensoren werden in horizontaler Auflösung Wassergehalt, Saugspannung, Temperatur und Leitfähigkeit des Bodens gemessen.

Wassergehalt und die Saugspannung geben Aufschluss über Richtung und Quantität des Bodenwassertransports und somit der Funktionalität der Deckschicht. Die Leitfähigkeit gibt Hinweise über die Nährstoffbelastung des Porenwassers, womit Informationen über den diffusiven Stofffluss aus der Deponie gewonnen werden kann. Abhängig vom Standort, kann sich Bodenfrost negativ auf die Dichtheit der Deckschicht auswirken. Diese potentielle Gefahr kann durch die kontinuierliche Erfassung der Bodentemperatur überwacht werden.

3 Klimawandel als neuer Faktor

Zahlreiche Berichte und Klimamodelle zeigen die vielfältigen Auswirkungen des Klimawandels auf. Als ein Beispiel kann hier Kevin E. Trenberths Artikel von 2011 [1] aufgeführt werden. Er weist in seinem Artikel über die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Änderung des Niederschlages hin. Ein Temperaturanstieg führt zur höheren Verdunstung, es folgen zum einen längere und intensivere Dürren, zum anderen kann sich die Luftfeuchtigkeit erhöhen. Damit sind Stürme mit einer höheren Niederschlagsintensität zu erwarten. Im Jahresmittel werden sich die Niederschlagsmengen verringern, aber Extremwettereignisse wie Starkregen werden häufiger [2]. Daraus folgen unter anderem zeitlich begrenzte stark erhöhte Abflüsse.

Da diese Phänomene global vorausgesagt werden, werden sich die globale Erwärmung und häufigere Extremwettereignisse auch auf mitteleuropäischen Deponien auswirken. Nach der Deponieverordnung sind diese wie oben beschrieben zwar überwacht, die Abdeckschichten sind jedoch auf klimatische Bedingungen auslegt, die den Klimawandel wenig berücksichtigen. Weiterhin gibt es kaum veröffentlichte Untersuchungen zu den Auswirkungen auf Deponiedichtungen. Daher ist es ungewiss, wie die einzelnen Deponien auf längere und stärkere Dürren reagieren werden. Eine generelle Aussage hierrüber ist aufgrund der unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten schwierig. Bei tonreichen Deckschichten kann es durch Quellen und Schrumpfen zu Rissen und somit Undichtigkeiten kommen. Als Folge von Extremniederschlägen werden erhöhte Erosionsraten zu beobachten sein, besonders nach trockenen Perioden und vor allem auf Handlagen. Dadurch könnten Rekultivierungsschichten stärker beansprucht werden. Durch erhöhte Niederschläge sind höhere Sickerwasserraten wahrscheinlich, was wiederrum erhöhte Deponieabflussraten zur Folge hat.

Die Auswirkungen von Dürren und Starkniederschlägen werden wahrscheinlich die Funktionalität der Rekultivierungs- und Deckschicht im besonderen Maße beeinflussen. Diese für die Sicherheit der Deponie wichtigen Schichten sind den Einflüssen des Klimas und dessen Änderungen direkt ausgesetzt.

Wie oben genannt stellen Lysimeter eine sehr gute Möglichkeit zur Untersuchung von der oberen Deponieschichten dar. Sie bieten die Möglichkeit vor Ort genutzte Schichtmaterialien verschieden Klimabedingungen auszusetzen und deren Auswirkungen innerhalb und unterhalb der Schichten zu untersuchen.

Um Auswirkungen zu untersuchen wäre es möglich, bereits deponieerprobte Messsysteme wie Lysimetertechnik mit Versuchsaufbauten aus der Umweltforschung zu kombinieren. Hierzu kann man beispielsweise die in Abbildung 5 gezeigten fahrbaren Klimadächer verwenden, um Trockenstress im Lysimeter zu simulieren. Diese Dächer sind bei trockenen Bedingungen offen und schließen automatisch bei Niederschlag. Dadurch wird eine Trockenperiode simuliert, ohne dass durch die Abdeckung des Lysimeters die Verdunstung bei trockenen Bedingungen beeinflusst wird.



Abbildung 5: Beispiel für ein Klimadach.

Starkregenereignisse könnten durch Beregnungsanlagen simuliert werden. Diese erlauben die Durchführung von Beregnungsversuch mit festgelegter Intensität und Dauer von Niederschlagsereignissen. Durch die Kombination von Lysimetern, Klimadächern und Beregnungsanlagen können so angelegte Versuche verlässliche Vorhersagen zur Robustheit von eingesetzten Deckschichten treffen. Zusätzlich lassen sich weitere Zusammensetzungen von Deckschichten auf ihre Eignung am Standort testen, indem man mehrere Lysimetergefäße mit unterschiedlichen Deckschichten befüllt und diese am Standort testet.

4 Fazit

Bei der Anwendung von Umweltmesstechnik auf Deponien kann von langjähriger Erfahrung an unterschiedlichen Standorten profitiert werden. Viele Messsysteme konnten an besondere Herausforderungen angepasst werden und stellen eine zuverlässige Überwachung zur Verfügung. Sie sind ein Schlüsselelement in der Absicherung von Deponien. Der Klimawandel, insbesondere das veränderte Niederschlagsregime stellt auch Deponiebetreiber vor neue Herausforderungen. Wir müssen auf Deponien die Effekte des Klimawandels auf die Deckschicht untersuchen um weiterhin die Sicherheit von Deponien zu gewährleisten. Geeignete Messtechnik kann diese große Herausforderung unterstützen. Lysimeter stellen eine sehr gute Möglichkeit zur Untersuchung der oberen Deponieschichten dar. Sie bieten die Möglichkeit vor Ort genutzte Schichtmaterialien verschieden Klimabedingungen auszusetzen und deren Auswirkungen innerhalb und unterhalb der Schichten zu untersuchen. Niederschlagsperioden und Starkregenereignisse könnten durch Beregnungsanlagen simuliert werden. Diese erlauben die Durchführung von Beregnungsversuchen mit festgelegter Intensität und Dauer von Niederschlagsereignissen. Mit geeigneter Messtechnik lassen sich verlässliche Vorhersagen, mit Blick auf dem Klimawandel, zur Robustheit von eingesetzten Deckschichten treffen und zusätzlich die Zusammensetzungen von Deckschichten auf ihre Eignung am Standort testen.

Literaturverzeichnis

- [1] TRENBERTH, K. E.: Changes in precipitation with climate change. http://dx.doi.org/10.3354/cr00953. Version: 2011
- [2] FIELD, C. B.; BARROS, V.; STOCKER, T. F.; QIN, D.; DOKKEN, D. J.; EBI, M. D. K. L. M. K. L. Mastrandrea; MACH, K. J.; PLATTNER, G.-K.; ALLEN, S. K.; TIGNOR, M.; MIDGLEY, P. M.: Summary for Policymakers, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2012. pp.3-21