

Übertragung von Lysimetermessungen auf ein größeres Umfeld unter Berücksichtigung der numerischen Wasserhaushaltsmodellierung mit HELP®

A. GERLACH, V. GIURGEA und H. HÖTZL

Die Ergebnisse von Lysimetermessfeldern sind nicht ohne weiteres für die großräumige Sickerwasserprognose der gesamten Oberflächenabdichtung von Deponien verwendbar. Aufgrund eines "Scaling Effects", können Ergebnisse, die im kleinen Rahmen gewonnen wurden, erst nach Berücksichtigung größenabhängiger Parameter, auf ein großes Umfeld übertragen werden.

Einleitung

Auf der Hausmülldeponie Karlsruhe-West werden seit über 11 Jahren Lysimetermessfelder betrieben. Der Bau der Lysimeter hatte das Ziel des Nachweises der Gleichwertigkeit zwischen einem alternativen Oberflächenabdichtungssystem (mineralische Abdichtung mit unterliegender Kapillarsperre) und dem Regelsystem nach TA Si (TA SIEDLUNGSABFALL, 1993) zu erbringen.

Im Zuge dieser Überwachungsarbeiten wurde zur Ermittlung der Wasserbilanz auch das Computerprogramm HELP® (*Hydrologic Evaluation of Landfill Performance*) eingesetzt. HELP® ist ein quasi-zweidimensionales hydrologisches Modell das speziell für die Wasserbilanzierung von Deponien konzipiert wurde.

Tabelle 1: Vergleich der für 2003 im Lysimeter gemessenen Bilanzgrößen (links) und der für das Lysimeter mit HELP berechneten Bilanzgrößen (rechts). (N = Niederschlagshöhe, Q_{surf} = Oberflächenabfluss, ET_a = Evapotranspiration / Verdunstung, Q_{OKF} = Abfluss des oberen Kiesflächenfilters, Q_{min} = Wassermenge welche die mineralische Dichtungsschicht durchsickert).

| Lysimeter 2003 | Gesamtjahresbilanz | | HELP 2003 | Gesamtjahresbilanz | |
|-------------------|--------------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| | mm | % von N | | mm | % von N |
| N | 524,0 | 100 | N | 524,0 | 100 |
| Q_{surf} | 2,2 | 0,4 | Q_{surf} | 0,0 | 0,0 |
| ET_a | 577,7 | 110,3 | ET_a | 522,7 | 99,6 |
| Q_{OKF} | 152,5 | 29,1 | Q_{OKF} | 179,7 | 34,2 |
| Q_{min} | 6,8 | 1,3 | Q_{min} | 4,0 | 0,8 |
| Bodendiff. | -215,4 | -41,1 | Bodendiff. | -181,6 | -34,6 |

Das Modell benötigt dazu Wetter-, Boden- und Aufbaudaten. Zur Prüfung der Realitätsnähe von HELP® wurden die berechneten Ausgabedaten mit den gemessenen Daten eines Lysimeters verglichen und angepasst. Basierend auf dieser Anpassung war es möglich ein realitätsnahes Wasserhaushaltsmodell für die gesamte Oberflächenabdichtung zu erstellen.

Das Lysimetermessfeld auf der Deponie Karlsruhe-West

Das Lysimeter besitzt eine Grundfläche von 400 m² und ist in insgesamt vier gleich große Kompartimente unterteilt, die als A unten (A_u), A oben (A_o), B unten (B_u) und B oben (B_o) bezeichnet werden.

Der Aufbau der Kompartimente A_u und B_o mit der Schichtenabfolge 2 m Wurzelboden, 0,15 m oberer Kiesflächenfilter, 0,5 m mineralische Dichtungsschicht, 0,3 m Kapillarschicht und 0,15 m kapillARBrechende Schicht, entspricht dem genehmigten Regelaufbau der Deponieoberflächenabdichtung, wie er bis 2003 auf über 7,1 ha realisiert wurde. Das Lysimeter verfügt über Abflusskomponenten, die jeweils getrennt erfasst, abgeleitet und in einer zentralen Mess-

station, gemessen werden (GIURGEA et al., 2003). **Die maßgeblichen Kennwerte zur Wasserbilanz der A-Hälfte des Lysimeters, sind für das Messjahr 2003 in der Tabelle 1 wiedergegeben. Für dieses Messjahr wurde im Lysimeter bei einem Niederschlag von 524,0 mm, eine potentielle Sickerwasserneubildungsrate von 6,8 mm, entsprechen 1,3 % des Niederschlags, gemessen.**

Das HELP®-Modell

Als Input für die Modellrechnung mit HELP® werden hydraulische Parameter der oberflächennahen Deckmaterialien, Daten zum Schichtaufbau der Deponie und verschiedene Wetterdaten benötigt. Es können Deponien mit unterschiedlichen Kombinationen von Vegetation, Rekultivierungsschichten, Abfallschichten, Dränschichten, mineralischen Dichtungsschichten und Kunststoffdichtungen simuliert werden (SCHROEDER, 2002). Zur Anwendung kam eine verbesserte Version von HELP®. Die HELP 3.55D® Version wurde von Klaus Berger (Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg) an deutsche Verhältnisse angepasst. Mittels Simulation der Wasserbilanz des Lysimeters der Deponie Karlsruhe-West für 2003, wurden die Ergebnisse von HELP® überprüft bzw. das Modell kalibriert. Durch Variationen ungewisser Parameter konnten dann die Ergebnisse des HELP®-Modells realen Verhältnissen angenähert werden. Dazu wurden die HELP®-Ausgabedaten Evapotranspiration (ET_a), Durchsickerung (Q_{min}), Oberflächenabfluss (Q_{surf}) und Bodenwassergehaltsänderungen (Bodendiff.) durch den Vergleich mit den Lysimeterergebnissen angepasst (Tabelle 1).

Autoren: Dipl.-Geol. Andre GERLACH, Vlad GIURGEA und Heinz HÖTZL, Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Kaiserstr. 12, D-76128 KARLSRUHE

Modellrechnung der gesamten Abdichtung der Deponie Karlsruhe-West

Zur Berechnung der Wasserbilanz der gesamten Abdichtung der Deponie Karlsruhe-West wurden lediglich die Parameter für die Hanglänge und die Flächengröße verändert. Für die gesamte abgedichtete Fläche wurde bei einer Gesamtjahresniederschlagsmenge von 524,0 mm eine Sickerwassermenge von 14 mm berechnet. Laut HELP® durchsickern damit 2,7 % des Niederschlages die mineralische Dichtungsschicht. Es wird deutlich, dass die berechnete prozentuale Sickerwassermenge (Q_{Min}) der gesamten Abdichtung um mehr als das 2-fache höher liegt als im Lysimeter gemessen (vergl. *Tabelle 2* und *Tabelle 1 rechts*).

In der Literatur wird dieser Effekt als sogenannter "Scaling Effekt" beschrieben (NEUZIL, 1994). Demnach sind Ergebnisse, die im kleinen Umfeld geneigter Flächen gewonnen wurden, nicht unmittelbar auf größere Hangflächen

Tabelle 2: Berechnete Bilanzgrößen der gesamten Abdichtung für 2003. Der Vergleich der Tabelle 2 und Tabelle 1 rechts zeigt deutlich die Differenzen in Bezug auf die Größen der Abflüsse der Dränschicht (Q_{OKF}) als auch die der mineralischen Dichtungsschicht (Q_{Min}).

| HELP-Abdichtung 2003 | Gesamtjahresbilanz mm | % von N |
|----------------------|-----------------------|------------|
| N | 524,0 | 100 |
| Q_{Surf} | 2,3 | 0,4 |
| ET_a | 522,7 | 99,9 |
| Q_{OKF} | 167,4 | 31,9 |
| Q_{Min} | 14,0 | 2,7 |
| Bodendiff. | -181,6 | -34,6 |

Tabelle 3: Links: Im Lysimeter A_u gemessenen Abflusshöhen der Kapillarschicht (KS) u. der Kapillarbruchschiht (KBS) zur Korrekturfaktorableitung (HÖTZL et al., 2004). Rechts: Die unter Einsatz des Korrekturfaktors berechnete Jahreswasserbilanz für die gesamte Abdichtung inklusive der Kapillarsperre.

| Lysimeter | Kapillarsperre | | Q_{MIN} kor. [-] |
|-----------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|
| | KS_{Lys} [% von N] | KBS_{Lys} [% von N] | |
| 2003 | 0,94 | 1,22 | 0,56 |

$KBS_{\text{Lysimeter}}$ = im Lysimeter gemessener Abfluss der Kapillarbruchschiht.

Durch den Einsatz des Korrekturfaktors ergibt sich, dass die im Bereich der Abdichtung berechnete tatsächliche Deponiesickerwasserneubildung (KBS -Abfluss) mehr als der Hälfte des Abflusses der mineralischen Dichtungsschicht (Q_{Min}) entspricht (1,5 % des Niederschlages, *Tabelle 3 rechts*).

Schlussfolgerung und Diskussion der Ergebnisse

Die Modellierungen mit dem Wasserhaushaltsmodell HELP 3.55D® zeigen, dass im Bezug auf die Oberflächenabdeckung der Deponie Karlsruhe-West, ein ausreichend gutes Modell erstellt werden kann. HELP ist jedoch nicht in der Lage die Kapillarsperre der Oberflächenabdichtung zu berücksichtigen. Mittels eines Korrekturfaktors, der aus den Ergebnissen des Lysimeter A_u abgeleitet wurde, kann die Sickerwassermenge unterhalb der Kapillarsperre näherungsweise bestimmt werden. Weiterhin zeigt sich, dass die Lysimetermessungen und die HELP® Ergebnisse, welche im kleinen Maßstab ermittelt wurden, nicht direkt auf ein größeres Umfeld (die gesamte Abdichtung), übertragen werden können. Die Ursache für diesen "Scaling Effect" konnte auf die unterschiedliche Länge des Lysimeters- und der Gesamtabdichtung der Deponie zurückgeführt werden. Erklären lässt sich dieser Effekt durch die Zunahme der Abflussmenge innerhalb der Dränschicht bei größer werdenden Hanglängen und den daraus resultierenden erhöhten hydraulischen Druck auf die mineralische Dichtungsschicht.

übertragbar. Modellrechnungen ergaben, dass dieser Effekt, bei konstanter Hangneigung, auf die unterschiedliche Hanglänge (Lysimeter = 20 m / Abdichtung = 80 m) zurück zu führen ist. Die Ergebnisse zeigen auf keinen Fall, dass die mineralische Dichtungsschicht mit zunehmender Länge die Effektivität verliert. Die Ergebnisse zeigen vielmehr, dass mit zunehmender Hanglänge einer Oberflächenabdichtung größere Wassermengen die Dränschicht durchfließen. Der höhere Wasserdurchsatz durch die Dränschicht führt dann auch zur höheren Durchsickerung der mineralischen Dichtungsschicht.

Bestimmung der Durchsickerung der Kapillarsperre mittels Korrekturfaktor

Das HELP-Programm kann die Durchsickerung der Kapillarsperre nicht berechnen. Dementsprechend ergibt sich aus der Modellierung nur jene Wassermenge, welche die mineralische Dichtungsschicht durchsickert. Um nun die Wassermenge bestimmen zu können, welche tatsächlich zur Sickerwasserneubildung beiträgt, muss der Kapillarsperreneffekt berücksichtigt werden. Dies erfolgt durch folgenden Korrekturfaktor, der aus den Daten des Lysimeter A_u (*Tabelle 3 links*), abgeleitet wurde (HÖTZL et al., 2003):

$$\text{kor.} = \frac{KBS_{\text{Lysimeter}}}{(KS_{\text{Lysimeter}} + KBS_{\text{Lysimeter}})}$$

wobei:

$KS_{\text{Lysimeter}}$ = im Lysimeter gemessener Abfluss der Kapillarschicht;

| HELP-Abdichtung Einheit | Gesamtjahresbilanz mm | % von N |
|-------------------------|-----------------------|-------------|
| N | 524,9 | 100 |
| Q_{Surf} | 2,32 | 0,44 |
| ET_a | 522,72 | 99,58 |
| Q_{OKF} | 167,45 | 31,9 |
| Q_{MIN} | 13,98 | 2,66 |
| davon Q_{KS} | 6,08 | 1,16 |
| davon Q_{KBS} | 7,9 | 1,5 |
| Bodendiff. | -181,57 | -34,59 |

Dank

Der Stadt Karlsruhe, Amt für Abfallwirtschaft, danken wir für die Möglichkeit, Daten der Deponie Karlsruhe-West nutzen zu dürfen.

Literatur

BERGER, K., 1998: Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP® zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponien für deutsche Verhältnisse.- Umweltbundesamt, Projektträger Abfallwirtschaft und Altlastensanierung des BMBF, 557 S.

GIURGEA, V., H. HÖTZL, W. BREH und A. GERLACH, 2003: Neutronensondenmessungen der

Bodenfeuchte zur Langzeitüberwachung von Deponieoberflächenabdichtungen. - Beitrag zum Workshop Innovative Feuchtemessung in Forschung und Praxis, 3.-4. Juli 2003, Karlsruhe, Boden und Wasser, Aedificatio Verlag, Freiburg.

GERLACH, A., V. GIURGEA und H. HÖTZL, 2004: Übertragung von Lysimetermessungen auf ein größeres Umfeld unter besonderer Berücksichtigung der numerischen Wasserhaushaltsmodellierungen mit HELP®. - GSF-Bericht 02/04, 169-174, Neuherberg.

HÖTZL, H. und V. GIURGEA, 2003: Stadt Karlsruhe, Deponie-West Oberflächenabdichtung, Testfeld-LYSIMETER I, Testfeld-LYSIMETER II, Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für die

Messperiode Januar bis Dezember 2002, Bericht, 50 S. [unveröffentlicht].

NEUZIL, C.E., 1994: How permeable are Claysand and shales? Water Resour. Res., 30, 2, 145-150, Blacksbourg, Virginia.

SCHROEDER, P.R. und K. BERGER, 2002: Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Modell; 111 S, Benutzerhandbuch für die deutsche Version 3; Environmental Laboratory U.S. Army Corps of Engineer, Vicksburg, Mississippi & Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg.

TA SIEDLUNGSABFALL, 1993: Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgungen von Siedlungsabfällen. Bundesanzeiger: 117; Köln.

